

PERANCANGAN PEMBANGKITAN TEGANGAN TINGGI AC FREKUENSI TINGGI MENGGUNAKAN KUMPARAN TESLA DENGAN RANGKAIAN RESONANSI SERI

Alga Bagas Setiawan^{*)}, Mochammad Facta, and Abdul Syakur

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}Email : algabsetiawan@gmail.com

Abstrak

Trafo tesla adalah satu alat yang bisa mengubah nilai tegangan suatu nilai kenilai yang biasanya lebih besar (step up) . Tegangan dan frekuensi kerja yang digunakan oleh trafo tesla tergolong tinggi. Tegangan keluaran kumparan tesla berbentuk pulsa dengan lebar pulsa bervariasi dari nano detik sampai ratusan mikro detik. Pada awal perkembangannya, kumparan tesla menggunakan sela bola untuk membangkitkan pulsa tersebut. Dengan seiring perkembangan zaman, maka untuk membangkitkan pulsa yang mempunyai orde ratusan kilo hertz digunakanlah peralatan pensaklaran semikonduktor berupa mosfet. Pada penulisan penelitian ini trafo tesla dirancang dengan frekuensi resonan 114 kHz. Untuk pengukuran tegangan keluaran kumparan tesla digunakan sela bola standar. Dan menganalisa perbedaan lilitan primer yang digunakan antara satu inti dan dua inti.

Kata kunci : Kumparan tesla, Inverter, Lebar Pulsa, satu inti dan dua inti

Abstract

Tesla transformer is a device that can change the value of a voltage value that is usually larger (step-up). Voltage and operating frequency used by tesla transformers is definitely high. The output voltage tesla coilshaped pulses with pulse widths varying from hundreds of nanoseconds to micro seconds. At the beginning of its development, using the tesla coil to generate pulses with a spark gap. With over the times, then to generate a pulse that has frequency from a few ten of kilohertz is used in the form of semiconductor switching devices, that is a mosfet. In this research tesla transformer is designed with a resonant frequency of 114 kHz. To measure tesla coil output voltage is used between a spark gap. And analyze the differences between the primary winding used one core and two cores.

Keywords: tesla coil, Inverter, Pulse Width, one core and twocore

1. Pendahuluan

Tujuan yang hendak dicapai dalam Tugas Akhir ini adalah merancang rangkaian pembangkitan trafo tesla dengan menganalisis perbedaan kumparan tesla dengan menggunakan kumparan satu inti dan dua inti. Sehingga nantinya bisa membantu menganalisis kelebihan dan kekurangan antara kumparan tesla satu inti dengan kumparan tesla dua inti.

Pembahasan dalam tugas akhir ini dibatas oleh:

1. Perangkat keras yang dibuat adalah berupa pembangkitan trafo tesla.
2. Komponen terdiri dari induktor, kapasitor.
3. Menggunakan *inverter type Push pull*.
4. Rangkaian resonan yang digunakan bertipe *series*
5. Menggunakan inti tunggal dan inti ganda.

2. Metode

2.1. Pembangkit Tegangan Tinggi

Secara garis besar pembangkit tegangan tinggi terdiri atas^[1] :

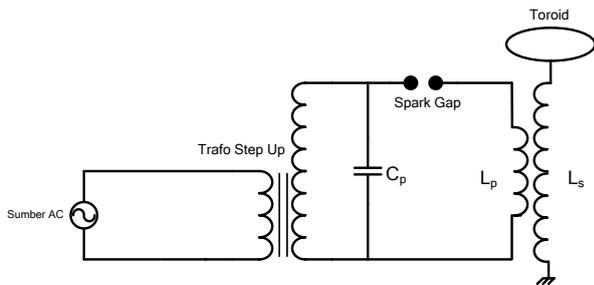
1. Pembangkit tegangan tinggi bolak-balik (AC).
2. Pembangkit tegangan tinggi searah (DC).
3. Pembangkit tegangan tinggi impuls.

2.2. KumparanTesla^{[2] [3]}

Salah satu cara untuk membangkitkan tegangan tinggi dengan peralatan yang cukup portabel, mudah dalam penggunaannya, dan biaya yang cukup murah adalah dengan menggunakan kumparan tesla. Kumparan tesla merupakan alat yang mampu menghasilkan tegangan tinggi bolak-balik mulai dari ribuan volt sampai jutaan

volt dengan frekuensi berkisar antara puluhan kilohertz sampai dengan orde MHz. Tegangan keluaran kumparan tesla berbentuk pulsa dengan lebar pulsa bervariasi dari nano detik sampai ratusan mikro detik.

Secara sederhana kumparan Tesla dapat dibuat dengan beberapa komponen dasar seperti terlihat pada gambar 2.1. Terdiri atas trafo yang membangkitkan tegangan tinggi sekitar 5 – 30 kV. Trafo tegangan tinggi ini akan memuat kapasitor primer melalui kumparan primer. Induktor primer terdiri dari beberapa lilitan kawat tebal yang mempunyai hambatan rendah.



Gambar 2.1. Skema dasar kumparan tesla

Ketika kapasitor primer telah termuati maka beda potensial diantara elektroda-elektroda celah udara (spark gap) cukup tinggi sehingga terjadilah aliran arus dan mengakibatkan terjadinya breakdown udara. Saat spark gap terhubung, kapasitor primer dan induktor primer akan membentuk rangkaian resonansi dengan frekuensi resonansi yang besarnya ditentukan oleh nilai kapasitor dan lilitan primer.

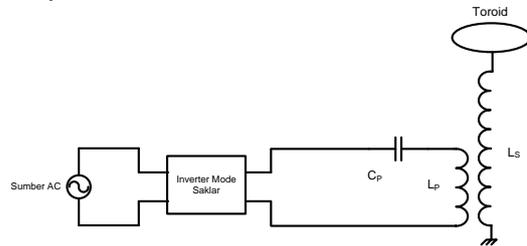
Medan elektromagnet yang dihasilkan lilitan primer sebagian akan diinduksikan ke kumparan sekunder. Ujung atas dari lilitan sekunder akan dihubungkan dengan toroida yang mempunyai kapasitansi tertentu sedangkan ujung bawah akan terhubung dengan tanah. Lilitan sekunder dan toroida akan membentuk rangkaian resonansi. Jika frekuensi resonansi lilitan sekunder dan toroida cukup dekat dengan frekuensi rangkaian primer maka pada toroida akan terbangkitkan tegangan ekstra tinggi. Tegangan ekstra tinggi yang terbangkitkan cukup untuk membuat terjadinya breakdown udara dan hal ini ditandai dengan adanya flashover yang keluar dari permukaan toroida ke udara sekitarnya. Dan ketika terjadi discharge pada kapasitor sekunder, spark gap akan terbukadkan proses yang sama akan terulang lagi.

2.3. Kumparan Tesla dengan pensakaran menggunakan Inverter

Jika dibandingkan dengan kumparan tesla yang menggunakan spark gap seperti pada Gambar 2.1, maka pada kumparan tesla yang mengaplikasikan piranti pensaklaran, fungsi spark gap digantikan oleh inverter mode saklar dan suplai yang digunakan untuk inverter

mode saklar adalah suplai jala-jala, sehingga trafo penaik tegangan (step up) pada kumparan tesla jenis ini tidak diperlukan.

Dan untuk penyettingan frekuensinya pun lebih mudah, karena menggunakan IC 494 yang hanya memutar regulator, maka frekuensi akan berubah dengan sendirinya.



Gambar 2.2. Kumparan Tesla dengan Inverter

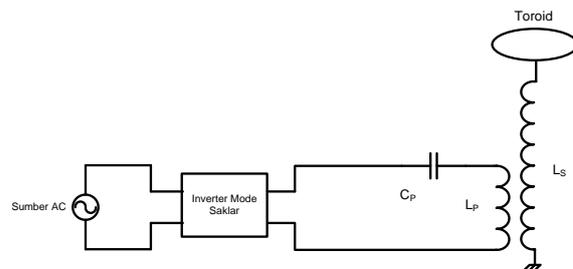
Jika dibandingkan dengan kumparan tesla yang menggunakan spark gap seperti pada Gambar 2.1, maka pada kumparan tesla yang mengaplikasikan piranti pensaklaran, fungsi spark gap digantikan oleh inverter mode saklar dan suplai yang digunakan untuk inverter mode saklar adalah suplai jala-jala, sehingga trafo penaik tegangan (step up) pada kumparan tesla jenis ini tidak diperlukan.

Dan untuk penyettingan frekuensinya pun lebih mudah, karena menggunakan IC 494 yang hanya memutar regulator, maka frekuensi akan berubah dengan sendirinya.

3. Hasil dan Analisa

3.1 Kumparan Tesla

Kumparan tesla yang dibuat dalam tugas akhir ini mempunyai skema dasar hubung seri antara kapasitor primer dan induktor pada sisi primernya. Gambar rangkaian kumparan tesla dalam rangkaian resonansi seri seperti gambar 3.1



Gambar 3.1 Rangkaian resonansi seri

3.1.1 Perancangan Kumparan Tesla

Pada kumparan tesla berinti tunggal digunakanlah lilitan pada induktor tidak menggunakan dua konduktor yang dipilin secara bersamaan. Dengan kata lain kumparan

tesla berinti tunggal pada bagian induktornya hanya menggunakan satu buah penghantar saja.

1. Lilitan primer

Pada lilitan primer digunakan dua buah model, yaitu induktor berinti tunggal dan induktor berinti ganda. Untuk menjadikan induktor berinti ganda, dengan cara memilin dua buah konduktor.

a) Lilitan primer berinti tunggal

Untuk lilitan primer berinti tunggal dirancang dengan membentuk sebuah induktor berdiameter 12cm (R=6cm) menggunakan konduktor yang mempunyai diameter 2mm. Mempunyai tinggi 16 cm dan lilitan sebanyak 11 buah. Dengan persamaan :

$$L_p = \frac{RN^2}{20(RD)}$$

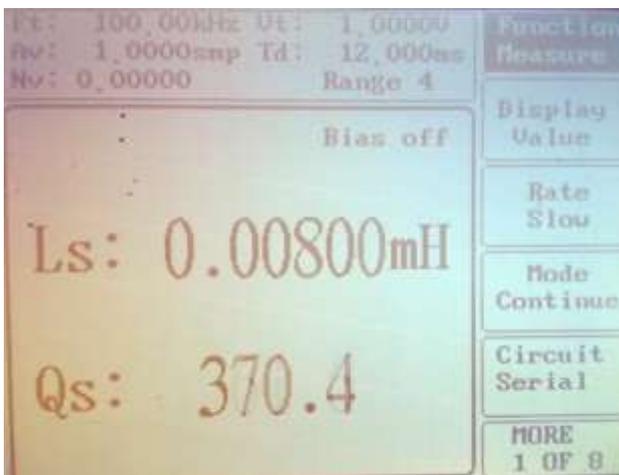
Maka akan memperoleh nilai induktansi sebesar

$$L_p = \frac{6^2 11^2}{2540 \cdot (9 \cdot 6 + 10 \cdot 16)}$$

$$= 0.008mH$$

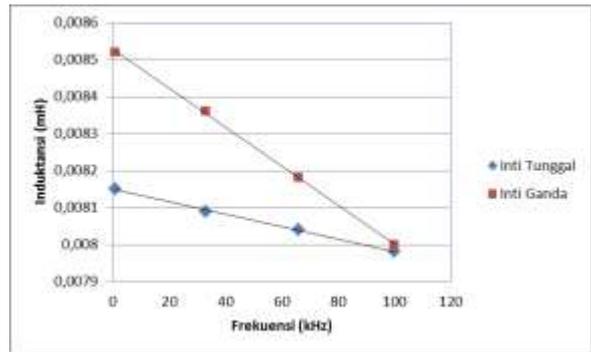
b) Lilitan primer berinti ganda

Lilitan primer berinti ganda dirancang menggunakan dua buah konduktor berdiameter 2 mm dengan memilinya. Induktornya mempunyai tinggi 14cm dengan lilitan sebanyak 11 lilit. Kemudian diukur menggunakan RLC meter digital mengeluarkan nilai induktansi seperti pada gambar

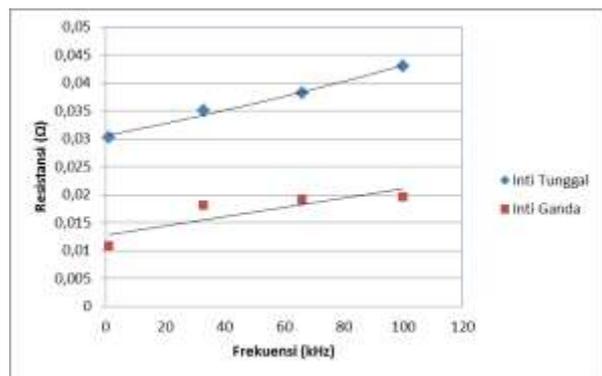


Gambar 3.2 Hasil pengukuran induktansi lilitan primer inti ganda frekuensi 100 kHz

Pada perancangan kumparan tesla diukur pula induktansi dan resistansi dalam dari lilitan primer pada frekuensi 1kHz, 33 kHz, 66 kHz dan 100 kHz. Hasil pengukuran di RLC meter digital menghasilkan grafik perbandingan seperti terlihat pada gambar :



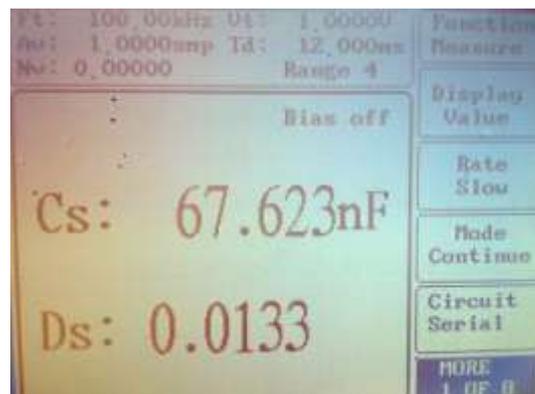
Gambar 3.3 Grafik perbandingan antara nilai induktansi lilitan primer berinti tunggal dan ganda



Gambar 3.4 Grafik perbandingan antara nilai resistansi lilitan primer berinti tunggal dan ganda

2. Kapasitor primer

Kapasitor primer disini berfungsi untuk melawan nilai induktansi agar terjadi resonansi pada saat reaktansi induktansi dan reaktansi kapasitansi saling meniadakan. Kapasitor disini dirancang dengan memparalel 7 buah kapasitor bernilai 10 nF, sehingga menghasilkan nilai kapasitansi sebesar 70 nF. Namun untuk pengukuran dengan RLC meter pada frekuensi 100 kHz nilai kapasitansi dari kapasitor primer turun hingga menunjukkan nilai seperti pada gambar 3.5



Gambar 3.5 Hasil pengukuran kapasitansi kapasitor primer frekuensi 100 kHz

3. Lilitan sekunder

Pada lilitan sekunder merupakan bentuk lilitan yang didesign dengan tinggi (H) 40 cm dan diameter lilitan yang digunakan sebesar 9 cm (d=9cm, R=4,5cm=0,045m). Jumlah lilitan pada induktor tersebut adalah 1400 lilitan (N=1400) dengan diameter kawat yang digunakan adalah sebesar 0.25 mm. Maka berdasarkan perancangan yang dilakukan sesuai dengan rumus yang sama dengan rumus yang diterapkan pada lilitan primer berinti tunggal, maka diperoleh nilai induktansi sebesar :

$$L_s = \frac{4,5^2 1400^2}{2540 \cdot (9 \times 4,5 + 10 \times 40)}$$

$$= 35,47 \text{ mH}$$

4. Toroid

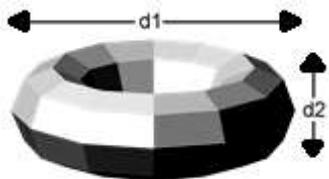
Toroid dalam tugas akhir ini berfungsi sebagai ikapasitor pada sisi sekunder tesla coil. Toroid yang digunakan mempunyai diameter luar (d₁) sebesar 40cm dengan diameter padaselubung (d₂) sebesar 8.6cm dan mempunyai diameter dalam (d₁ - 2d₂) sebesar 22,8 cm . Sehingga sesuai dengan rumus :



Diperoleh nilai kapasitansi sebesar :

$$C_T = 2,8 \cdot \left(1,2781 - \frac{8,6}{40}\right) \cdot \sqrt{0,1217 \cdot 8,6 \cdot (40 - 8,6)}$$

$$= 17,06 \text{ pF}$$



Gambar 3.6 Gambar skema toroid

3.2 Perancangan dengan matlab

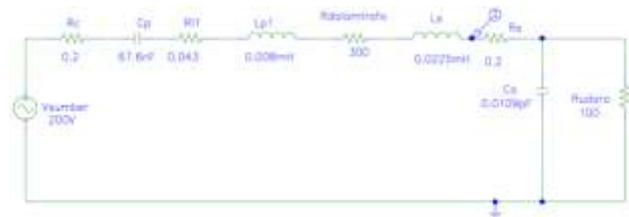
Pada perancangan matlab ini parameter – parameter dalam rangkaian diambil dari hasil pengukuran dengan menggunakan RLC meter.

Ada hal yang perlu diperhatikan sebelum melihat gambar rangkaian pada trafo tesla yaitu:

1. Sumber tegangan digunakan 200, karena mendekati output dari interter pushpull.
2. Nilai induktansi, resistansi dan kapasitansi dari rangkaian sekunder sudah ditransfer kedalam bentuk rangkaian ekuivalen trafo (dikalikan α²).
3. Nilai α sendiri adalah kumparan primer dibagi kumparan sekunder yang terinduksi.
4. Resistansi dalam trafo mempunyai nilai lebih besar daripada resistansi udara dalam celah udara dikarenakan ruangnya yang lebih luas.

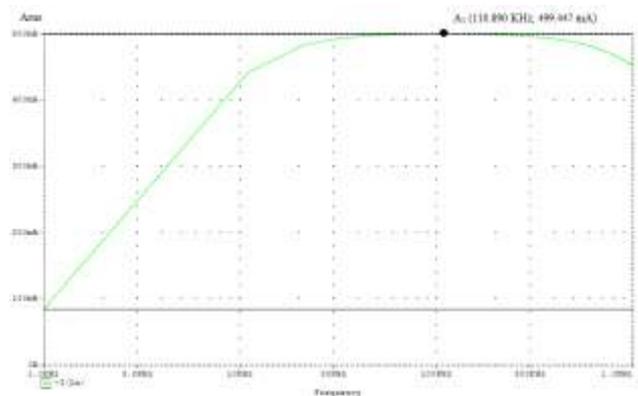
1) Simulasi Perancangan IntiTunggal

Simulasi ini menggunakan data yang diperoleh dari hasil pengukuran pada rangkaian resonansi menggunakan kumparan primer berinti tunggal. Data yang diperoleh seperti yang tertera pada gambar 3.7



Gambar 3.7 Gambar rangkaian simulasi lilitan primer inti tunggal

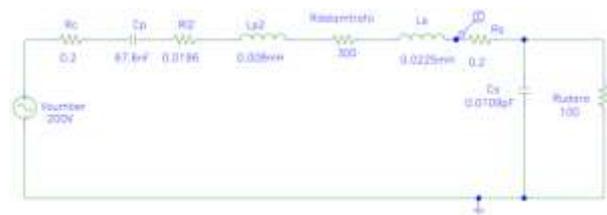
Dan dari rangkaian tersebut bisa menghasilkan gelombang pada V seperti pada gambar 3.8



Gambar 3.8 Gambar gelombang keluaran simulasi lilitan primer inti tunggal

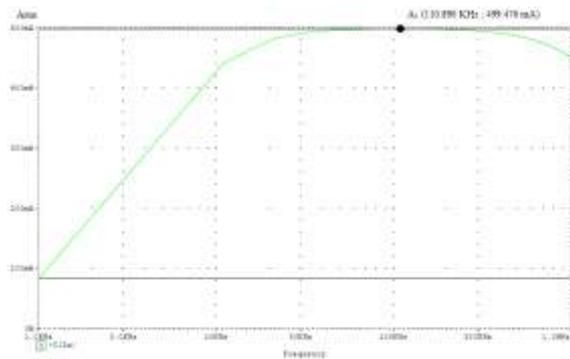
2) Simulasi Perancangan Inti Ganda

Simulasi perancangan pada inti ganda mempunyai konsep yang hampir sama dengan inti tunggal, namun berbeda pada nilai resistansi yang ditunjukkan pada saat pengukuran. Rangkaian yang digunakan pun sama dengan perancangan inti tunggal yaitu seperti pada Gambar 3.9



Gambar 3.9 Gambar rangkaian simulasi lilitan primer inti ganda

Simulasi menghasilkan gelombang resonan seperti pada Gambar 3.10 :



Gambar 3.10 Gambar gelombang keluaran simulasi lilitan primer inti ganda

3) Perbandingan simulasi

Pada rangkaian simulasi perancangan ini untuk rangkaian pada lilitan primer berinti tunggal dan lilitan primer berinti ganda menggunakan rangkaian yang sama. Yang membedakan simulasi lilitan primer berinti tunggal dan berinti ganda adalah nilai resistansi dalam lilitan primer. Resistansi dalam lilitan primer berinti tunggal bernilai $0,043 \Omega$ sedangkan untuk lilitan primer berinti ganda bernilai $0,0196$. Nilai ini diambil dari nilai hasil pengukuran.

Pada sub bab sebelumnya dibahas tentang simulasi pada lilitan primer berinti tunggal dan lilitan primer berinti ganda. Namun ada beberapa faktor pada simulasi yang tidak diambil data dengan cara pengukuran, melainkan dengan menggunakan asumsi. Hal ini dikarenakan tidak memungkinkan dalam melakukan pengukuran untuk parameter tersebut atau dimisalkan.

Parameter-parameter yang diasumsikan antara lain adalah :

1. Sumber tegangan pada input rangkaian primer 200 V, dikarenakan output inverter push pull berada pada rentan 200V
2. Nilai resistansi udara tidak ada referensi yang pasti, namun resistansinya besar.

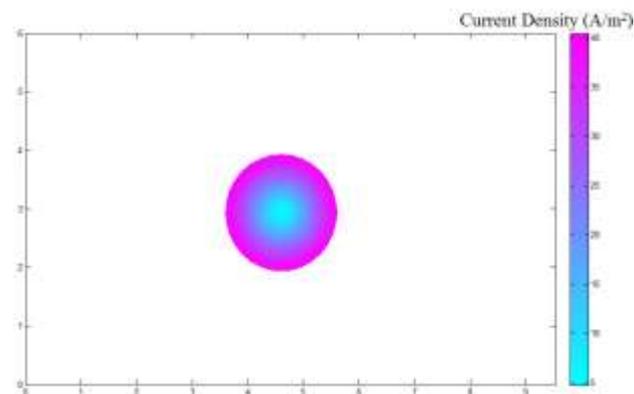
Hasil yang bisa diperoleh dari simulasi tersebut adalah.

1. Rangkaian tersebut terjadi resonan pada frekuensi 110,89 kHz sesuai dengan Gambar 18 dan Gambar 20.
2. Nilai keluaran arus dari lilitan primer berinti tunggal bernilai 499,447 mA
3. Nilai keluaran arus dari lilitan primer berinti ganda bernilai 499,476 mA
4. Nilai arus keluaran dari lilitan primer berinti ganda sedikit lebih besar daripada arus keluaran dari lilitan primer berinti tunggal, hal ini dikarenakan resistansi dalam dari lilitan primer berinti tunggal lebih besar. Hal ini sedikit menghambat mengalirnya arus.
5. Bentuk gelombang keluaran arus pada kedua percobaan tersebut serupa, hal ini dikarenakan bentuk rangkaian yang identik dan hanya berubah pada resistansi dalam masing – masing lilitan primernya saja.

3.3 Simulasi Perancangan dengan Matlab

Dengan simulasi matlab menggunakan PDE ini bisa memperoleh perkiraan mengalirnya arus dalam suatu konduktor dengan diameter tertentu.

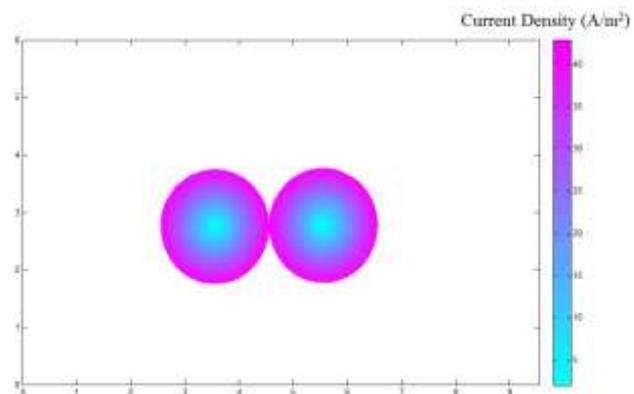
1) Simulasi Matlab Inti Tunggal



Gambar 3.11 Gambar simulasi aliran arus inti tunggal

Konduktor yang dirancang berukuran diameter 2mm sama seperti konduktor pada hardware. Pada gambar terlihat arus mengalir pada sisi-sisi dari konduktor yang tentunya akan mengurangi jumlah dari arus maksimal yang bisa dialirkan karena pada inti konduktor terlihat arus tidak mengalir pada sisi tersebut.

2) Simulasi Matlab Inti Ganda



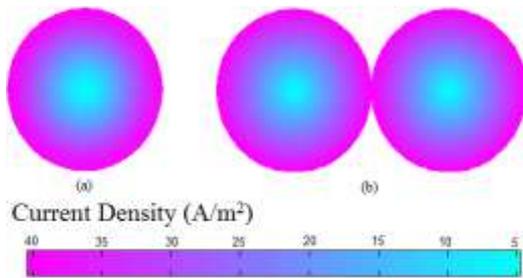
Gambar 3.12 Gambar simulasi aliran arus inti ganda

Pada gambar simulasi aliran arus pada inti ganda ini disimulasikan arus mengalir lebih merata. Pada gambar terlihat juga pada inti dari konduktor tersebut bagian yang tidak mengalirkan arus listrik terlihat lebih kecil.

3) Perbandingan Hasil Simulasi

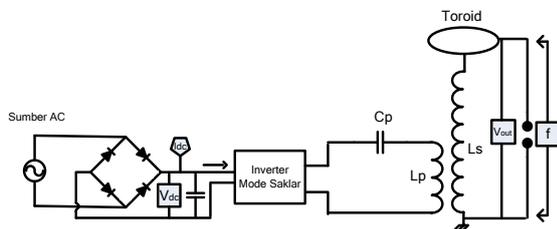
Pada gambar bisa disimpulkan bahwa antara hasil simulasi dengan menggunakan matlab pada konduktor

berinti tunggal dan ganda terlihat perbedaan. Antara lain ruang dari arus untuk mengalir pada sisi konduktor berinti ganda terlihat lebih luas daripada konduktor berinti tunggal. Dan ruang yang tidak teraliri arus terlihat pada konduktor berinti tunggal lebih luas daripada konduktor yang berinti ganda.



Gambar 3.13 (a) Simulasi inti tunggal, (b) Simulasi inti ganda

3.4 Rangkaian pengujian

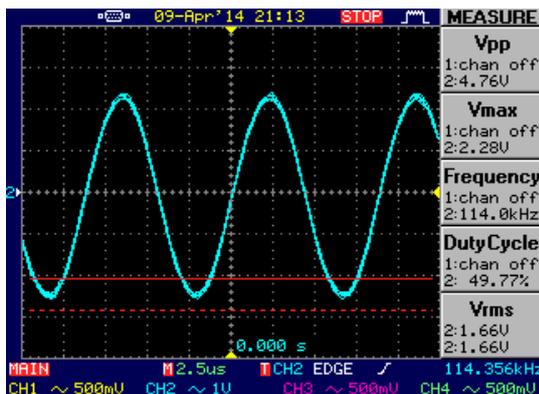


Gambar 3.14 Gambar rangkaian pengambilan data

3.5 Pengujian Kumparan Tesla

Dari gambar rangkaian seperti pada gambar 3.14, maka diperoleh hasil pengujian kumparan tesla dengan membandingkan inti tunggal dengan inti ganda pada lilitan sisi primer. Pengujian ini diambil menggunakan probe dengan perbandingan 1:1000.

Contoh bentuk gambar pada saat pengujian adalah



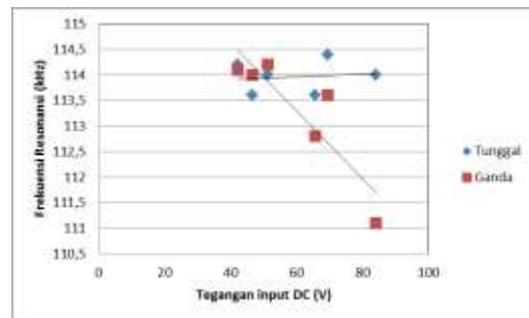
Gambar 3.15 Gambar keluaran tegangan (Vout) dari input tegangan dc 84V pada lilitan primer berinti tunggal

Tabel 3.1 Tabel hasil pengujian lilitan primer inti tunggal

V _{dc} (V)	I _{dc} (A)	Frekuensi Resonansi (kHz)	V _{out} (kV)
42.1	0.35	114.1	3.96
46.2	0.42	114	3.8
51.1	0.47	114.2	4.32
65.5	0.61	112.8	5.48
69.4	0.64	113.6	6.04
84	0.77	111.1	6.8

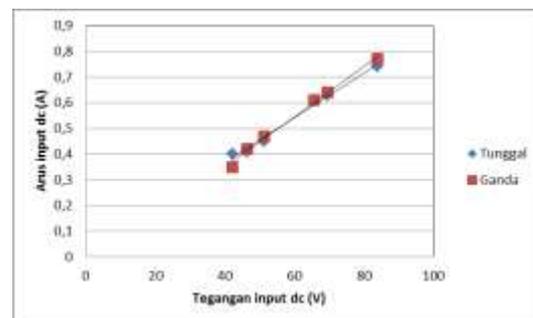
Tabel 3.2 Tabel hasil pengujian lilitan primer inti ganda

V _{dc} (V)	I _{dc} (A)	Frekuensi Resonansi (kHz)	V _{out} (kV)
42.1	0.4	114.2	2.52
46.5	0.41	113.6	2.76
51.2	0.45	114	3.12
65.9	0.61	113.6	3.8
69.6	0.63	114.4	4.36
84	0.74	114	4.76



Gambar 3.16 Gambar grafik perbandingan frekuensi resonansi

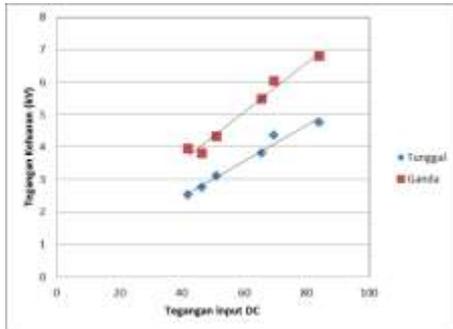
Pada gambar terlihat jika frekuensi resonansi cenderung fluktuatif, namun terlihat adanya penurunan pada pengujian tegangan input tinggi. Hal ini berhubungan dengan nilai induktansi lilitan primer berinti ganda yang turun lebih drastis daripada lilitan tunggal pada saat pengukuran



Gambar 3.17 Gambar grafik perbandingan arus input dc

Pada gambar terlihat ada perbedaan namun tidak terlalu signifikan. Pada lilitan primer berinti ganda pertumbuhannya cenderung lebih tajam daripada lilitan primer berinti tunggal. Hal ini disebabkan juga oleh pengukuran yang menunjukkan hasil induktansi lilitan

berinti ganda turun lebih tajam daripada lilitan tunggal yang cenderung lebih stabil, sehingga arus yang dibutuhkan pun mengikuti.



Gambar 3.18 Gambar grafik perbandingan keluaran tesla

Pada grafik juga terlihat perbedaan yang cukup jelas pada tegangan keluaran dari rangkaian sekunder trafo tesla pada lilitan primer berinti tunggal dan lilitan primer berinti ganda. Dengan didukung pengukuran, hal ini dikarenakan hambatan dalam dari lilitan tersebut mempunyai nilai yang berbeda.

Pada saat pengukuran seiring naiknya V_{dc} , maka V_{out} juga akan naik. Hal ini terjadi karena jika tegangan pada lilitan primer semakin tinggi, maka akan semakin tinggi pula tegangan keluarannya. Dan pada pengukuran dengan lilitan primer berinti tunggal V_{out} cenderung lebih kecil, hal ini dikarenakan resistansi dalam yang lebih besar pada lilitan primer berinti tunggal akan menghambat induksi flux magnetik ke lilitan sekundernya.

4. Kesimpulan

1. V_{out} dengan kumparan primer menggunakan kumparan berinti ganda lebih besar dikarenakan resistansi dalamnya lebih kecil.
2. V_{out} dengan kumparan primer menggunakan kumparan berinti tunggal lebih kecil dikarenakan resistansi dalamnya lebih besar.
3. Resistansi dalam yang lebih besar menghambat terjadinya aliran flux pada trafo sehingga mengakibatkan aliran daya menjadi terhambat.
4. Dengan memilin konduktor, maka arus yang dialirkan akan lebih besar daripada konduktor yang single
5. Nilai induktansi pada lilitan primer berinti tunggal lebih stabil.

Referensi

- [1]. Tobing, Bonggas L, Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi, Penerbit PTGramedia Pustaka Utama, Jakarta, 2003.
- [2]. Habibi, Ahmad Tugas Akhir: Pembangkitan Tegangan Tinggi AC Menggunakan Kumparan Tesla, Universitas Diponegoro, 2007.
- [3]. Mujahid, Wildan Tugas Akhir: Perancangan Pembangkit Tegangan Tinggi AC Frekuensi Tinggi dengan Kumparan Tesla menggunakan Inverter Jenis Push-Pull, Universitas Diponegoro, 2010.