

**DESAIN PEMBANGKITAN TEGANGAN TINGGI FREKUENSI TINGGI
MENGUNAKAN KUMPARAN TESLA**

(Skripsi)

**Oleh
DERI HIDAYATULLAH**



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2018**

ABSTRAK

DESAIN PEMBANGKITAN TEGANGAN TINGGI FREKUENSI TINGGI MENGUNAKAN KUMPARAN TESLA

Oleh

DERI HIDAYATULLAH

Pada penelitian ini trafo tesla dirancang menggunakan input tegangan 7,5 KV. Untuk menimbulkan tegangan berfrekuensi tinggi di bagian primer dipakai spark gap dengan saklar berkecepatan tinggi. Trafo tesla dirancang menggunakan kumparan sekunder diameter 8,8 cm dan lilitan sebanyak 1200 lilit dengan tinggi 42 cm. Torus di bagian sekunder berdiameter 16 cm. Kondisi *matching* (setara) terdekat antara bagian primer dan sekunder, dicapai dengan menyamakan induktansi dan kapasitansi bagian keduanya sehingga diperoleh 23,88 mH dan 15,48 pF secara berturutan. Induktor dan kapasitor yang telah ditentukan akan menghasilkan frekuensi sebesar 261,87 Khz. Kumparan primer yang dirancang memiliki 2 tipe, yakni kumparan primer *flat-spiral* dengan induktansi 25,66 μ H dan kumparan primer *helical* dengan induktansi sebesar 19,34 μ H. Besarnya kapasitor primer divariasikan, yakni sebesar 5 nF, 15 nF, dan 20 nF.

Rancangan trafo tesla kemudian dirakit dan diuji untuk mendapatkan tegangan tertinggi dengan cara mengukur jarak loncatan listrik yang dibangkitkan trafo tesla. Didapat, untuk tipe *helical* loncatan listrik terjauh diperoleh saat digunakan kapasitansi 20 nF. Loncatan listrik yang dihasilkan sejauh 18,34 cm dengan frekuensi resonansi primer 256,07 Khz. Hasil yang lebih rendah didapatkan ketika dipergunakan tipe *flat-spiral*. Jarak loncatan listrik tertinggi tipe ini dibangkitkan ketika dipasang kapasitor 15 nF. Output yang dihasilkan tipe ini sejauh 13,23 cm dan frekuensi resonansi 256,65 Khz. Hal ini dapat dikatakan bahwa tipe kumparan *helical* memiliki keluaran yang lebih besar dari pada tipe *flat-spiral*.

Kata kunci : Trafo tesla, tegangan tinggi frekuensi tinggi, *helical* dan *flat spiral*.

ABSTRACT

TRANSFORMATOR HIGH FREQUENCY AND HIGH VOLTAGE DESIGN USING TESLA COIL

By

DERI HIDAYATULLAH

In this research, the tesla transformer is designed to use input voltage of 7.5 KV. To ignite the high frequency voltage in the primary circuit a rotary spark gap is used as a high speed switch. The Tesla transformer is designed to use a 8.8 cm diameter of the secondary coil and the number of turn is limited to 1200 turns thus associated with the height of 42 cm. The torus diameter on the secondary circuit is 16 cm. To obtain highest coupling between secondary and primary turns, it is calculated that the secondary coil inductance and capacitance should be 23.88 mH and 15.48 pF consecutively. These inductor and capacitance combination will generate frequency at 261,87 Khz. The primary coil is designed in two types i.e. the spiral-shaped primary coil with inductance of 25.66 μ H and the helical primary coil with calculated inductance of 19.34 μ H. The primary capacitance value is set to varying values i.e. 5 nF, 15 nF, and 20 nF.

The designed Tesla transformer then constructed and tested to obtain the highest output by measuring the length of the electric spark generated by the Tesla transformer. It is found, for primary turn type is helical coil the longest spark gap generated when the capacitance is set to 20 nF. The electric spark yields by this combination is 18.34 cm with the primary frequency is 256.07 Khz. Lower result is resulted when the primary coil type in used is flat-spiral coil. The longest spark generated when coupled with a capacitance of 15 nF. The electric spark produced by Tesla transformer is just 13.23 cm and resonance frequency is 256.65 Khz. Thus, one can say the helical coil type on the primary side yields higher output then the flat-spiral type.

Keywords : Tesla transformer, High voltage high frequency, helical and flat spiral.

**DESAIN PEMBANGKITAN TEGANGAN TINGGI FREKUENSI TINGGI
MENGUNAKAN KUMPARAN TESLA**

Oleh
DERI HIDAYATULLAH

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2018**

Judul Skripsi : **DESAIN PEMBANGKITAN TEGANGAN
TINGGI FREKUENSI TINGGI
MENGUNAKAN KUMPARAN TESLA**

Nama Mahasiswa : **Deri Hidayatullah**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1315031025

Jurusan : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik

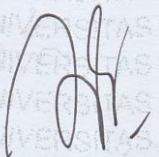
MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing


Dr. Herman H. Sinaga, S.T., M.T.
NIP 19711130 199903 1 003


Dr. Henry B. Sitorus, S.T., M.T.
NIP 19721219 199903 1 002

2. Ketua Jurusan Teknik Elektro


Dr. Ing. Ardian Ulvan, M.Sc.
NIP 19731128 199903 1 005

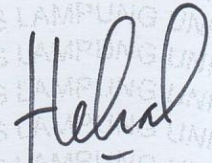
Disahkan Tanggal : 24 Agustus 2018

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

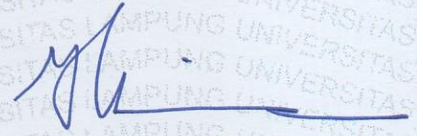
Ketua

: Dr. Herman H. Sinaga, S.T., M.T.



Sekretaris

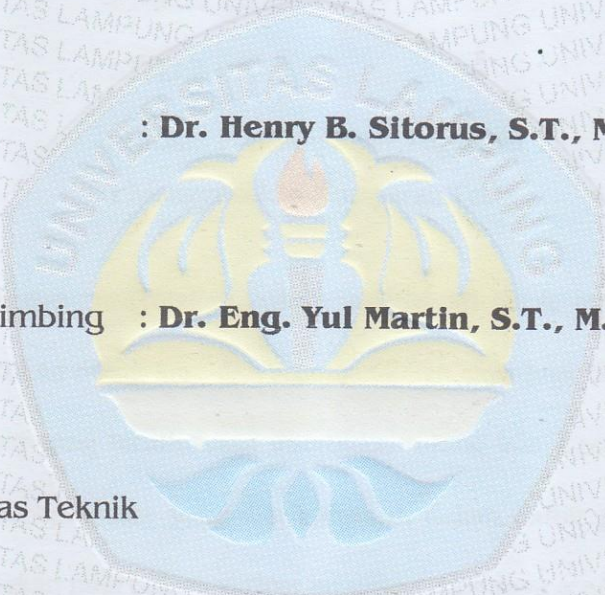
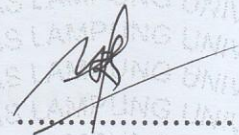
: Dr. Henry B. Sitorus, S.T., M.T.



Penguji

Bukan Pembimbing

: Dr. Eng. Yul Martin, S.T., M.T.



2. Dekan Fakultas Teknik



Prof. Suharno, Ph.D.

NIP 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 16 Mei 2018

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini, saya :

Nama : Deri Hidayatullah
NPM : 1315031025
Jurusan : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Judul : Desain Pembangkitan Tegangan Tinggi Frekuensi Tinggi
Menggunakan Kumpanan Tesla

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain, dan sepengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang tertulis atau diterbitkan orang lain, kecuali tertulis dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan di dalam daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandarlampung, 17 Juli 2018



Deri Hidayatullah

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kotabumi, pada tanggal 26 Maret 1996, sebagai anak ketiga dari tiga bersaudara, dari Bapak Hilaludin dan Ibu Edriani.

Pendidikan penulis dimulai dari Taman Kanak-kanak Aisyah Bustanul Athfal di des. Kembang tanjung, kec. Abung selatan, kab. Lampung utara, dilanjutkan sekolah tingkat dasar di SD Negeri 01 Kembang tanjung, kec. Abung selatan, kab. Lampung utara pada tahun 2001-2007, Sekolah Lanjutan Tingkat Pertama di SMP Negeri 10 Kotabumi pada tahun 2007-2010, dan Sekolah Menengah Atas di SMA Bhayangkari Kotabumi pada tahun 2010-2013.

Pada tahun 2013, Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur seleksi SBMPTN. Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah menjabat sebagai anggota Departemen Pendidikan dan Pengembangan Diri, pada Divisi Pendidikan HIMATRO Unila tahun 2014 dan 2015. Koordinator Humas Madrasah Relawan regional Lampung 2018. Aktif dikegiatan kemahasiswaan serta pernah melakukan kerja praktik di PLTA Way Besai Lampung Barat pada tahun 2016. Penulis lulus pada tahun 2018 dan mendapat gelar Sarjana Teknik.

Kupersembahkan karya ku ini kepada

Allah Subhanahuwata'ala Robb semesta alam dengan harapan

Menjadi Nilai ibadah lillahitaala

Kedua orangtuaku yang telah membesarkan ku

Dengan merawatku dan mendidikku dengan cahaya Islam,

Kakak-kakakku yang telah memberikan dukungan,

Semangat, do'a, serta menjadi salah satu contoh

untuk tetap kokoh Didalam diinul Islam

*Guru-guru dan dosen-dosenku yang mendidikku dengan sabar dan
membekali dengan ilmu yang bermanfaat*

Serta Rekan-rekan dan Sahabat-sahabatku

Yang telah memberikan inspirasi dan kenangan, serta Nasihat

"Islam adalah Rahmatan Lil'alamiin"

SANWACANA

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas segala rahmat dan hidayah yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi tugas akhir yang berjudul "Desain Pembangkitan Tegangan Tinggi Frekuensi Tinggi Menggunakan Kumparan Tesla." Penyusunan skripsi merupakan syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Dalam penyusunan skripsi ini Penulis banyak mendapat bantuan baik moral maupun material dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini, Penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Kedua orangtuaku, Ayah Hilaludin dan Ibu Edriani yang telah mengenalkanku kepada Islam, memberikan kasih sayang, mengajarkan kegigihan dan kesabaran. Terimakasih telah mengajarkanku banyak hal dalam kehidupan dan semoga kita diberi umur panjang untuk terus bisa melakukan kebaikan lillahita'ala semoga Allah menyatukan kita di Surganya kelak.
2. Saudaraku Dani Ahmad Fauzi dan Deky Fahli yang telah mendukung, mendoakan serta menjadi salah satu teladan dalam menyikapi kehidupan. Semoga kita diberi umur panjang yang bermanfaat didalam dakwah islam ini untuk menebarkan tauhid dan selalu Istiqomah untuk memperbaiki diri dan

lingkungan. Semoga Allah meridhoi kita dan mengampuni dosa kita,
Astaghfirullahal'adzim

3. Bapak Dr. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.
4. Bapak Dr. Herman Halomoan Sinaga, S.T., M.T. dan Bapak Dr. Henry Binsar Sitorus, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, pelajaran, kritik dan saran serta dukungan moril maupun materiil kepada penulis selama penyelesaian tugas akhir ini. Terimakasih banyak-banyak pak
5. Bapak Dr. Eng. Yul Martin, S.T., M.T. selaku dosen penguji yang telah memberikan pelajaran, kritik dan saran dalam penyelesaian tugas akhir ini.
6. Seluruh Dosen dan staf Jurusan Teknik Elektro atas bimbingan yang penulis peroleh selama perkuliahan.
7. Teman pertama maba saya Dimas dan Ikrom, terimakasih sudah mau menjadi teman saya, saat masih belum mengenal bandar lampung hehe, semoga Allah merahmati kita Aamiin.
8. Teman yang terbaik menurut saya di elektro 13 Adlin junando, semoga Allah memahamkan ilmu agama Islam kekamu dan meridhoi serta merahmatimu hapalanmu. Terimakasih sudah menjadi salah satu contoh dan saingan dalam berbuat kebaikan.
9. Teman kontrakan dan teman elektro tercinta, hardy, danu, marwansyah, andi dengkul, agum, satria, ilham, bujang, boy, andi A, venus, rendi, nasrul, yasin, nanang, ade, andre, Zul, paian, reza, nando, raffi, manda, fikri, agung, gusti, rizky, maruf, arif, agus surinanto S.T, ridho prakoso S.T, M bagus nurfaif,

muhammad hanif, iqbal, bayu, andika, fandri, menachem, Semoga Allah memberikan dan menetapkan kita untuk mengikuti hidayah Aamiin.

10. Teman teman KKN, Rendra, Feri, Komang, Kiky, Naura, Dhyna. Semoga Allah memberikan dan menetapkan kita untuk mengikuti hidayah Aamiin.
11. Teman Madrasah Relawan, Kak MS (udin), Aji, Arif, Debi, Ridho, Fawait, Ibnu, Beddu, Vito, Henry, Wiwid, zahra, nadya, tiara, ria, mela, risky. Semoga Allha memberikan kita umur yang bermanfaat dan meridhoi langkah kita, “Muda Menebar Manfaat”.
12. Teman-Teman Seperjuangan yang telah membantu serta memberikan dukungan kepada saya. Terima Kasih sudah membuat cerita susah senang duka dan bahagia bersama dan selalu menjaga siraturami antara kita.
13. Seluruh Penghuni Laboratorium Terpadu Teknik Elektro khususnya Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi.

Semoga Allah SWT membalas semua amal baik yang telah dilakukan.

Penulis berharap tugas akhir ini berguna bagi yang memerlukan.

Bandar Lampung, 17 Juli 2018

Penulis

Deri Hidayatullah
1315031025

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK.....	i
HALAMAN JUDUL	iii
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
SURAT PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP.....	vii
SANWACANA.....	ix
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR TABEL	xviii
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Tujuan Penelitian	2
1.3. Manfaat Penelitian	3
1.4. Rumusan Masalah.....	3
1.5. Batasan Masalah	3
1.6. Sistematika Penulisan	4
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Perkembangan TrafoTesla	6
2.2. Penggunaan Trafo Tesla	7

2.3. Prinsip Kerja Trafo Tesla	7
2.4. Penelitian-penelitian Sebelumnya	9
2.5. Komponen Penyusun Trafo Tesla	12
2.5.1. Kumbaran Sekunder	13
2.5.2. Torus atau Top Teerminal	13
2.5.3. Kumbaran Primer	13
2.5.4. Kapasitor Primer	14
2.5.5. Power Supply	15
2.5.6. Spark Gap	15

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Jenis Penelitian	17
3.2. Waktu dan Tempat Penelitian.....	17
3.3. Alat dan Bahan.....	17
3.4. Jadwal Kegiatan Penelitian.....	18
3.5. Rancangan Penelitian	19
3.5.1 Pembuatan Kumbaran Sekunder	19
3.5.2 Pembuatan Penyeragam Medan	21
3.5.3 Pembuatan Kumbaran Primer	22
3.5.4 Pembuatan Kapasitor Primer	24
3.5.5 Power Supply	25
3.5.6 Pembuatan Spark Gap	25
3.5.7 Pembuatan Trafo Tesla Keseluruhan	26
3.6. Metode Pengujian Trafo Tesla.....	27
3.7. Diagram Alir Penelitian.....	29
3.8. Tahapan Penelitian	30

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Kumbaran Sekunder	31
4.2. Torus atau Top Terminal.....	32

4.3. Kumpran Primer.....	33
4.3.1. Kumpran Primer <i>flat spiral</i>	33
4.3.2. Kumpran Primer <i>helical</i>	34
4.4. Power Supply.....	34
4.5. Kapasitor Primer	35
4.5.1. Kapasitor Primer Untuk Trafo Tesla <i>flat spiral</i>	35
4.5.2. Kapasitor Primer Untuk Trafo Tesla <i>helical</i>	36
4.6. Pengujian Trafo Tesla	38
4.6.1. Pengujian Trafo Tesla Variasi Pertama	38
4.6.1.1. Penngujian Trafo Tesla ke 1.....	39
4.6.1.2. Penngujian Trafo Tesla ke 2.....	40
4.6.1.3. Penngujian Trafo Tesla ke 3.....	41
4.6.1.4. Penngujian Trafo Tesla ke 4.....	41
4.6.1.5. Penngujian Trafo Tesla ke 5.....	42
4.6.1.6. Penngujian Trafo Tesla ke 6.....	43
4.6.1.7. Penngujian Trafo Tesla ke 7.....	44
4.6.1.8. Penngujian Trafo Tesla ke 8.....	45
4.6.2. Pengujian Trafo Tesla Variasi ke 8.....	46
4.6.2.1. Penngujian Trafo Tesla ke 9.....	47
4.6.2.2. Penngujian Trafo Tesla ke 10.....	48
4.6.2.3. Penngujian Trafo Tesla ke 11.....	49
4.6.2.4. Penngujian Trafo Tesla ke 12.....	50
4.6.2.5. Penngujian Trafo Tesla ke 13.....	51
4.6.2.6. Penngujian Trafo Tesla ke 14.....	51
4.6.2.7. Penngujian Trafo Tesla ke 15.....	52
4.6.2.8. Penngujian Trafo Tesla ke 16.....	53
4.6.3. Pengujian Trafo Tesla Variasi ke 3.....	54
4.6.3.1. Penngujian Trafo Tesla ke 17.....	55
4.6.3.2. Penngujian Trafo Tesla ke 18.....	55
4.6.3.3. Penngujian Trafo Tesla ke 19.....	56
4.6.3.4. Penngujian Trafo Tesla ke 20.....	58
4.6.4. Pengujian Trafo Tesla Variasi ke 3.....	58

4.6.4.1. Pengujian Trafo Tesla ke 17.....	59
4.6.4.2. Pengujian Trafo Tesla ke 18.....	60
4.6.4.3. Pengujian Trafo Tesla ke 19.....	61
4.6.4.4. Pengujian Trafo Tesla ke 20.....	62
4.7. Tabel Hasil Pengujian Trafo Tesla.....	63
4.8. Perbandingan Jarak Flashover Trafo Tesla	63
4.9. Pengaruh Penambahan Resistansi Pada Output Trafo Tesla	65
4.10. Grafik pengukuran output trafo tesla menggunakan osiloskop	66

BAB V SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan.....	68
5.2. Saran.....	69

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Gambar 2.1 <i>Wardencllyffe tower</i>	6
2. Gambar 2.2 <i>Tesla Coil</i> Resonansi Seri	8
3. Gambar 2.3 <i>Neon Sign Transformer</i> (NST)	15
4. Gambar 3.1 Rangkaian trafo tesla resonansi seri.....	19
5. Gambar 3.2 Kumparan <i>flat spiral</i>	23
6. Gambar 3.3 Kumparan <i>helical</i>	24
7. Gambar 3.4 <i>Rotary spark gap</i>	26
8. Gambar 3.5 Pengujian trafo tesla tanpa penambahan resistor.....	27
9. Gambar 3.6 Pengujian trafo tesla dengan penambahan resistor	27
10. Gambar 3.7 Diagram Alir Penelitian	29
11. Gambar 4.1 Trafo tesla <i>flat spiral</i>	37
12. Gambar 4.2 Trafo tesla <i>Helical</i>	37
13. Gambar 4.3 Pengujian trafo tesla <i>flat spiral</i> 2nF, 1 M Ω , 7,5KV	39
14. Gambar 4.4 Pengujian trafo tesla <i>flat spiral</i> 2nF, 1 M Ω , 15KV	40
15. Gambar 4.5 Pengujian trafo tesla <i>flat spiral</i> 5nF, 1 M Ω , 7,5KV	41
16. Gambar 4.6 Pengujian trafo tesla <i>flat spiral</i> 5nF, 1 M Ω , 15KV	42
17. Gambar 4.7 Pengujian trafo tesla <i>flat spiral</i> 15nF, 1 M Ω , 7,5KV	43
18. Gambar 4.8 Pengujian trafo tesla <i>flat spiral</i> 15nF, 1 M Ω , 15KV	44
19. Gambar 4.9 Pengujian trafo tesla <i>flat spiral</i> 20nF, 1 M Ω , 7,5KV	45
20. Gambar 4.10 Pengujian trafo tesla <i>flat spiral</i> 20nF, 1 M Ω , 15KV	46
21. Gambar 4.11 Pengujian trafo tesla <i>helical</i> 2nF, 1 M Ω , 7,5KV	47
22. Gambar 4.12 Pengujian trafo tesla <i>helical</i> 2nF, 1 M Ω , 15KV	48
23. Gambar 4.13 Pengujian trafo tesla <i>helical</i> 5nF, 1 M Ω , 7,5KV	49
24. Gambar 4.14 Pengujian trafo tesla <i>helical</i> 5nF, 1 M Ω , 15KV	50
25. Gambar 4.15 Pengujian trafo tesla <i>helical</i> 15nF, 1 M Ω , 7,5KV	51
26. Gambar 4.16 Pengujian trafo tesla <i>helical</i> 15nF, 1 M Ω , 15KV	52

27. Gambar 4.17 Pengujian trafo tesla <i>helical</i> 20nF, 1 M Ω , 7,5KV	53
28. Gambar 4.18 Pengujian trafo tesla <i>helical</i> 20nF, 1 M Ω , 15KV	54
29. Gambar 4.19 Pengujian trafo tesla <i>flat spiral</i> 2nF, 7,5KV	55
30. Gambar 4.20 Pengujian trafo tesla <i>flat spiral</i> 5nF, 15KV	56
31. Gambar 4.21 Pengujian trafo tesla <i>flat spiral</i> 15nF, 7,5KV.....	57
32. Gambar 4.22 Pengujian trafo tesla <i>flat spiral</i> 20nF, 15KV	58
33. Gambar 4.23 Pengujian trafo tesla <i>helical</i> 2nF, 7,5KV	59
34. Gambar 4.24 Pengujian trafo tesla <i>helical</i> 5nF, 15KV	60
35. Gambar 4.25 Pengujian trafo tesla <i>helical</i> 15nF, 7,5KV	61
36. Gambar 4.26 Pengujian trafo tesla <i>helical</i> 20nF, 15KV	62
37. Gambar 4.27 Grafik perbandingan loncatan listrik kedua variasi	64
38. Gambar 4.28 Grafik pengaruh penambahan resistor trafo tesla	65
39. Gambar 4.29 Gelombang output trafo tesla pada osiloskop	66
40. Gambar 4.30 Grafik output trafo tesla dari osiloskop.....	67

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Tabel 3.1. Jadwal Kegiatan Penelitian	18
2. Tabel 3.2. Konstanta K sesuai ratio H/D.....	20
3. Tabel 4.1 Output Seluruh Pengujian Trafo Tesla	63

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Trafo tesla merupakan alat yang dapat membangkitkan tegangan tinggi frekuensi tinggi dengan memanfaatkan peristiwa resonansi dalam transfer energi dari bagian primer ke bagian sekunder. Input tegangan pada sisi primer merupakan tegangan rendah dengan frekuensi kerja dan tegangan output merupakan tegangan tinggi dengan frekuensi tinggi. Tegangan tinggi frekuensi tinggi dapat dipergunakan dalam beragam aplikasi. Salah satu aplikasi yang dapat digunakan di antaranya untuk melihat ada atau tidaknya keretakan dan kantong udara pada isolator padat (isolator porselen). Tegangan tinggi ini dimaksudkan untuk menguji adanya lompatan api pada isolator tersebut dan frekuensi tinggi ini dimaksudkan untuk menguji terjadinya rambatan pada kulit isolator yang diuji. Selain itu tegangan tinggi ac frekuensi tinggi ini juga digunakan untuk pengujian ketahanan isolator terhadap tegangan tinggi ac frekuensi tinggi, yaitu tegangan saat terjadinya kesalahan atau proses hubung buka pada sistem tenaga listrik.

Trafo tesla merupakan transformator yang berintikan udara yang menginduksikan energi dari kumparan primer ke kumparan sekunder melalui frekuensi yang tinggi. Frekuensi tinggi ini didapat dari peristiwa resonansi antara komponen induktor (L) dan kapasitor (C), dengan pemicu berbentuk sela-percik

berputar (*rotary spark gap*). Bagian primer dirancang dapat memikul tegangan sampai belasan kilovolt, sedangkan bagian sekundernya mampu membangkitkan tegangan sampai ratusan bahkan ribuan kilovolt. Ketika beda potensial antara kedua elektroda di sela percik telah mampu menimbulkan loncatan listrik, maka bagian primer akan membentuk rangkaian resonansi sehingga akan menghasilkan arus resonansi frekuensi tinggi di bagian primer trafo tesla. Arus berfrekuensi tinggi pada bagian primer inilah yang akan menginduksikan tegangan tinggi frekuensi tinggi di bagian sekundernya [1].

Pada penelitian ini trafo tesla akan dibuat dengan menggunakan supply dari Trafo "*Neon Sign Transformer*" (NST) dengan output 15 KV. Hal ini dikarenakan pada penelitian sebelumnya belum ada yang membuat dengan supply dari NST dan mode *Spark gap*. Pada penelitian sebelumnya input tegangan kumparan tesla didapat dari inverter mode saklar yang memiliki batasan tegangan output maksimum sampai orde ratusan volt, sesuai batas tegangan breakdown Mosfet dari inverter tersebut. Penelitian ini menggunakan input tegangan 7.5 KV sampai 15 KV yang berasal dari trafo NST. Sehingga dengan pemberian input yang besar, diharapkan output dari trafo tesla ini lebih besar dari penelitian sebelumnya. Kumparan primer dari trafo tesla ini divariasikan menjadi dua bentuk, pertama berbentuk *flat-spiral* dan kedua berbentuk *helical*. Penelitian ini akan membandingkan output dari trafo tesla (tegangan dan frekuensinya) antara berbentuk *flat-spiral* dengan berbentuk *helical*.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Membuat trafo tesla yang dapat menghasilkan energi listrik tegangan tinggi berfrekuensi tinggi.
2. Mengetahui perbandingan keluaran dari trafo tesla antara *flat-spiral* dan *helical*.
3. Membuktikan pengaruh penyamaan (*match*) antara frekuensi resonansi di bagian primer dan di bagian sekunder terhadap output yang dihasilkan trafo tesla.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah tesla coil ini mampu menghasilkan energi listrik tegangan tinggi dan frekuensi tinggi yang dapat digunakan untuk kebutuhan studi dan penelitian.

1.4 Rumusan Masalah

Permasalahan yang dirumuskan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana cara membangkitkan tegangan tinggi frekuensi tinggi?
2. Apa perbedaan dari output trafo tesla yang menggunakan kumparan primer tipe *flat-spiral* dengan tipe *helical*?

1.5 Batasan Masalah

Pada penelitian tugas akhir ini pembahasan masalah dibatasi pada hal-hal sebagai berikut:

1. Trafo tesla yang dibuat adalah pembangkit tegangan tinggi kumparan tesla mode *spark gap*.

2. Tidak membahas kumparan tesla mode saklar semikonduktor yang memakai inverter *push pull*.
3. Tidak membahas pembangkitan tegangan tinggi lainnya, selain memakai kumparan tesla.
4. Tidak membahas pengujian isolator terhadap alat yang dibuat.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I. PENDAHULUAN

Memuat latar belakang, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tentang penjelasan-penjelasan yang mendukung tujuan penelitian yang akan dibahas pada tugas akhir ini.

BAB III. METODE PENELITIAN

Berisi tahapan-tahapan yang akan dilakukan guna menunjang penelitian ini, yaitu waktu dan tempat penelitian serta tahapan penelitian yang akan dilaksanakan.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi hasil dari penelitian yang telah dilakukan disertai dengan analisis pembahasan.

BAB V. SIMPULAN DAN SARAN

Memuat kesimpulan berdasarkan hasil pembahasan dari penelitian yang telah dilakukan dan saran agar menjadi acuan untuk melakukan penelitian yang sama di masa mendatang.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Trafo tesla merupakan pembangkit tegangan tinggi frekuensi tinggi yang berintikan udara, sehingga menggunakan frekuensi yang tinggi dalam sistem penyaluran energi dari bagian primer ke bagian sekundernya. Frekuensi tinggi ini didapat dari rangkaian resonansi L dan C. Rangkaian inilah yang menimbulkan resonansi antara kapasitor dan induktor sehingga saling meniadakan satu sama lain dan menghasilkan frekuensi yang tinggi.

2.1 Perkembangan Trafo Tesla

Trafo tesla pertama kali dibuat oleh seorang ilmuwan yang bernama nicola tesla sebelum abad ke 19. Nicola tesla mendirikan sebuah menara yang disebut *Wardencllyffe tower*.



Gambar 2.1 wardencllyffe tower [2]

Menara wardencllyffe memiliki ketinggian 187 kaki (57 m) dan terletak di Shoreham, New York, Amerika Serikat. Tower Wardenclyffe dibangun sebagai pengembangan transfer energi listrik secara wireless setelah Nikola Tesla menunjukkan kemungkinan aplikasi transfer energi wireless dalam pameran “World Columbian Exposition” tahun 1893 [2]. Pada pameran tersebut, Tesla mendemonstrasikan lampu pijar yang dapat menyala tanpa terhubung dengan kawat listrik. Selanjutnya pada tahun 1904 trafo tesla ini dikembangkan dalam proses transfer energi nirkabel, yang mana sudah dapat menggerakkan kapal udara dengan tenaga 0,1 horse power dengan jarak 100 kaki.

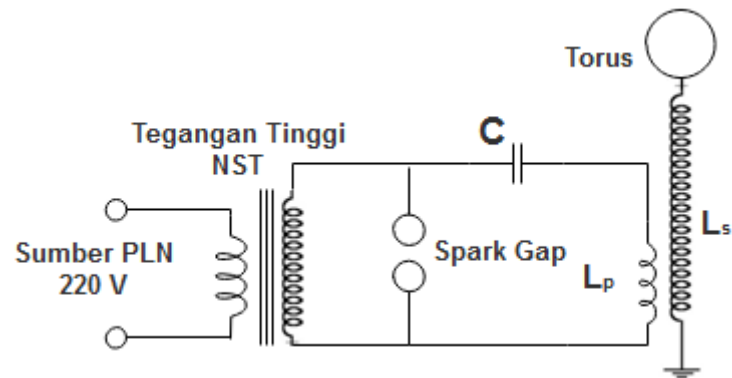
2.2 Penggunaan Trafo Tesla

Trafo tesla merupakan salah satu jenis pembangkit tegangan tinggi frekuensi tinggi. Tegangan tinggi frekuensi tinggi memiliki banyak aplikasi, salah satu di antaranya adalah sebagai sumber untuk pengujian bahan isolasi padat [3]. Penggunaan tegangan tinggi frekuensi tinggi ini berguna untuk mengetahui ada atau tidaknya keretakan dan kantong udara pada isolator. Tegangan tinggi ini akan menguji adanya tegangan tembus pada isolator dan frekuensi tinggi akan menguji adanya rambatan pada kulit isolator. Tegangan tinggi frekuensi tinggi ini juga digunakan untuk menguji ketahanan suatu isolator terhadap tegangan saat proses hubung buka pada sistem tenaga listrik. Selain itu tegangan tinggi frekuensi tinggi ini juga dibutuhkan untuk studi dan penelitian [1].

2.3 Prinsip Kerja Trafo Tesla

Trafo tesla bekerja dengan prinsip resonansi induksi elektromagnetik yang memanfaatkan frekuensi tinggi dalam sistem penginduksiannya. Frekuensi tinggi

ini didapat melalui rangkaian osilasi L dan C yang akan beresonansi dan menghasilkan frekuensi yang tinggi.



Gambar 2.2 *Tesla coil resonansi seri* [4].

Diagram rangkaian pembangkit tegangan tinggi frekuensi tinggi Tesla diperlihatkan pada Gambar 2.2. Tesla coil mempergunakan dua bagian utama, yakni transformator step-up yang akan menaikkan tegangan dari 220 volt menjadi dalam orde ribuan volt, dengan frekuensi kerja 50 Hz. Bagian kedua adalah kumparan Tesla yang terdiri atas belitan primer dengan jumlah belitan yang sedikit dan belitan sekunder merupakan belitan dengan jumlah yang jauh lebih banyak. Udara dipergunakan sebagai inti pada kumparan Tesla. Kumparan primer Tesla mentransfer tegangan ke kumparan sekunder dengan menggunakan prinsip resonansi. Resonansi dapat dihasilkan karena frekuensi kerja belitan primer bersesuaian dengan kumparan sekunder. Karena inti kumparan Tesla adalah udara, supaya resonansi optimum, maka frekuensi yang dipergunakan harus sangat tinggi, dalam orde kHz.

Tegangan dengan frekuensi tinggi dihasilkan pada bagian kumparan primer dengan menggunakan komponen kapasitor yang dihubungkan seri dengan kumparan primer Tesla. Sesudah kapasitor C pada Gambar 2.2 dimuati, maka

saklar (*spark gap*) dioperasikan sehingga terbentuk rangkaian resonansi L-C. Hal inilah yang menyebabkan timbulnya frekuensi resonansi. Dikarenakan frekuensi resonansi pada bagian primer *matching* dengan frekuensi resonansi bagian sekunder maka energi listrik dapat dihantarkan ke bagian sekunder secara optimal, melalui prinsip induksi elektromagnetik akibat dari fluks fluks listrik yang berubah terhadap waktu. Energi yang dihasilkan di bagian sekunder ini memiliki tegangan yang tinggi berorde ratusan hingga ribuan kilo volt dan frekuensi yang tinggi (ratusan ribu hingga mega hertz) tergantung dari desain yang dibuat [5].

2.4 Penelitian-Penelitian Sebelumnya

Banyak penelitian telah membahas tentang trafo tesla ini, di antaranya penelitian dari Ahmad Habibi. Pada penelitiannya, dia membuat trafo tesla dengan memanfaatkan komponen semikonduktor sebagai pengganti *spark gap*nya (MOSFET IRFP 460) dan rangkaian kendali PWMnya menggunakan IC TL 494 dengan frekuensi pensaklaran 150 KHz – 800 KHz. Ukuran trafo tesla miliknya setinggi 33 cm, 1250 lilitan, dan berdiameter 10 cm untuk kumparan sekundernya. Output yang didapat dari trafo tesla miliknya sebesar 57,12 KV dan berfrekuensi 200 KHz, serta memiliki jarak tembus sela bola sepanjang 2 cm. Output tersebut didapat dengan input sebesar 104 Volt dan frekuensi 200 KHz. Keterbatasan pada penelitian ini adalah tegangan inputnya tidak dapat diperbesar sampai orde ribuan volt. Hal ini dikarenakan keluaran tegangan inverter dibatasi oleh tegangan breakdown MOSFET yang dipakai [5].

Selanjutnya ada juga penelitian tegangan tinggi frekuensi tinggi dari Wildan Mujahid. Sama halnya dengan penelitian sebelumnya, pada penelitian ini menggunakan piranti semi konduktor sebagai pengganti *spark gap*nya. Kelebihan

piranti semikonduktor adalah dapat menghasilkan frekuensi tinggi tanpa perlu menggunakan tegangan yang tinggi. Frekuensi tinggi ini dihasilkan dari inverter push pull. Ukuran trafo tesla yang dibuat olehnya setinggi 30 cm, berdiameter 10 cm, dan 2000 lilitan pada kumparan sekunder. Output yang dihasilkan dari trafo tesla ini sebesar 43 KV, 114 KHz, dengan jarak tembus sela bola 1,5 cm untuk inputan sebesar 25 Volt dan frekuensi resonansi 114 KHz [6].

Selain itu penelitian tentang pembangkit tegangan tinggi frekuensi tinggi dilakukan juga oleh Alga Bagas Setiawan. Trafo tesla yang dibuat olehnya memiliki dua variasi pada bagian primernya, yakni dengan memvariasikannya menjadi kumparan primer inti tunggal dan kumparan primer inti ganda. Kumparan primer yang dibuat olehnya berbentuk *helical*. Piranti semikonduktor berupa Mosfet digunakan sebagai pembangkit pulsa sampai berorde kilohertz, dengan frekuensi resonan 114 KHz. Berdasarkan penelitiannya didapat bahwa tegangan keluaran trafo tesla dengan kumparan primer berinti ganda lebih besar dibandingkan jenis kumparan primer berinti tunggal. Nilai tegangan keluaran dari trafo tesla jenis kumparan primer inti ganda sebesar 6,8 KV dengan frekuensi resonansi 111,1 KHz untuk input tegangan dc 84 volt, sedangkan untuk jenis kumparan berinti tunggal tegangan keluaran yang dihasilkan sebesar 4,76 KV dengan frekuensi resonansi 114 KHz untuk input Vdc sebesar 84 volt [7].

Penelitian tentang pembangkit tegangan tinggi frekuensi tinggi juga pernah dibahas oleh Marco Denicolai pada thesisnya. Penelitian ini membandingkan antara simulasi dan alat yang telah dibuat. Trafo tesla miliknya memiliki ukuran yang medium, dengan kumparan sekunder setinggi 1.5 m, 1000 lilitan dan kumparan primer berbentuk *flat-spiral* 9 lilitan. Berdasarkan penelitian ini

diketahui bahwa terdapat Persamaan yang bagus antara model simulasi dan alat yang dibuatnya, hanya 2% error yang didapat. Berdasarkan simulasi, frekuensi resonansi di bagian sekunder yang didapat sebesar 66,49 KHz sedangkan menurut pengukuran dari trafo tesla yang dibuat, frekuensi resonansi pada bagian sekundernya sebesar 65,56 KHz hanya 1,4% error yang terjadi [4].

Pembuatan pembangkit tegangan tinggi frekuensi tinggi tesla juga telah dibahas oleh Aditya Mahendra pada tugas akhirnya yang berjudul analisis perbedaan trafo tesla antara jenis kumparan primer inti tunggal dengan inti ganda untuk reaktor ozon. Kumparan sekunder dari trafo tesla ini setinggi 102 cm, 2040 lilitan, dengan kumparan primer inti tunggal setinggi 20 cm, 9 lilitan, dan kumparan primer inti ganda setinggi 26 cm, 10 lilitan. Berdasarkan penelitian ini, didapat bahwa saat frekuensi resonansi sebesar 65 KHz dan input sebesar 12,81 volt DC menghasilkan tegangan output untuk inti tunggal sebesar 2520 volt. Sedangkan untuk inti ganda, dengan frekuensi yang sama dan input sebesar 12,7 volt DC menghasilkan tegangan output sebesar 2600 volt. Kemudian pengaruhnya terhadap reaktor ozon adalah ketika tegangan keluaran sebesar 2520 volt terdeteksi adanya ozon sebesar 0,5 ppm per 50 ml dengan waktu 47 detik dan untuk tegangan keluaran 2600 Volt terdeteksi menghasilkan ozon sebesar 0,60 ppm per 50 ml dengan waktu 33 detik [8].

Penelitian ini membuat alat pembangkitan tegangan tinggi frekuensi tinggi menggunakan kumparan tesla. Kemudian membandingkan output dari trafo tesla berupa loncatan listrik yang menyatakan tegangan dan frekuensi, antara trafo tesla yang menggunakan kumparan primer *flat-spiral* dengan berbentuk *helical*. Perbedaan yang terdapat dari penelitian ini dengan penelitian-penelitian

sebelumnya adalah jenis trafo tesla yang dibuat adalah mode *spark gap*, dengan *supply* dari *Neon Sign Transformer* (NST). Sedangkan pada penelitian sebelumnya kebanyakan menggunakan piranti semi konduktor untuk membangkitkan pulsa agar menghasilkan frekuensi tinggi. Alasan untuk menggunakan mode *spark gap* adalah agar input tegangan ke bagian primernya dapat diberikan lebih besar dibandingkan dengan inputan dari inverter mode saklar. Hal ini dikarenakan tegangan keluaran dari inverter mode saklar dibatasi oleh tegangan break down Mosfet yang digunakan. Pemberian tegangan yang besar di bagian primernya diharapkan output dari trafo tesla ini menghasilkan tegangan yang lebih besar dari pada penelitian-penelitian sebelumnya.

2.5 Komponen Penyusun Trafo Tesla

Trafo tesla ini terdiri dari beberapa komponen penyusun, di antaranya adalah kumparan sekunder, torus yang bertindak sebagai kapasitor sekunder, kumparan primer, kapasitor primer, *spark gap*, dan sumber tegangan tinggi. Besar nilai-nilai komponen trafo Tesla yang dibuat harus sedekat mungkin dengan nilai yang dihitung. Mulai dari perhitungan kumparan sekunder, terminal atas atau torus, kumparan primer, dan besar kapasitor primer yang dipakai. Bagian primer dan sekunder trafo tesla akan menghasilkan tegangan dengan frekuensi tertentu dan frekuensi tersebut harus *matching* atau setara. Jika frekuensi kerja bagian primer *matching* dengan bagian sekunder, maka energi listrik dari bagian primer dapat tersalurkan secara optimal ke bagian sekunder dan besar tegangan pada bagian sekunder dapat ditingkatkan menjadi ratusan hingga ribuan kilovolt [4].

2.5.1 Kumparan Sekunder

Kumparan sekunder pada tesla coil ini dibuat dengan cara menggulungkan kawat tembaga email secara *helical* pada pipa paralon. Diameter kawat, tinggi kumparan, serta banyak lilitan kumparan akan mempengaruhi besarnya induktansi dan kapasitansi diri dari kumparan tersebut. Selain itu faktor yang mempengaruhi besar induktansi kumparan sekunder juga ada pada diameter kumparannya dan kerapihan penggulungannya. Besar induktansi inilah yang akan mempengaruhi besar dari frekuensi resonansinya.

2.5.2 Torus atau Top Terminal

Terminal atas pada bagian sekunder kumparan teslaberguna sebagai penyeragam medan yang ada di udara bebas dan juga bertindak sebagai kapasitansi di bagian sekunder. Top terminal dapat dibuat dalam beberapa bentuk, di antaranya berbentuk bola, dan berbentuk donat (toroid). Top terminal ini memiliki nilai kapasitansi, dikarenakan pada bagian atasnya (konduktor) bersifat katoda, bumi sebagai anodanya dan dielektriknya adalah udara bebas. Diameter serta bentuk torus inilah yang akan mempengaruhi besar kapasitansinya. Sehingga nilai kapasitansi total di bagian sekunder adalah jumlah dari kapasitansi diri kumparan sekunder dan kapasitansi top terminalnya. Besarnya frekuensi resonansi bagian sekunder juga sangat dipengaruhi oleh nilai kapasitansinya.

2.5.3 Kumparan Primer

Kumparan primer pada tesla coil ini menggunakan dua tipe, pertama *flat-spiral* (lingkaran obat nyamuk) dan kedua berbentuk *helical*. Kumparan *flat-spiral* dapat dibuat dengan cara membentuk konduktor seperti lingkaran obat nyamuk,

sedangkan kumparan *helical* dapat dibuat dengan cara melingkarkan konduktor secara vertikal. Kinerja optimal dapat dicapai jika bagian sekunder dan bagian primer memiliki Persamaan frekuensi resonansinya. Oleh karena itu, pemilihan kawat email, bentuk kumparan, serta ukuran dari kumparan perlu diperhatikan. Hal itu semualah yang akan mempengaruhi besarnya induktansi dari kumparan primer tersebut. Nilai induktansi dan kapasitansi primer inilah yang akan mempengaruhi besarnya frekuensi resonansi di bagian primernya [9].

2.5.4 Kapasitor Primer

Kapasitor primer berfungsi untuk melawan nilai induktansi agar terjadi resonansi pada saat reaktansi induktansi dan kapasitansi saling meniadakan satu sama lain [9]. Nilai kapasitansi dari kapasitor primer ini dipilih dengan cara menyesuaikan antara besarnya frekuensi resonansi pada bagian sekunder dan frekuensi resonansi di bagian primer. Frekuensi resonansi antara bagian primer dan sekunder haruslah setara (*match*) agar kinerja optimal dapat dicapai. Faktor lain yang mempengaruhi dalam pemilihan kapasitor juga terdapat pada tegangan inputnya. Kapasitor ini haruslah mampu memikul tegangan yang akan diberikan oleh sumber tegangannya. Oleh karena itu, tegangan kerja kapasitor ini haruslah melebihi dari tegangan masukan yang akan diberikan di bagian primernya. Atau dengan kata lain ($V_{kerjakapasitor} > V_{max}$) dan nilai V_{max} adalah $\sqrt{2} \cdot V_{eff}$. Dengan menserikan kapasitor, maka tegangan kerja dari kapasitor tersebut akan naik sesuai dengan banyaknya kapasitor yang diserikan (n), yakni ($n \times V_{kerjakapasitor}$).

2.5.5 Power Supply

Sumber tenaga pada tesla coil ini menggunakan tegangan tinggi berorde kilovolt. Untuk mendapatkan sumber tegangan yang besar dapat menggunakan trafo NST (*Neon Sign Transformer*) atau menggunakan trafo MOT (*Microwave Oven Transformer*).



Gambar 2.3 *Neon Sign Transformer (NST)*

Trafo NST merupakan trafo tegangan tinggi jenis step-up. Tegangan keluaran yang dihasilkan oleh trafo NST di bagian sekundernya dapat mencapai 15 KV. Tegangan sebesar 15 KV ini mampu untuk menimbulkan loncatan api pada *spark gap*nya, sehingga timbulah resonansi di bagian primernya.

2.5.6 *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 di antara 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 timbulah 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 LC terjadi. sehingga timbulah frekuensi resonansi dari komponen LC yang akan menginduksikan energi listrik kebagian sekundernya sesuai prinsip transformator [4].

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen untuk membuat pembangkit tegangan tinggi frekuensi tinggi dengan desain trafo tesla yang memvariasikan nilai dari masing masing komponennya. Sehingga tercapai output di bagian sekunder sesuai yang diharapkan, yakni memiliki tegangan tinggi berorde kilo volt dan berfrekuensi tinggi berorde ratusan KHz. Jarak dari loncatan listrik inilah yang menyatakan besarnya tegangan yang dihasilkan dari trafo tesla. Bekerjanya trafo tesla inilah yang menyatakan bahwa frekuensi yang dihasilkan merupakan frekuensi tinggi, karena trafo tesla dapat bekerja hanya pada frekuensi yang tinggi.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian tugas akhir ini dilaksanakan pada:

Waktu : Oktober 2017 – Mei 2018

Tempat : Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi Jurusan Teknik Elektro
Universitas Lampung

3.3 Alat dan Bahan

Berikut adalah alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini:

- a. Kawat email berbahan tembaga dengan $d = 0,35 \text{ mm}$

- b. Pipa PVC (*polyvinyl chloride*) dengan $d = 8,8$ cm
- c. Trafo step up NST (*Neon Sign transformer*)
- d. Bola dengan $d = 20,5$ cm
- e. Aluminium foil
- f. Kawat tembaga dengan $d = 0,2$ cm
- g. Kapasitor poliester (*polyester capacitor*)
- h. PCB
- i. Konduktor (Mur)
- j. Kayu dan triplek
- k. Kabel penghubung (*connector*)

3.4 Jadwal Kegiatan Penelitian

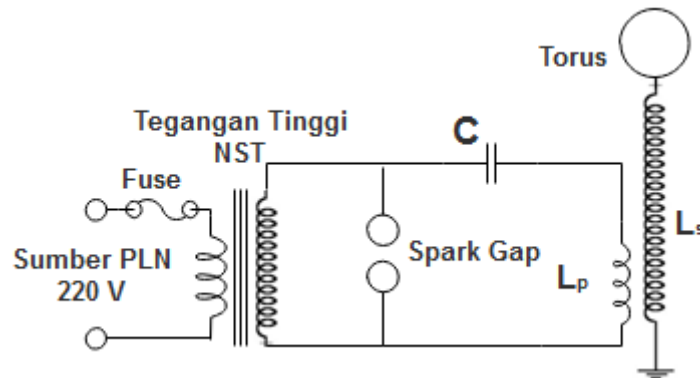
Adapun jadwal kegiatan penelitian akan dilakukan seperti pada Tabel 3.1 di bawah ini:

Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian

No.	Uraian Kegiatan	Bulan							
		Okt	Nov	Des	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei
1	Studi literatur								
2	Mempersiapkan alat dan bahan								
3	Perancangan alat								
4	Proses perakitan								
5	Seminar usul								
6	Pengujian alat dan analisa								
7	Seminar hasil								
8	Ujian komprehensif								

3.5 Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain tesla coil resonansi seri sebagai pembangkit tegangan tinggi frekuensi tinggi. Seperti Gambar 3.1 di bawah ini:



Gambar 3.1 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. Berikut adalah tahapan tahapan dalam pembuatan tesla coil ini:

3.5.1 Pembuatan Kumaran Sekunder

Kumaran sekunder tesla coil ini dibuat dengan cara melilitkan kawat email berdiameter (G) = 0,35 mm pada pipa PVC yang memiliki diameter (d) = 8,8 cm berbentuk *helical*. Banyak lilitan kumaran sekunder ini sebesar 1200 lilitan. Lilitan pada kumaran sekunder ini dililit dengan rapi agar banyaknya jumlah lilitan (N) dan tinggi kumaranya (H) sesuai dengan yang diperhitungkan, serta output yang dihasilkan dari tesla coil ini dapat teroptimalkan. Untuk menentukan nilai ini semua dapat dipakai Persamaan 3.1 [4]:

$$G = \frac{H}{N} \quad (3.1)$$

Besar induktansi pada lilitan sekunder ini dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.2 [4]:

$$L_s = \frac{R^2 N^2}{2540 (9R + 10H)} \quad (3.2)$$

Induktansi diri kumparan sekunder dinyatakan sebagai L_s (mH), R menyatakan jari jari kumparan (cm), N adalah banyak lilitan, dan H adalah tinggi dari kumparan (cm) [3]. Selain memiliki induktansi, kumparan sekunder ini juga memiliki kapasitansi diri. Besarnya kapasitansi diri pada kumparan sekunder ini dapat dihitung dengan Persamaan 3.3 [10]:

$$C_s = K \cdot D \quad (3.3)$$

Dengan C_s adalah kapasitansi diri kumparan sekunder (pF), D adalah diameter kumparan (cm) dan K adalah konstanta rasio perbandingan antara tinggi dengan diameter kumparan (H/D). Jika dimisalkan tinggi kumparan sekunder adalah 50 cm, maka nilai K dengan diameter kumparan 9 cm ditunjukkan dalam tabel 3.2.

Tabel 3.2 Konstanta K sesuai ratio H/D [10].

H/D	K	H/D	K	H/D	K	H/D	K
50	5,8	7	1,01	1,5	0,47	0,35	0,57
40	4,6	6	0,92	1	0,46	0,3	0,6
30	3,4	5	0,81	0,9	0,46	0,25	0,64
25	2,9	4,5	0,77	0,8	0,46	0,2	0,7
20	2,36	4	0,72	0,7	0,47	0,15	0,79
15	1,86	3,5	0,67	0,6	0,48	0,1	0,96
10	1,32	3	0,61	0,5	0,5		
9	1,22	2,5	0,56	0,45	0,52		
8	1,12	2	0,5	0,4	0,54		

Besarnya kapasitansi diri dari kumparan sekunder ini juga dapat dicari dengan Persamaan lainnya, tanpa perlu menggunakan konstanta K. Berikut adalah Persamaan 3.4 untuk menghitung besar kapasitansi diri kumparan sekunder [10]:

$$C_s = 0,114H + 0,16R + 1,94\sqrt{\frac{R^3}{H}} \quad (3.4)$$

Ketika nilai induktansi dan kapasitansi diri dari kumparan sekunder ini telah diketahui, maka frekuensi resonansi kumparan sekundernya dapat dicari melalui Persamaan 3.5 [4]:

$$F = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_s.C_s}} \quad (3.5)$$

Dengan F_s adalah frekuensi resonansi dari kumparan sekunder (Khz), L_s adalah induktansi diri dari kumparan sekunder (mH) dan C_s adalah kapasitansi diri kumparan sekunder (pF) [4].

3.5.2 Pembuatan Penyeragam Medan

Penyeragam medan pada tesla coil ini berbentuk bola. Penyeragam medan ini dibuat dengan cara melapisi bola dengan alumunium foil secara keseluruhan hingga menutupi semua bagian bola. Alasan penggunaan alumunium ini dikarenakan alumunium bersifat konduktor (menghantar listrik) dan mudah untuk dibentuk (tidak kaku). Besarnya kapasitansi dari penyeragam medan berbentuk bola ini dapat dicari dengan Persamaan 3.6 [11]:

$$C_t = \frac{10R}{9} \quad (3.6)$$

Dengan keterangan C_t adalah kapasitansi dari penyeragam medan (pF) dan R adalah jari jari dari penyeragam medan berbentuk bola (*sphere*) (cm). Besar

kapasitansi total yang ada di bagian sekunder ini adalah penjumlahan dari kapasitansi diri kumparan sekunder (C_s) dengan kapasitansi dari bagian penyeragam medan (C_t).

$$C_{tot} = C_s + C_t \quad (3.7)$$

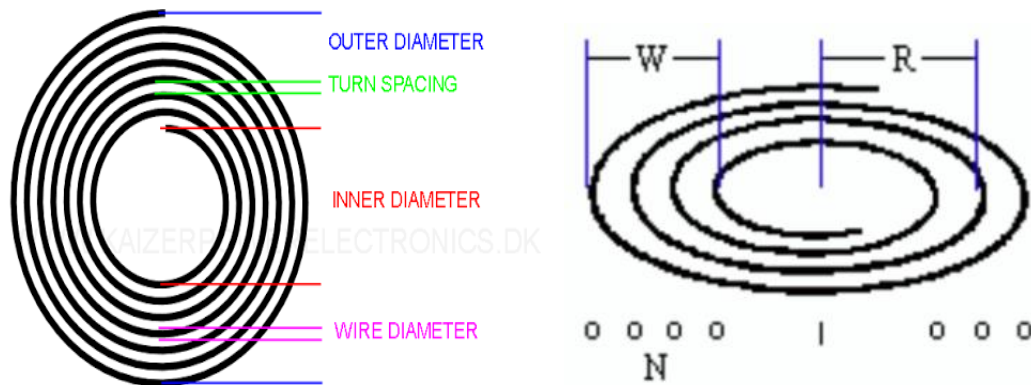
Sehingga besarnya frekuensi resonansi dari bagian sekunder ini dapat dihitung dengan Persamaan 3.8 [4]:

$$F_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_s \cdot (C_s + C_t)}} \quad (3.8)$$

Frekuensi resonansi yang didapat dari bagian sekunder ini akan menentukan desain dari bagian primer selanjutnya, dikarenakan frekuensi resonansi di bagian sekunder haruslah match atau setara dengan frekuensi resonansi di bagian primernya.

3.5.3 Pembuatan Kumparan Primer

Kumparan primer pada tesla coil ini dibuat dengan cara melilitkan kawat tembaga berdiameter $G = 0,2$ cm, dan membuatnya menjadi dua variasi bentuk. Variasi pertama berbentuk *flat-spiral*, dan variasi kedua berbentuk *helical*. Jumlah lilitan pada kumparan primer variasi pertama ini adalah 11 lilitan dan membutuhkan panjang kawat tembaga $P = 7$ m. Kumparan primer variasi pertama (*flat-spiral*) ini dapat dibuat dengan cara melilitkan kawat tembaga (konduktor) sehingga membentuk lingkaran obat nyamuk, seperti Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Kumparan *flat-spiral*

Nilai induktansi dari kumparan primer variasi pertama (*flat-spiral*) ini dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.9 [4]:

$$L_p = \frac{(N \cdot R_{av})^2}{20,32R + 27,94W} \quad (3.9)$$

Dengan L_p adalah induktansi kumparan primer (μH), N adalah banyaknya lilitan, R adalah jari jari rata-rata dari kumparan *flat-spiral* (cm), dan W adalah lebar kumparan di satu bagian (cm). Sebelum mencari nilai induktansi primernya, terlebih dahulu menentukan ukuran-ukuran dari kumparan primer tersebut. Di antaranya adalah menentukan *inner diameter* (D_i) atau diameter dalam kumparan primer, jarak celah (*turn spacing*) (S_t) adalah jarak antara konduktor satu dengan lainnya (cm), diameter kawat (G) adalah diameter dari konduktor (cm), diameter luar (D_o) adalah diameter terluar dari kumparan primer (cm). Lebar kumparan (W) dapat dicari menggunakan Persamaan 3.10 [4]:

$$W = (N_p - 1)(S_t + G) + G \quad (3.10)$$

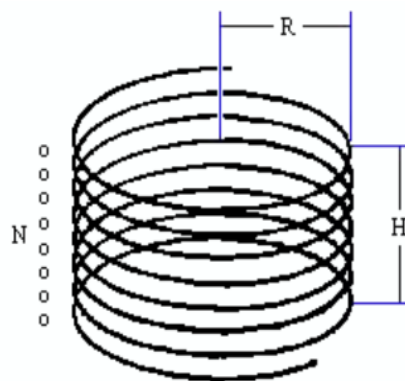
Setelah lebar kumparan (W) diketahui, maka langkah selanjutnya adalah mencari nilai dari jari-jari rata-rata kumparan (R) melalui Persamaan 3.11 [4]:

$$R = \frac{D_i + W_p}{2} \quad (3.11)$$

Setelah semua nilai ditentukan, maka besarnya induktansi kumparan primer ini dapat diketahui menggunakan Persamaan 3.9. Selanjutnya kumparan primer variasi kedua (*helical*). Besarnya induktansi dari kumparan primer *helical* dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.12 [11].

$$L_p = \frac{(NR)^2}{22,86R + 25,4H} \quad (3.12)$$

Kumparan berbentuk *helical* dapat dibuat dengan cara melilitkan kawat tembaga (konduktor) secara vertikal, terlihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Kumparan *helical*

Setelah kumparan primer dibuat, langkah selanjutnya menentukan besarnya kapasitor primer yang akan digunakan.

3.5.4 Pembuatan Kapasitor Primer

Kapasitor primer pada trafo tesla ini berjenis kapasitor polyester (*polyester capacitor*), dengan tegangan kerja maksimumnya sebesar 2 KV. Besarnya kapasitansi bagian primer ini dihitung dengan menyesuaikan antara frekuensi

bagian primer dengan frekuensi di bagian sekundernya. Kemudian menggunakan rumus untuk mencari frekuensi resonansi primer seperti pada Persamaan 3.13 [4]:

$$F_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_p \cdot C_p}} \quad (3.13)$$

Karena nilai induktansi primer (L_p) dan frekuensi resonansi (F_p) telah ditentukan besarnya, maka kapasitansi kumparan primernya dapat dicari melalui Persamaan 3.13. Tegangan kerja kapasitor primer membutuhkan nilai yang lebih besar dari tegangan maksimum dari supply ke primer trafo tesla.

$$V_{max} = V_{eff} \cdot \sqrt{2} \quad (3.14)$$

Tegangan kerja maksimum kapasitor primer ini dapat diperbesar dengan cara menghubungkan kapasitor tersebut secara seri. Sehingga besar tegangan kerja kapasitornya adalah jumlah dari seluruh tegangan kerja kapasitor seri tersebut.

3.5.5 Power Supply

Input tegangan trafo tesla ini bersumber dari listrik PLN yang di step-up tegangannya menggunakan *Neon Sign Transformer* (NST). Sisi primer trafo NST ini sebesar 220 Volt dan menghasilkan tegangan di bagian sekundernya sebesar 15 KV. Kemudian output dari NST inilah yang diberikan ke bagian primer trafo teslanya.

3.5.6 Pembuatan *Spark gap*

Spark gap dari trafo tesla ini berjenis *rotary spark gap* (Gambar 3.4) dibuat menggunakan dua pasangan elektroda yang terpisah oleh udara antara satu sama lainnya. Satu sisi elektroda hanya terdiri atas sebuah konduktor metal. Sisi lainnya terdiri atas 4 buah konduktor yang tersusun pada bidang berbentuk lingkaran. Ke

empat elektroda disusun dengan jarak yang sama dari pusat lingkaran sehingga membentuk empat kuadran yang sama luasnya. Elektroda yang disusun pada pelat lingkaran dihubungkan dengan motor listrik DC 6 volt, yang berfungsi memutar pelat. Kecepatan putaran motor adalah 3080 rpm, sehingga banyaknya elektroda saling sejajar dan menghasilkan pensaklaran 12320 kali permenit. Saat konduktor berada cukup dekat dengan kedua elektroda. Pada elektroda tersebut dapat terjadi loncatan listrik yang diakibatkan adanya beda potensial yang besar di elektroda tersebut. *Spark gap* berguna sebagai pemacu agar menghasilkan frekuensi resonansi antara L dan C di bagian primernya saat terjadinya loncatan api yang berulang ulang.



Gambar 3.4 Rotary spark gap

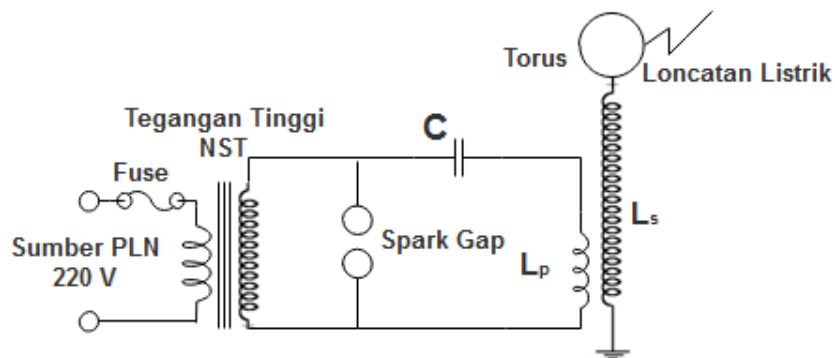
3.5.7 Pembuatan Trafo Tesla Keseluruhan

Tesla coil ini dibuat dengan cara menyusun komponen komponen menjadi suatu rangkaian seperti Gambar 3.1. Sumber masukan PLN 220 volt dihubungkan ke transformator NST yang menghasilkan tegangan keluaran sebesar 15 KV. Output dari trafo NST dihubungkan ke *Spark gap* dan mempararelkanya dengan komponen L dan C yang terhubung seri. Induktor di bagian primer ini didapat dari lilitan kawat tembaga berbentuk *flat-spiral* dan *helical*. Bagian sekunder dari tesla

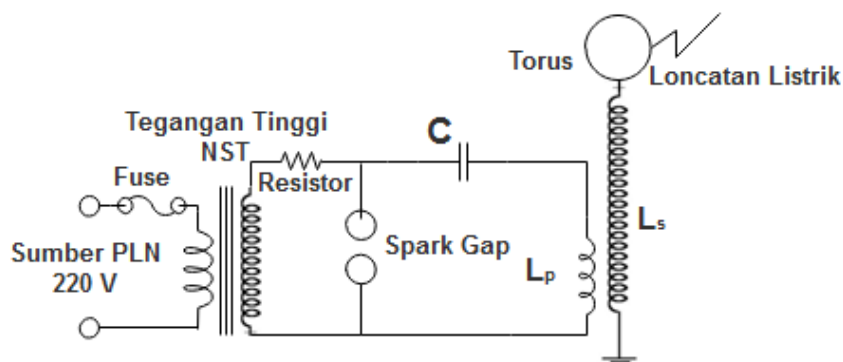
coil ini terpisah oleh udara dengan bagian primernya (isolasi udara). Bagian sekunder tesla coil ini dibuat dengan cara menghubungkan ujung atas kumparan sekunder yang berbentuk *helical* dengan penyeragam medan yang berbentuk bola (*sphere*) dan ujung bawah kumparan sekunder dihubungkan ke ground.

3.6 Metode Pengujian Trafo Tesla

Output dari trafo tesla ini adalah tegangan tinggi frekuensi tinggi. Pengujian dilakukan dengan cara melihat loncatan listrik yang ada pada torus dari trafo tesla tersebut.



Gambar 3.5 Pengujian Trafo Tesla Tanpa Penambahan Resistor



Gambar 3.6 Pengujian Trafo Tesla Dengan Penambahan Resistor 1 M Ω

Loncatan listrik pada *torus* trafo tesla inilah yang mengisyaratkan bahwa output dari trafo tesla ini merupakan tegangan tinggi. Semakin jauh jarak loncatan listrik pada trafo tesla ini maka nilai tegangan tinggi pada trafo tesla ini adalah semakin

besar. Hal ini dikarenakan udara bebas memiliki nilai tegangan tembus, yakni sebesar 30 KV/cm (sela bola standar). sehingga besar tegangan tembus yang terjadi dapat dihitung pada Persamaan 3.15 [5]:

$$\hat{V} = \delta \cdot \hat{V}_s \quad (3.15)$$

Dengan keterangan \hat{V} adalah tegangan tembus saat pengujian (keadaan udara sembarang), δ adalah faktor koreksi udara, \hat{V}_s adalah tegangan tembus udara 30 KV/cm (sela bola standar). Besarnya faktor koreksi udara dapat dihitung melalui Persamaan 3.16 [5]:

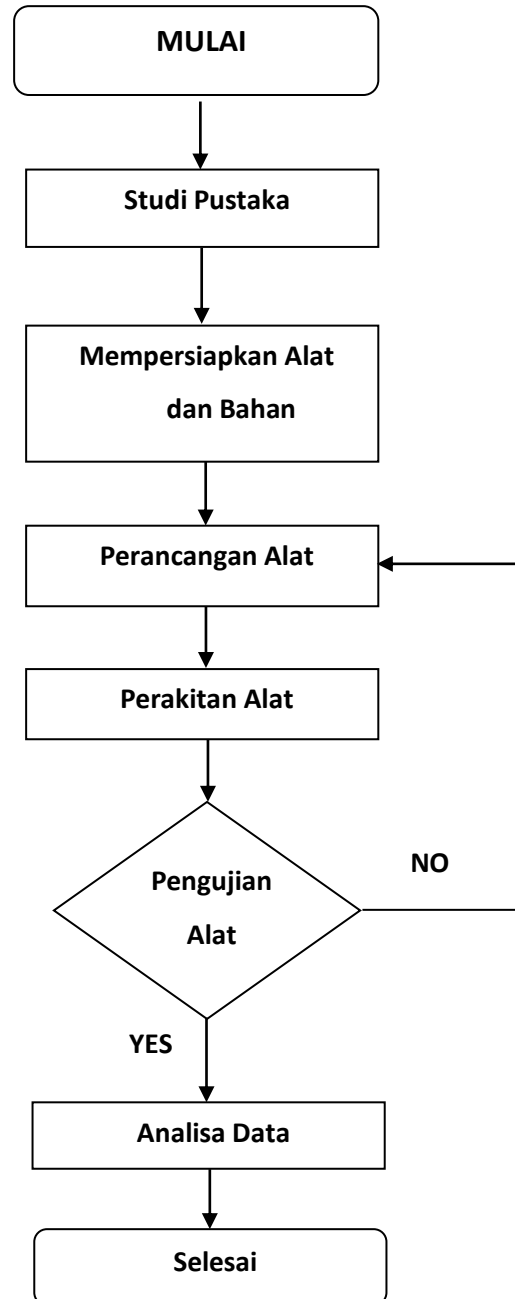
$$\delta = \frac{0,386P}{273+\theta} \quad (3.16)$$

Dengan keterangan δ adalah faktor koreksi udara, P adalah tekanan udara (mmHg), θ adalah temperatur udara ($^{\circ}C$). Sedangkan frekuensi tinggi pada trafo tesla ini, dibuktikan dengan bekerjanya atau adanya output berupa loncatan listrik pada trafo tesla tersebut. Hal ini dikarenakan trafo tesla ini menggunakan inti udara sebagai media pengantar fluks-fluks listrik dari bagian primer ke bagian sekunder. Oleh karena itu dibutuhkan frekuensi tinggi agar energi di bagian primer dapat terinduksikan ke bagian sekunder.

Pengujian pada tugas akhir ini dilakukan dengan memvariasikan kumparan primer menjadi dua bentuk, yakni berbentuk *flat-spiral* dan *helical*. Kemudian memvariasikan nilai dari kapasitansi kapasitor primer di tiap bentuk kumparan primer yang dipakai, yakni 2 nF, 5 nF, 15 nF, dan 20 nF. Selain itu, pengujian trafo tesla ini juga akan menganalisa dan membandingkan pengaruh dari trafo tesla dengan pemberian resistor 1 M Ω di bagian primernya dan dengan tidak dilakukan pemberian tersebut.

3.7 Diagram Alir Penelitian

Berikut diagram alir penelitian yang dilakukan:



Gambar 3.7 Diagram Alir Penelitian

Gambar 3.7 merupakan Gambar diagram alir penelitian yang dipakai dalam pengerjaan tugas akhir. Tugas akhir dilakukan dengan melakukan studi pustaka, mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan, perancangan alat, proses perakitan, pengujian alat yang telah dibuat, kemudian menganalisa dan melakukan pembahasan desain tesla coil dari hasil yang diperoleh.

3.8 Tahapan Penelitian

Tahapan-tahapan penelitian yang dilakukan untuk menyelesaikan tugas akhir ini adalah:

1. Studi pustaka dari berbagai referensi
2. Mempersiapkan alat dan bahan yang dipakai dalam pembuatan trafo tesla
3. Mendesain trafo tesla untuk memudahkan dalam proses perakitan
4. Merakit komponen-komponennya sehingga menjadi kesatuan alat Trafo Tesla
5. Pengujian alat trafo tesla yang telah dibuat
6. Analisa dari desain trafo tesla yang telah dibuat
7. Menarik hasil dan simpulan

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Dari hasil perhitungan matematis serta pembahasan dari pengujian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Trafo tesla dengan input dari NST 7.5 KV dapat menghasilkan output loncatan listrik tertinggi sejauh 18,34 cm pada trafo tesla dengan kumparan primer tipe *helical*.
2. Trafo tesla *helical* menghasilkan output loncatan listrik lebih besar dibandingkan trafo tesla *flat-spiral*, yakni sebesar 18,34 cm dan 13,23 cm.
3. 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.

5.2 Saran

Selama pengerjaan tugas akhir ini tentu tidak terlepas dari berbagai kekurangan dan kelemahan, baik dari segi sistem atau perancangan yang dilakukan. Untuk itu, demi kesempurnaan hasil untuk penelitian selanjutnya, disarankan:

1. Untuk menggunakan input tegangan trafo tesla yang dapat divariasikan nilainya, agar mempermudah dalam proses analisa.
2. Pada penelitian selanjutnya diharapkan dapat memiliki alat yang dapat mengukur output dari trafo tesla ini, agar dapat diketahui dengan jelas perbandingannya serta mempermudah dalam proses menganalisa dari trafo tesla tersebut.
3. Pada penelitian selanjutnya diharapkan dapat menggunakan kapasitor primer yang tegangan kerjanya lebih besar lagi agar mengamankan dari kerusakan ($V'_c > V_{max}$) dan tahan saat diberikan tegangan yang lebih besar lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- [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 Kumparan Tesla*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro. Semarang, Indonesia
- [6] Mujahid, W. 2011. *Perancangan Pembangkit Tegangan Tinggi AC Frekuensi Tinggi Dengan Kumparan 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 Kumparan 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 Kumparan 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 Kumparan 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
- [11] Tilbury, Mitch. 2008. *The Ultimate Tesla Coil Design and Construction Guide*, First Edition, USA, Mc Graw Hill