

PERANCANGAN PEMBANGKIT TEGANGAN TINGGI AC FREKUENSI TINGGI DENGAN KUMPARAN TESLA MENGGUNAKAN INVERTER JENIS PUSH-PULL

Wildan Mujahid L2F 004 525
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik – Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto SH Tembalang, Semarang 50275

ABSTRAK

Pengetahuan mengenai tegangan tinggi telah mengalami perkembangan yang pesat. Terdapat tiga jenis tegangan tinggi yaitu tegangan tinggi bolak-balik (AC), tegangan tinggi searah (DC), dan tegangan tinggi impuls. Studi mengenai tegangan tinggi memiliki cakupan yang cukup luas seperti pembangkitan tegangan tinggi, teknik isolasi, gejala tembus listrik fenomena tegangan tinggi, medan listrik. Tegangan tinggi memiliki berbagai manfaat dan aplikasi antara lain untuk transmisi listrik, pengujian bahan isolasi, kebutuhan studi dan penelitian di Laboratorium, penyerap elektrostatik, pembangkit plasma, dan lain – lain.

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 menggunakan piranti semikonduktor. Kumparan tesla merupakan alat yang mampu menghasilkan tegangan tinggi mulai dari ribuan volt sampai jutaan volt. Tegangan tinggi yang dihasilkan oleh kumparan tesla adalah tegangan tinggi bolak-balik dengan frekuensi berkisar antara puluhan kilohertz sampai dengan orde MHz. Pada awal perkembangannya, kumparan tesla menggunakan spark gap untuk membangkitkan pulsa dan dengan prinsip kopling magnetik antara kumparan primer dengan sekunder. Pada perkembangan selanjutnya kumparan tesla lebih banyak dikembangkan dengan teknologi semikonduktor untuk menggantikan fungsi spark gap. Pembangkit tegangan tinggi dengan kumparan tesla yang dibuat menggunakan inverter frekuensi tinggi jenis push – pull dengan prinsip kopling langsung.

Untuk pengukuran tegangan keluaran kumparan tesla digunakan sela bola standar. Hasil pengukuran peralatan tegangan tinggi dengan input variasi mulai 8 volt DC sampai 25 volt DC menunjukkan keluaran tegangan tinggi kumparan tesla bervariasi antara 22.968 kilo volt sampai 43.06 kilo volt dengan frekuensi resonan 114 KHz.

Kata kunci : Kumparan Tesla, Inverter push-pull, Sela Bola

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengetahuan mengenai tegangan tinggi telah mengalami perkembangan yang pesat. Terdapat tiga jenis tegangan tinggi yaitu tegangan tinggi bolak-balik (AC), tegangan tinggi searah (DC), dan tegangan tinggi impuls. Studi mengenai tegangan tinggi memiliki cakupan yang cukup luas seperti pembangkitan tegangan tinggi, teknik isolasi, gejala tembus listrik fenomena tegangan tinggi, medan listrik. Tegangan tinggi memiliki berbagai manfaat dan aplikasi antara lain untuk sumber tenaga listrik untuk mensuplai kebutuhan listrik, pengujian bahan isolasi, kebutuhan studi dan penelitian di Laboratorium, penyerap elektrostatik, pembangkit plasma, dan lain – lain.

Untuk menghasilkan tegangan tinggi dapat menggunakan peralatan pembangkit tegangan tinggi bolak-balik (AC), peralatan pembangkit tegangan tinggi searah (DC) dan peralatan pembangkit tegangan tinggi impuls. Akan tetapi, peralatan pembangkit tegangan tinggi yang ada sekarang ini masih dalam sistem yang besar, susah dalam pengoperasiannya, dan memakan biaya yang mahal. Selain itu pembangkit tegangan tinggi AC yang ada umumnya memiliki frekuensi rendah (50 Hz). Untuk itu dibutuhkan sebuah alat pembangkit tegangan tinggi AC frekuensi tinggi yang memiliki dimensi tidak terlalu besar, mudah dioperasikan, dan tidak memakan biaya yang mahal.

Salah satu cara untuk membuat pembangkit tegangan tinggi AC frekuensi tinggi dengan dimensi cukup kecil sehingga tidak memakan banyak tempat, mudah dalam pembuatan dan pengoperasiannya, serta biaya yang dibutuhkan cukup murah adalah memanfaatkan teknologi kumparan tesla dengan

teknologi semikonduktor berupa inverter jenis *push – pull*. Pemakaian inverter *push – pull* dimaksudkan agar lebih

menunjang tujuan pembuatan pembangkit tegangan tinggi AC frekuensi tinggi yang mudah dalam pembuatan, pengoperasian, dan biaya yang murah karena inverter *push – pull* adalah jenis inverter yang paling sederhana dan mudah dalam pembuatannya.

1.2 Tujuan

Tujuan dalam Tugas Akhir ini adalah merancang pembangkit tegangan tinggi AC frekuensi tinggi menggunakan kumparan tesla dengan inverter *push – pull* sebagai alternative pembangkit tegangan tinggi dengan dimensi kecil sehingga tidak memakan banyak tempat dan mudah untuk dibawa, mudah dalam pengoperasiannya, tidak memakan banyak biaya dalam pembuatannya, serta mampu menghasilkan tegangan tinggi antara 20 – 40 kilo volt.

1.3 Batasan Masalah

Pembahasan masalah dalam Tugas Akhir ini dibatasi oleh :

1. Modul perangkat keras yang dibuat adalah pembangkit tegangan tinggi kumparan tesla.
2. Kumparan tesla yang dibahas adalah kumparan tesla dengan mengaplikasikan *switching device* berupa MOSFET.
3. MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*) yang digunakan IRFZ44 sebagai komponen elektronika daya untuk saklar.
4. Inverter yang digunakan adalah inverter jenis *push – pull*.
5. Inverter yang digunakan memiliki *duty cycle* yang tetap yaitu 50% dengan frekuensi antara 100 – 200 kHz.

II. DASAR TEORI

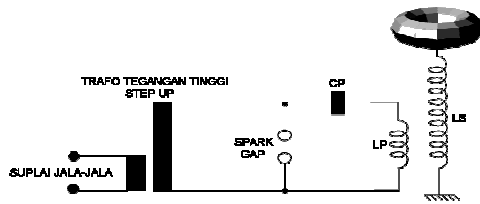
2.1 Pembangkit Tegangan Tinggi

Secara garis besar pembangkit tegangan tinggi terdiri atas :

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

2.2 Kumputan Tesla

Secara sederhana kumputan 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 (CP) melalui kumputan primer (LP). LP terdiri dari beberapa lilitan kawat tebal yang mempunyai hambatan rendah.



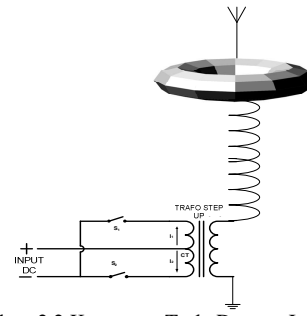
Gambar 2.1 Skema dasar kumputan Tesla

Ketika CP 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, CP dan LP akan membentuk rangkaian resonansi dengan frekuensi resonansi yang besarnya ditentukan oleh nilai CP dan LP.

Medan elektromagnet yang dihasilkan oleh LP sebagaimana akan diinduksikan ke kumputan sekunder (LS). LS adalah kumputan yang terbuat dari kawat tipis dengan jumlah lilitan tertentu. Ujung atas dari LS akan dihubungkan dengan toroid yang mempunyai kapasitansi tertentu sedangkan ujung bawah akan terhubung dengan tanah (*ground*). LS dan toroid akan membentuk rangkaian resonansi. Jika frekuensi resonansi LS dan toroid cukup dekat dengan frekuensi rangkaian primer maka pada toroid 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 toroid ke udara sekitarnya. Dan ketika terjadi *discharge* pada kapasitor sekunder (toroid), *spark gap* akan terbuka dan proses yang sama akan terulang lagi.

2.2.1 Prinsip Kerja Kumputan Tesla Dengan Inverter Push - Pull

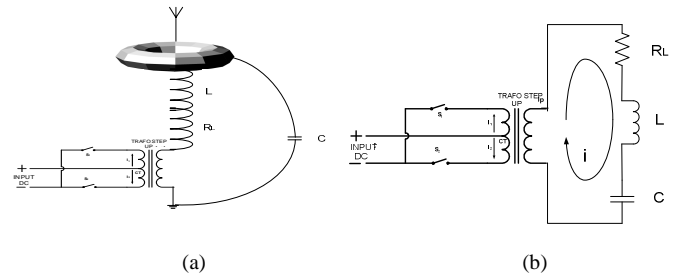
Pada umumnya kumputan Tesla menggunakan prinsip kopling magnetik, dimana antara kumputan primer dan sekunder Tesla terhubung secara magnetik. Kumputan Tesla dengan prinsip kopling langsung belum begitu populer di seputar pengetahuan mengenai kumputan Tesla, yang umumnya menggunakan prinsip kopling magnetik. Tesla kopling langsung memang bukan hal baru dalam dunia kumputan Tesla, tetapi hal ini jarang terlihat. Jadi kumputan Tesla terhubung secara langsung dengan piranti semikonduktor (inverter *push - pull*). Skema Tesla kopling langsung (*direct coupled*) dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Kumputan Tesla Dengan Inverter Push - Pull

Gambar 2.2 di atas adalah skema kumputan Tesla menggunakan inverter *push - pull*. Dari gambar di atas kumputan Tesla tampak terhubung secara langsung dengan inverter *push - pull*.

Kumputan Tesla tampak seperti rangkaian RLC seri. Hal ini berdasarkan adanya kapasitansi toroid dengan *ground* (tanah). Jadi dalam kumputan Tesla terdapat nilai, resistif induktif, dan kapasitif. Kumputan Tesla didrive secara langsung oleh piranti semikonduktor yaitu *inverter push - pull*. Rangkaian RLC seri memiliki impedansi relative kecil saat mencapai frekuensi resonan. Ketika frekuensi osilator sama dengan frekuensi pada kumputan Tesla maka akan beresonansi. Ketika mencapai kondisi resonan maka reaktansi induktor (X_L) sama besar dengan reaktansi konduktor (X_C) (saling meniadakan) sehingga impedansi yang terjadi adalah $Z = R$, jadi nilai impedansi RLC pada Tesla saat kondisi resonan adalah sama dengan nilai resistif. Nilai resistif (R) pada kumputan Tesla adalah resistansi diri pada konduktor yang memiliki nilai sangat kecil karena nilai resistif sangat kecil maka arus yang mengalir pada kumputan Tesla optimal. Kemudian dengan adanya nilai induktor yang sangat besar dan nilai kapasitor yang sangat kecil sehingga akan menghasikan korona pada ujung toroid kumputan Tesla. Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut :



Gambar 2.4 Rangkaian R-L-C pada kumputan Tesla

Dari gambar 2.4 menunjukkan kumputan Tesla merupakan sebuah rangkaian R-L-C seri. Pada rangkaian R-L-C seri berlaku rumus impedansi sebagai berikut:

$$Z = R + j(X_L - X_C) \dots \dots \dots (2.1)$$

$$Z = R + j(\omega L - \frac{1}{\omega C}) \dots \dots \dots (2.2)$$

Ketika mencapai nilai resonan maka nilai $X_L = X_C$, dari rumus di atas maka dapat dilihat bahwa X_L dan X_C akan saling meniadakan sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$X_L = X_C$$

$$\omega L = \frac{1}{\omega C} \rightarrow \omega L - \frac{1}{\omega C} = 0, \text{ sehingga}$$

$$Z = R + j(\omega L - \frac{1}{\omega C}), \text{ jadi}$$

$$Z = R \dots \dots \dots (2.3)$$

Seperti yang telah dijelaskan di atas bahwa nilai R yang dimaksud adalah resistansi yang terdapat pada induktor yang

nilainya sangat kecil. Karena nilai R sangat kecil maka arus (i) yang mengalir pada rangkaian sangat besar.

Pada kumparan Tesla saat kondisi resonansi nilai arus yang mengalir besar karena nilai impedansi yang merupakan nilai resistansi kumparan Tesla sangat kecil sehingga tegangan yang dihasilkanpun besar. Dengan adanya nilai induktansi induktor yang sangat besar maka tegangan yang dihasilkan pada kumparan Tesla menjadi sangat besar. Karena nilai kapasitor (toroid) sangat kecil sehingga tegangan ekstra tinggi yang terbangkitkan cukup untuk membuat terjadinya *breakdown* udara dan hal ini ditandai dengan adanya *flashover* yang keluar dari permukaan toroid ke udara sekitarnya.

2.2.2 Lilitan Kumparan Tesla

Nilai induktansi lilitan primer dihitung menggunakan rumus berikut

$$L = \frac{R^2 N^2}{2540 \cdot (9R + 10H)} \dots \dots \dots (2.4)$$

dimana :

L adalah induktansi sekunder (mH)

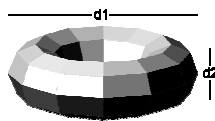
R adalah jari-jari kumparan sekunder (cm)

H adalah tinggi kumparan sekunder (cm)

N adalah jumlah lilitan

2.2.3 Toroid

Toroid terbuat dari bahan konduktor yang dibentuk menyerupai kue donat. Toroid pada kumparan Tesla berfungsi sebagai kapasitor dengan sisi positifnya toroid itu sendiri dan sisi negatifnya adalah tanah (*ground*), sedangkan yang berfungsi sebagai dielektrik adalah udara. Nilai kapasitansi toroid ditentukan dengan rumus 2.5.



Gambar 2.5 Toroid yang berfungsi sebagai kapasitor

$$C_T = 2.8 \cdot \left(1.2781 - \frac{d_2}{d_1}\right) \cdot \sqrt{0.1217 \cdot d_2 \cdot (d_1 - d_2)} \dots \dots \dots (2.5)$$

dimana :

C_T adalah kapasitansi toroid (pF)

d_1 adalah diameter toroid (cm)

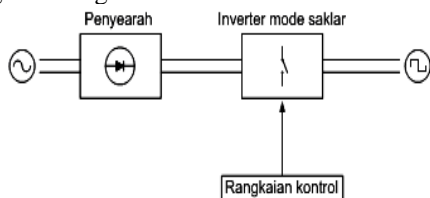
d_2 adalah diameter selubung (cm)

2.3 Inverter

Fungsi inverter adalah mengubah tegangan masukan DC menjadi tegangan keluaran AC yang simetris dengan amplitudo dan frekuensi tertentu. Tegangan outputnya dapat tetap maupun variabel dengan frekuensi tetap maupun variabel pula.

2.3.1 Prinsip Kerja Inverter

Inverter dapat dibuat dengan mengikuti blok diagram pada Gambar 2.6. Sumber DC yang diperlukan inverter berasal dari tegangan AC yang disearahkan. Untuk mendapatkan keluaran yang dikehendaki digunakan rangkaian kontrol. Rangkaian kontrol ini berfungsi untuk mengatur frekuensi dan amplitudo gelombang keluaran.



Gambar 2.6 Blok diagram inverter

Penyearah berfungsi untuk menghasilkan sumber tegangan DC yang diperlukan sebagai masukan inverter, karena sumber tegangan yang digunakan adalah sumber tegangan jala-jala AC 1 fasa dari PLN.

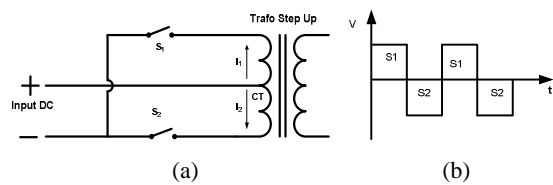
Inverter mode saklar (*switch mode inverter*) merupakan rangkaian utama dari sistem, berfungsi membalikkan tegangan searah dari penyearah ke tegangan AC. Disebut mode saklar karena kerjanya menggunakan teknik pensaklaran (*switching*).

Sedangkan rangkaian kontrol berfungsi untuk mengendalikan proses switching yang terjadi pada inverter mode saklar.

Pada perancangan pembangkit tegangan tinggi menggunakan kumparan Tesla ini digunakan inverter Dorong Tarik (*Push Pull / Centre Tapped Load*)

2.4 Inverter jenis push-pull

Secara sederhana prinsip kerja inverter dapat dijelaskan pada gambar 2.7 berikut ini



Gambar 2.7 (a) Prinsip kerja inverter (b) Gelombang output

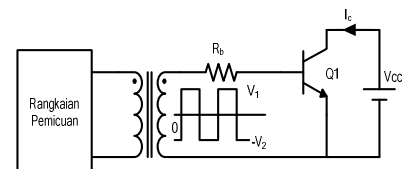
Dengan menutup S1 maka arus yang mengalir ke trafo adalah I_1 , sedangkan pada saat menutupnya S2 (S1 buka) maka yang mengalir adalah I_2 . Selanjutnya dengan mengulang-ulang proses diatas maka akan dihasilkan tegangan bolak-balik (AC) yang kemudian tegangannya dinaikkan dengan transformator seperti ditunjukkan pada gambar 2.7.b.

Sedangkan untuk mengatur frekuensi keluaran (f) dapat dilakukan dengan mengubah-ubah waktu pensaklaran (T) sesuai persamaan 2.1 berikut:

$$f = \frac{1}{T} (Hz) \dots \dots \dots (2.6)$$

2.5 Rangkaian Driver dan Isolator Pulsa

Pulsa yang dihasilkan oleh rangkaian pemucian tidak cukup untuk membuat rangkaian saklar bekerja, untuk itulah diperlukan rangkaian driver. Selain berfungsi sebagai penggerak rangkaian daya, rangkaian driver juga berfungsi sebagai isolator sehingga rangkaian pemucian dan rangkaian daya tidak terhubung secara listrik. Pada tugas akhir ini menggunakan transformator pulsa sebagai rangkaian driver sehingga rangkaian pemucian dan rangkaian daya terhubung secara magnetis.



Gambar 2.8 Rangkaian Driver dengan Transformator Pulsa

Transformator pulsa memiliki satu belitan primer dan satu atau lebih belitan sekunder. Belitan sekundernya dapat disesuaikan dengan rangkaian daya yang digunakan dan komponen pensaklarannya. Transformator yang digunakan hendaknya memiliki induktansi bocor yang sangat kecil dan waktu naik untuk pulsa keluarannya hendaknya sangat kecil pula. Pada pulsa yang relative panjang dan frekuensi switching yang rendah, transformator akan mengalami saturasi dan keluarannya akan terdistorsi.

2.6 MOSFET

MOSFET merupakan singkatan dari *Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor* yang merepresentasikan bahan-bahan penyusunnya yang terdiri dari logam, oksida dan semikonduktor. Terdapat 2 jenis MOSFET yaitu tipe NPN atau *N channel* dan PNP atau biasa disebut *P channel*. MOSFET dibuat dengan meletakkan lapisan oksida pada semikonduktor dari tipe NPN maupun PNP dan lapisan logam diletakkan diatasnya.

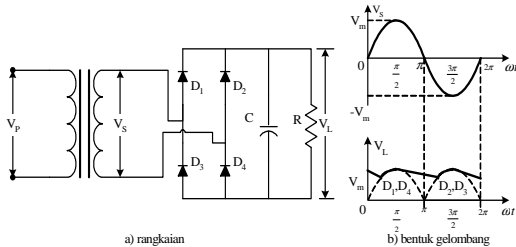
2.7 Penyearah (Rectifier)

Rangkaian penyearah adalah suatu rangkaian yang mengubah tegangan bolak-balik (AC) menjadi tegangan searah (DC). Macam-macam penyearah :

1. Penyearah Setengah Gelombang
2. Penyearah Gelombang Penuh Dengan Tap Tengah
3. Penyearah Jembatan (*bridge*)

2.7.1 Filter Kapasitor

Filter kapasitor digunakan untuk menghaluskan keluaran penyearah yang mengandung riak, dimana kapasitor akan menyimpan muatan selama dioda terbias maju dan bila dioda terbias mundur muatan yang tersimpan akan dikeluarkan bila potensial keluaran lebih rendah, seperti pada gambar 2.9.

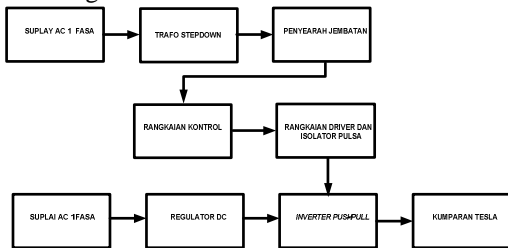


Gambar 2.9. Penyearah tipe jembatan dengan filter kapasitor

III. PERANCANGAN ALAT

3.1 Perancangan Pembangkit Tegangan Tinggi AC Frekuensi Tinggi dengan Kumparan Tesla Menggunakan Inverter Push - Pull

Gambaran umum tentang alat dapat dilihat pada gambar blok diagram di bawah ini.



Gambar 3.1 Blok Diagram Perancangan Alat

3.2 Kumparan Tesla Dengan Inverter Push - Pull

Perancangan Kumparan Tesla Dengan Inverter *Push-Pull* meliputi perancangan Lilitan Kumparan Tesla dan Perancangan Toroid

3.2.1 Perancangan Lilitan Kumparan Tesla

Tinggi lilitan 30 cm dan diameter 10 cm dengan lilitan sebanyak 2000 lilitan. Sedangkan diameter kawat email tembaga yang digunakan adalah sebesar 0.15 mm. Maka besarnya induktansi lilitan dapat dihitung sebagai berikut:

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

$$L = \frac{5^2 \cdot 2000^2}{2540 (9 \cdot 5 + 10 \cdot 30)}$$

$$= 114.116 \text{ mH}$$

Panjang kawat yang diperlukan adalah

$$l = 2\pi RN \dots\dots\dots(3.1)$$

$$= 2 \times 3.14 \times 5 \times 2000$$

$$= 628 \text{ meter}$$

3.2.2 Perancangan Toroid

Toroid yang digunakan mempunyai diameter sebesar 30 cm dan diameter selubung sebesar 10 cm, berdasarkan persamaan 2.2 maka besarnya kapasitansi toroid. adalah

$$C_T = 2.8 \cdot \left(1.2781 - \frac{10}{30}\right) \cdot \sqrt{0.1217 \cdot 10 \cdot (30 - 10)}$$

$$= 13.05 \text{ pF}$$

Besarnya frekuensi yang terbentuk antara lilitan kumparan tesla dengan toroid dihitung dengan rumus:

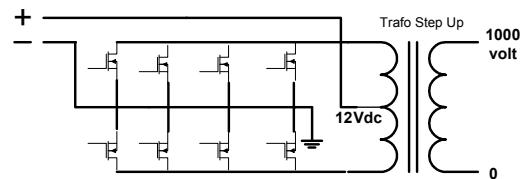
$$f_{RES} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_s \cdot C_T}} \dots\dots\dots(3.2)$$

$$= \frac{1}{2 \cdot 3.14 \sqrt{114.116 \cdot 10^{-3} \cdot 13.05 \cdot 10^{-12}}}$$

$$= 130.485 \text{ kHz}$$

3.3 Inverter Push-Pull

Pada perancangan pembangkit tegangan tinggi menggunakan kumparan tesla ini digunakan *inverter push-pull*. Rangkaian *Inverter Push-Pull* ini digunakan untuk mengubah tegangan DC dari regulator menjadi tegangan AC. Inverter ini menggunakan mosfet sebagai saklarnya. Rangkaian inverternya dapat dilihat pada gambar di bawah ini:

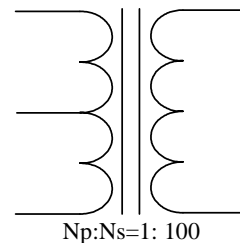


Gambar 3.2 Rangkaian Push-Pull Inverter

Delapan buah mosfet digunakan untuk membagi arus agar tiap - tiap mosfet memikul arus yang lebih rendah, sehingga mosfet tidak terlalu panas.

3.3.1 Transformator Step Up Trans Impedans

Transformator Step Up digunakan sebagai komponen dari inverter *push - pull*. Perbandingan sisi primer transformator dengan sisi sekundernya adalah 1:100.



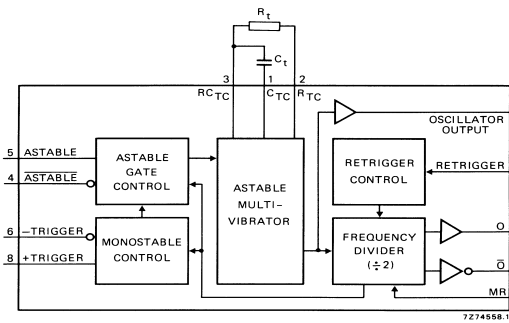
Gambar 3.3 Transformator trans impedans

3.4 Rangkaian Osilator Pulsa

Pada perancangan ini digunakan IC Driver CD4047 sebagai komponen rangkaian osilator pulsa agar dapat menunjang kapasitas frekuensi yang diinginkan yaitu antara 100 - 200 KHz.

IV. PENGUJIAN

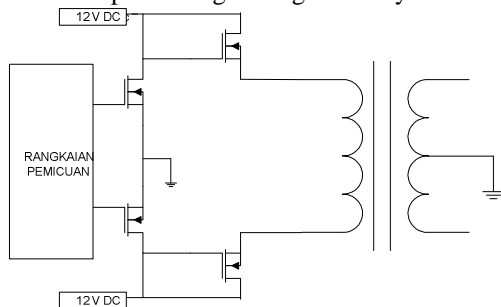
Pengujian dan analisa peralatan meliputi pengujian sinyal pemecuan, pengujian output inverter, dan pengujian kumparan tesla.



Gambar 3.4 Rangkaian Osilator Pulsa

3.4.1 Rangkaian Driver dan Isolator Pulsa

Untuk memisahkan rangkaian osilator pulsa dengan rangkaian daya dibutuhkan sebuah Transformator Pulsa, dalam perancangan ini digunakan rangkaian driver yang terdiri atas MOSFET sebagai saklar dan Transformator Pulsa, jadi transformator pada rangkaian driver selain untuk memicu rangkaian daya sekaligus juga untuk memisahkan antara rangkaian osilator pulsa dengan rangkaian daya.



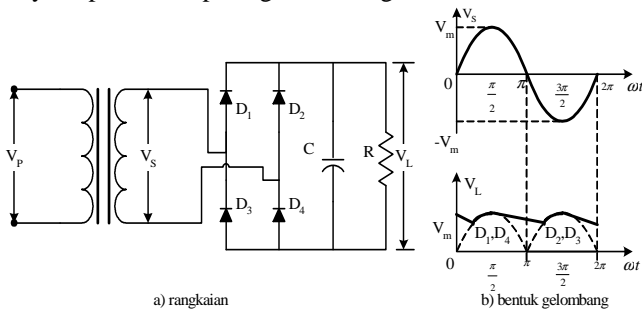
Gambar 3.5 Driver dengan menggunakan Transformator

3.5 Penyearah Sebagai Suplai Rangkaian

Untuk mendapatkan suplai tegangan DC yang dibutuhkan sumber tegangan AC 1 fasa yang berasal dari jala – jala PLN 50 Hz 220 volt disearahkan menggunakan penyearah tipe gelombang penuh dengan penyearah tipe jembatan dengan filter kapasitor untuk menghaluskan keluaran penyearah yang mengandung riak

3.5.1 Penyearah Untuk Suplai Rangkaian Driver

Penyearah untuk suplai rangkaian Diver digunakan 4 buah dioda yang disusun dengan tipe jembatan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar rangkaian di bawah ini.



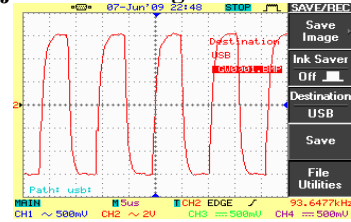
Gambar 3.6. Penyearah tipe jembatan dengan filter kapasitor

Agar output tegangan yang dihasilkan konstan +12 volt maka digunakan IC regulator LM7812.

3.5.2 Penyearah Untuk Suplai Inverter Push - Pull

Untuk suplai inverter push-pull suplai 1 fasa dari jala-jala PLN dilewatkan regulator DC sehingga input inverter dapat divariasikan antara 8 volt DC sampai dengan 25 volt DC.

4.1 Pengujian Gelombang Keluaran

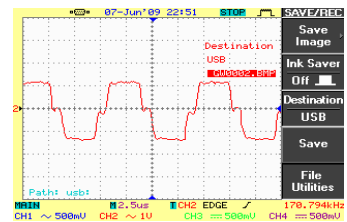


V/D : 2 v/div Probe: 1x

T/D : 5 uS/div

Gambar 4.1 sinyal pemecuan IC CD4047

Pada gambar di atas terlihat gelombang outputnya tidak kotak sempurna, hal ini akibat adanya beban dari rangkaian driver.

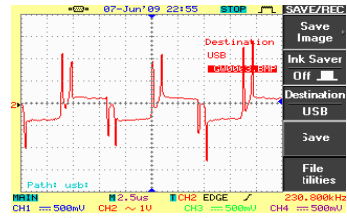


V/D : 1V/div Probe: 10x

T/D : 2.5 uS/div

Gambar 4.2 Sinyal Keluaran Driver

Sinyal output driver mengalami perubahan bentuk bila dibanding dengan sinyal output IC CD4047 hal ini dikarenakan pada rangkaian driver terdapat trafo driver yang memberikan pengaruh induktansi.



V/D : 1V/div Probe: 1x

T/D : 2.5 uS/div

Gambar 4.3 Bentuk gelombang tegangan output inverter pada renteng MOSFET IRFZ44

Dari Gambar 4.4 bentuk gelombang keluaran terlihat seperti itu karena adanya spike tegangan dan arus, sedangkan pada perancangan alat ini tidak dipasang rangkaian snubbers untuk mengurangi spike tersebut



V/D : 5 V/div

Probe: 100x

T/D : 1uS/div

Gambar 4.4 Bentuk Gelombang Tegangan Output Inverter Push - Pull

V. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Pembangkit Tegangan Tinggi AC Frekuensi Tinggi Dengan Kumputan Tesla Menggunakan Inverter Jenis *Push-Pull* telah dirancang dengan kesimpulan sebagai berikut:

1. Tegangan keluaran kumputan Tesla mempunyai nilai maksimal pada frekuensi resonansi sebesar 114 kHz, ditandai dengan terjadinya corona paling besar.
2. Besar nilai tegangan keluaran kumputan Tesla antara 22.968 – 43.06 kilovolt.
3. Jika menjalankan kumputan tesla dengan kondisi jauh dari frekuensi resonannya maka tidak akan terjadi tegangan tinggi disisi kumputan tesla.
4. Range frekuensi untuk terjadi corona adalah 107 kHz sampai dengan 121 kHz jika melebihi range frekuensi tersebut maka tidak terjadi corona.
5. Tegangan keluaran inverter dibatasi oleh tegangan *breakdown* mosfet yang digunakan yaitu sebesar 55 volt DC.
6. Batas aman kerja alat selama 15 menit karena arus yang cukup tinggi sehingga panas yang terjadi pada rangkaian peralatan tinggi juga, panas yang terjadi dikhawatirkan akan merusak alat.

5.2 Saran

Untuk kepentingan pengembangan tugas akhir ini, maka dapat diberikan saran-saran sebagai berikut:

1. Penggunaan *heatshink* dan pendingin berkualitas baik sangat dibutuhkan untuk meredam panas yang terjadi.
2. Suplai inverter dapat diganti dengan batterai untuk menggantikan suplay dari jala – jala PLN.
3. Transformator Stepdown yang digunakan sebaiknya memiliki kapasitas arus yang tinggi.
4. Pipa yang digunakan untuk menggulung lilitan primer dan sekunder sebaiknya terbuat dari plastik jenis HDPE karena mempunyai kebocoran fluks yang rendah.

Dari gambar 4.4 terlihat bahwa gelombang keluaran dari tegangan output inverter berbentuk sinus. Karena adanya energi medan dari trafo sehingga terdapat *spike-spike* seperti terlihat pada gambar di atas, sehingga gelombang keluaran inverter *push – pull* tidak sinus sempurna.

4.2 Pengujian Tegangan Kumputan Tesla

Untuk melakukan pengujian tegangan Kumputan Tesla digunakan sela bola standar diameter 10 cm. Dari hasil pengujian yang dilakukan pada ruangan bersuhu 26.8°C pada tekanan udara 743 mmHg dan frekuensi resonansi yang terjadi adalah 114 kHz diperoleh data sebagai berikut.

Tabel 4.1 Pengujian tegangan keluaran kumputan tesla dengan sela bola

Tegangan puncak masukan kumputan tesla (volt DC)	Jarak sela bola ketika terjadi tembus udara (mm)
8	8
12	13
25	15

Tegangan tembus yang terjadi dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$\hat{V} = \delta \hat{V}_s \dots\dots\dots(4.1)$$

dimana :

\hat{V} adalah tegangan tembus saat pengujian

δ adalah faktor koreksi udara

\hat{V}_s adalah tegangan tembus sela bola standar (30 kV/cm)

Faktor koreksi udara tergantung pada suhu dan tekanan udara besarnya sebagai berikut

$$\delta = \frac{0.386p}{273 + \theta} \dots\dots\dots(4.2)$$

dimana δ = faktor koreksi udara

p = tekanan udara (mmHg)

θ = temperatur udara ($^{\circ}C$)

sehingga besarnya faktor koreksi udara pada suhu 26.8 $^{\circ}C$ dan tekanan udara 743 mmHg adalah 0.957. Setelah dikalikan dengan faktor koreksi maka tegangan keluaran kumputan tesla berdasarkan data tabel 4.1 dapat dituliskan pada tabel 4.2 sebagai berikut

Tabel 4.2 Pengujian tegangan keluaran kumputan tesla dengan sela bola dalam kV

Tegangan puncak masukan kumputan tesla (volt DC)	Tegangan keluaran ketika terjadi tembus udara (kV)
8	22.968
12	37.323
25	43.06

Pada saat pengambilan data tegangan keluaran kumputan tesla, frekuensi resonansi yang terjadi adalah 114 KHz dimana frekuensi ini tidak sama dengan frekuensi lilitan kumputan tesla dengan toroid sebesar 130.485 kHz. Hal ini terjadi akibat adanya penambahan *junper* dan sela bola pada saat pengukuran sehingga mempengaruhi frekuensi yang terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tobing, Bonggas L, Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi, Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 2003.
- [2] M. Rashid, *Power Electronics Circuit, Device, and Application 2nd*, Prentice-Hall International Inc, 1988.
- [3] Joseph A. Edminister, M.S.E. *Seri Buku Schaum: Teori Dan Soal – Soal Rangkaian Listrik*. Edisi kedua. ERLANGGA: Jakarta, 1988
- [4] M. Rashid., *Power Electronics: Circuits and Application*, Edisi kedua, Prentice International, New Delhi, India, 1996.
- [5] Denicolai, Marco, *Tesis: Tesla Transformer for Experimentation and Research*, HELSINKI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, 2001.
- [6] Abduh, Syamsir, Teknik Tegangan Tinggi, Penerbit Salemba Teknik, Jakarta, 2001.
- [7] Zuhail, *Dasar Tenaga Listrik Dan Elektronika Daya*, Gramedia, 1995
- [8] Malvino, *Prinsip-prinsip Elektronik*, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1984.
- [9] Arianto, Rachmat dan Barendriyo, *Lingkar Regulator Tegangan Ragam Tersaklar Proletar Efisien Yang Sering Terlewatkan*
- [10] Habibi, Tugas Akhir: *Pembangkitan Tegangan Tinggi AC Menggunakan Kumputan Tesla*, Universitas Diponegoro, 2007
- [11] Arifin, Fajar, Tugas Akhir: *Perancangan Pembangkit Tegangan Tinggi Impuls Untuk Aplikasi Pengolahan Limbah Cair Industri Minuman Ringan Dengan Teknologi Plasma Lucutan Korona*, Universitas Diponegoro, 2009
- [12] Lister, *Rangkaian dan Mesin Listrik*, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1993.
- [13] <http://www.irf.com>
- [14] <http://www.alldatasheet.com>
- [15] <http://www.sentex.ca/~mec1995/circ/hv/ss-tesla/ss-tesla2.html>



Wildan Mujahid, Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Diponegoro angkatan 2004 yang sedang menyelesaikan pendidikan S1.

Menyetujui :

Pembimbing I

Ir. Agung Warsito DHET
NIP. 195806171987031002

Pembimbing II

Abdul Syakur, S.T., M.T.
NIP. 197204221999031004