

Perancangan Dan Aplikasi Pembangkit Plasma Tegangan Tinggi AC Menggunakan *Dual Flyback Transformer* Topologi Inverter *Push-Pull*

Faisal Setiawan¹⁾, Fri Murdiya²⁾

¹⁾Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro S1, ²⁾Dosen Teknik Elektro
Program Studi Teknik Elektro S1, Fakultas Teknik Universitas Riau

Kampus Bina Widya Jl. HR. Soebrantas Km. 12,5 Simpang Baru, Panam, Pekanbaru 28293

*Email : faisal.setiawan2688@student.unri.ac.id

ABSTRACT

In this study, a laboratory-scale prototype of high-voltage plasma generator has been realized. This generator intends to have the capability to employ corona plasma which is used as an application medium for the decomposition of coconut shell waste carbon material into graphene. The design of the high voltage generator prototype is divided into three main parts, the first is a full wave rectifier with a 12 volt CT used as a unidirectional power supply in the inverter driver control circuit, and the design of a switch module power supply (SMPS) prototype with adjustable voltage 0-50 volts are used as the unidirectional input voltage in the push-pull inverter power circuit. Furthermore, the second is the inverter control circuit using the TL494 IC as a MOSFET triggering frequency oscillator driver, and using a pulse transformer isolator as an electrical isolator as a safety between the control circuit and the power circuit in the push-pull inverter, and the third is the inverter power circuit design on the This research is designed with a push-pull inverter topology using a MOSFET as an alternating current switching electronic switch. This device operates when connected to a ferrite core TV Flyback Transformer which is able to work at high frequencies with a winding ratio 1 : 75 as a fast transformer to raise it to a high voltage with a plate-rod electrode configuration. The success of the corona plasma appearance depends on the voltage and electric currents, as well as the distance between the electrodes. Meanwhile, the amount of plasma discharge stress on the carbon material is directly proportional to the success of producing graphene. The higher the exposure of the plasma discharge stress to the carbon material, the greater the success of producing graphene. Tests carried out by varying the input voltage of the inverter from 9,0 volt, 13,9 volt and 19,5 Volts AC. Based on the results of the Transmission Electron Microscope (TEM) test, the best results for the formation of graphene structures are the inverter voltage variation of 19,5 volts AC for 5 minutes and the electrode distance of 10mm with the highest voltage of 2,77 kV at 54,82 kHz.

Keyword : Push-Pull, Flyback TV Transformer, graphene

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi tegangan tinggi dewasa ini semakin meluas dalam berbagai bidang. Kini pemanfaatan teknologi tegangan tinggi tidak hanya untuk kebutuhan listrik sehari-hari namun juga dikembangkan seperti teknologi pembunuh kuman, teknologi penjernihan limbah, hingga teknologi penjernihan teknologi tekstil. Namun teknologi pembangkit tegangan tinggi yang ada masih dalam skala besar, pengoperasian yang rumit dan biaya perawatan yang mahal

Oleh karena itu penulis merancang dan mengaplikasikan pembangkit plasma tegangan tinggi ac berskala kecil dan mudah pengoperasiannya serta berbiaya murah dengan menggunakan dua trafo *flyback* yang disusun seri sebagai penaik tegangan dan tipe inverter yang dirancang topologi *push-pull*. Pada aplikasinya penulis menerapkan hasil pembangkitan plasma tegangan tinggi yang telah dirancang tersebut untuk menganalisa apakah plasma tegangan tinggi yang terbangkitan berhasil merubah material karbon dari limbah cangkang kelapa menjadi nano material lapisan *graphene*.

II. LANDASAN TEORI

2.1. Graphene

Graphene merupakan modifikasi struktural yang berbeda dari sebuah unsur karbon. Terikat bersama-sama dalam susunan kisi tetrahedral dan grafit, yang terdiri atas atom karbon yang terikat dalam lambaran-lambaran kisi heksagonal^[1]. *Graphene* merupakan material komposit berbasis yang memiliki kekuatan besar namun dengan massa yang ringan sehingga mulai digunakan sebagai bahan material industri^[2].

2.2. Plasma

Definisi plasma dikenal sebagai zat keempat setelah zat klasik gas, cair, dan padat^[3]. Dengan memanfaatkan tegangan tinggi maka plasma dapat dihasilkan. Dua buah elektroda yang dihadapkan pada udara bebas karena udara merupakan isolator tidak penghantar listrik. Namun bila kedua elektroda diberi tegangan tinggi maka sifat konduktor udara muncul bersamaan arus mengalir, fenomena disebut *electrical breakdown*.

2.3. Rangkaian Kontrol Menggunakan IC TL494

Sebagai pembangkit gelombang PWM dengan besar nilai *duty cycle* yang dapat diatur menggunakan IC TL494 yang

memiliki dua gelombang keluaran pada kaki 9 dan 10. Kedua kaki tersebut berbeda kondisi *high* dan *low*. Periode pemucuan yang dihasilkan merupakan adanya fungsi dari komponen C dan R eksternal yang dipasang berdasarkan *datasheet* IC TL494 [4], unttuk periode pemucuan menggunakan persamaan (1) berikut.

$$f = \frac{1,1}{R_f C_f} \quad (1)$$

2.4. Penyearah

Untuk mengubah tegangan bolak balik menjadi searah diperlukan penyearah. Dalam penerapannya penyearah satu fasa tak terkontrol gelombang penuh merupakan salah satu penyearah yang sering digunakan dengan empat dioda yang disusun [6]. Selanjutnya untuk merancang suatu inverter maka dibutuhkan sumber tegangan searah, berikut adalah dua jenis rangkaian penyearah sebagai catu daya [7], yaitu

1. Rangkaian penyearah gelombang penuh dengan dioda bridge
2. Rangkaian penyearah gelombang penuh dengan CT

Bila tegangan masukan penyearah gelombang penuh satu fasa tak terkendali dinyatakan dengan persamaan

$$V_{in}(\omega t) = V_m \sin \omega t \quad (2)$$

Tegangan keluaran searahnya :

$$V_{dc} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} V_m \sin \omega t . d\omega t = \frac{2V_m}{\pi} \quad (3)$$

Tegangan keluaran efektifnya adalah :

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} V_m^2 \sin^2 \omega t . d\omega t} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \quad (4)$$

Tegangan keluaran sesaatnya adalah :

$$v_o(t) = \frac{2V_m}{\pi} + \frac{4V_m}{\pi} \sum_{n=2,4,\dots}^{\infty} \frac{-1}{(n-1) + (n+1)} \cos(n\omega t) \quad (5)$$

2.5. Filter Kapasitor

Penggunaan kapasitor sebagai penyaring untuk meratakan denyutan keluaran tegangan arus searahnya yang tidak murni DC. Rangkaian filter kapasitor diletakkan melintasi terminal keluaran penyearah. Berikut ini persamaan 6 yang digunakan untuk menentukan besarnya nilai kapasitansi kapasitor dalam menekan riak keluaran penyearah dapat direduksi.

$$C = \frac{10xI_{beban}}{n\omega V_{beban}} \quad (6)$$

Keterangan :

- C = Nilai Kapasitor (F)
- I_{beban} = Arus Beban (A)
- V_{beban} = Tegangan Beban (V)
- n = Urutan frekuensi harmonisa yang dominan muncul
- ω = Konstanta ($2\pi f$)

2.6. Transformator

Digunakan sebagai penaik tegangan atau penurun tegangan sesuai kebutuhan penelitian. Transformator terdiri dari dua kumparan primer sebagai transformasi peubah pada kumparan sekunder yang besarnya tergantung dari masing-masing jumlah lilitan pada tiap kumparan yang dirumuskan sebagai berikut.

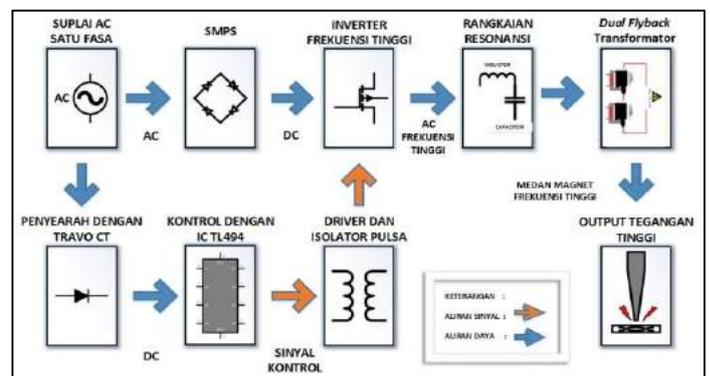
$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s} \quad (7)$$

Keterangan:

- N_p = Lilitan Primer
- N_s = Lilitan Sekunder
- V_p = Tegangan Primer
- V_s = Tegangan Sekunder

III. METODE PENELITIAN

Perancangan prototipe pembangkit tegangan tinggi terbagi atas tiga bagian utama, yang pertama adalah penyearah gelombang penuh dengan CT 12 volt digunakan sebagai catu daya searah pada rangkaian kendali driver inverter, dan perancangan prototipe *switch module power supply* (SMPS) dengan tegangan dapat di *adjust* 0-50 volt digunakan sebagai tegangan masukan searah pada rangkaian daya inverter *push-pull*. Selanjutnya yang kedua adalah rangkaian kendali inverter menggunakan IC TL494 sebagai driver osilator frekuensi pengontrolan pemucuan MOSFET, dan menggunakan isolator trafo pulsa sebagai isolator listrik bersifat sebagai pengaman antara rangkaian kontrol dan rangkaian daya pada inverter *push-pull*, dan yang ketiga adalah perancangan rangkaian daya inverter pada penelitian ini dirancang dengan topologi inverter *push-pull* dengan MOSFET sebagai saklar elektronik switching arus bolak-balik. Sebagai penaik tegangan tinggi digunakan transformator *flyback* TV inti *ferrite* yang mampu bekerja pada frekuensi tinggi dengan perbandingan lilitan 1 : 75 sebagai trafo cepat untuk menaikkan tegangan tinggi menggunakan konfigurasi elektroda batang-plat. Blok diagram keseluruhan dari perancangan alat pembangkitan tegangan tinggi yang akan dirancang dijelaskan pada Gambar dibawah berikut ini.

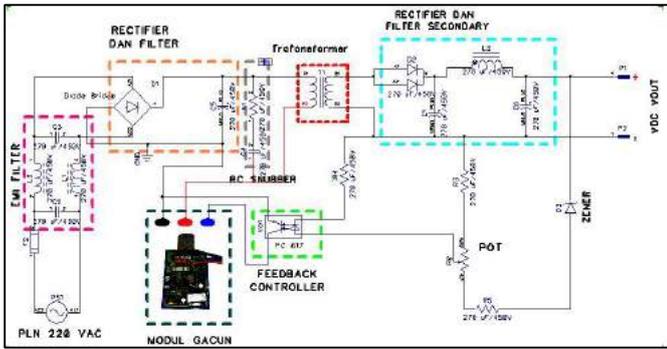


Gambar 1 Diagram Blok Perancangan Pembangkitan Tegangan Tinggi AC

3.1. Perancangan Catu Daya Searah

3.1.1. Rangkaian *Switch Module Power Supply* (SMPS)

SMPS digunakan sebagai tegangan masukan searah inverter *pushpull* dan dirancang agar tegangan dapat *adjust* dari 0-50 Volt DC. SMPS ini menggunakan skema topologi *flyback converter* dengan modul gacun . Modul gacun dipilih karena sudah dilengkapi dengan *start up* dan proses *switching*-nya, sehingga tidak perlu dilakukan pembuatan rangkaian *switching* seperti SMPS pada umumnya [8]. Catu daya SMPS bersumber dari tegangan bolak-balik PLN 220 volt 50 Hz. Berikut Gambar 2 adalah rangkaian perancangan SMPS.



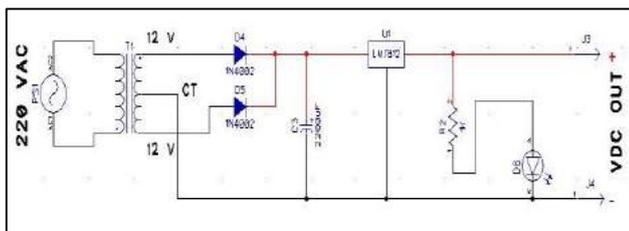
Gambar 2 Rangkaian Perancangan SMPS

SMPS dirancang dengan kemampuan daya 350 VA pada beban maksimum, kemampuan arus ditentukan $VA = V_{rms} \times I_{rms}$. Besar $I_{rms} = 350/55,60 = 6,3$ A, dan besar arus maksimum I_m adalah $= \sqrt{2} \times I_{rms} = \sqrt{2} \times 6,3 = 8,9$ A. Berdasarkan ketersediaan komponen dipasaran maka dioda yang dipilih tipe MUR3060PT dengan spesifikasi 200 V, 30 A dan dua buah kapasitor dengan nilai kapasitor 470 uF dipasang paralel sebagai filter.

3.1.2. Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh Satu Fasa CT

Rangkaian penyearah gelombang penuh satu fasa ct ini merupakan sumber DC 12 V. Tegangan ini digunakan sebagai suplai rangkaian isolator pulsa untuk IC TL494 atau rangkaian kontrol. Tegangan DC diperoleh hasil dari penyearah tegangan AC jala-jala yang sebelumnya diturunkan tegangannya menggunakan trafo *stepdown* dari 220 volt menjadi 12 volt. Selanjutnya tegangan DC diteruskan ke IC regulator LM7812 digunakan untuk keluaran 12 VDC. Sementara LED digunakan sebagai indikator rangkaian penyearah bekerja.

Pada perancangan ini terdapat penyearah satu fasa dengan CT, dioda, resistor, regulator LM7812, lampu LED, dan kapasitor seperti pada Gambar .



Gambar 3 Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh Satu Fasa CT

3.2. Perancangan Rangkaian Kendali Inverter

3.2.1 Rangkaian Kontrol IC TL494

IC TL494 dipilih untuk menghasilkan sinyal keluaran gelombang kotak dengan *dutycycle* bervariasi. Sinyal gelombang kotak yang dihasilkan oleh digunakan sebagai pemacu pensaklaran pada rangkaian inverter *push-pull*. Untuk menghitung besaran frekuensi kerja berdasarkan nilai *datasheet* dari IC TL494 adalah;

$$f = \frac{1,1}{R_1 C_1}$$

Nilai kapasitor yang digunakan adalah 1 nF, maka nilai resistor yang dibutuhkan pada frekuensi maksimal 55 kHz:

$$R_1 = \frac{1,1}{10^{-9} \cdot 55 \cdot 10^3} : 2 = 10012,42 \Omega$$

Kemudian dengan menyesuaikan nilai komponen yang tersedia dipasaran adalah :

$$\begin{aligned} CT &: 1 \text{ nF} \\ RT &: 10K \Omega \end{aligned}$$

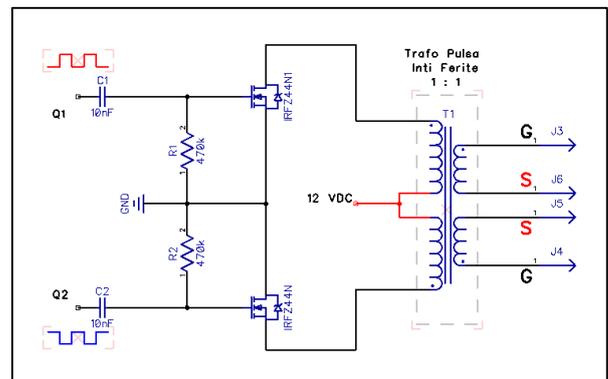
Maka besarnya frekuensi yang dapat dihasilkan adalah :

Pada saat nilai $R = 10K \Omega$

$$f_{max} = \frac{1,1}{10 \cdot 10^3 \cdot 10^{-9}} : 2 = 55kHz$$

3.2.2 Rangkaian Driver dan Trafo Pulsa

Isolator pulsa terdiri dari resistor, kapasitor, MOSFET dan trafo pulsa. Gambar rangkaian dapat dilihat pada Gambar 3 MOSFET IRFZ44N dipasang dua buah dengan skema *push-pull* pada sisi primer trafo. Spesifikasi MOSFET IRFZ44N yang digunakan tegangan *breakdown* 60 V dan arus maksimal sebesar 50 A serta *threshold voltage* 4 V sehingga MOSFET IRFZ44N dapat digunakan untuk rangkaian isolator pulsa. Perbandingan lilitan trafo pulsa dirancang 1:1 dengan tegangan suplai 12 V. Dengan tegangan sebesar 12 V disisi sekunder trafo pulsa, maka sudah dapat memicu pensaklaran pada inverter yang menggunakan MOSFET IRF260 sebagai komponen saklar pada inverter. Berikut ini rangkaian isolator pulsa diperlihatkan pada Gambar 4 dibawah.



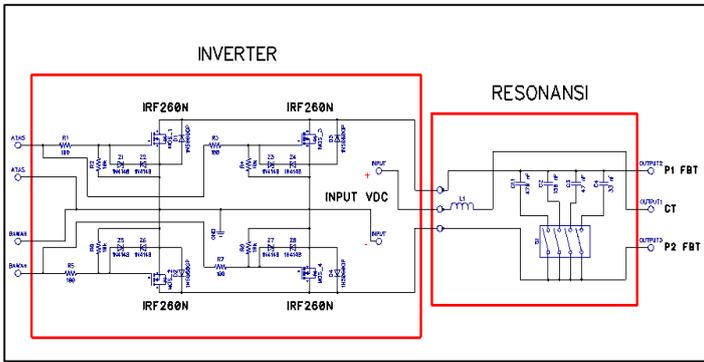
Gambar 4 Rangkaian Isolator Pulsa

Rangkaian *driver* dan trafo pulsa berfungsi sebagai pelindung MOSFET pada rangkaian daya inverter. Sementara rangkaian *driver* berfungsi sebagai penguat keluaran pulsa dari IC TL494. Rangkaian *driver* yang digunakan terdiri dari sebuah kapasitor terhubung secara seri dengan keluran dari rangkaian kontrol IC TL494 dan terdapat sebuah resistor yang terpasang secara paralel antara *gate* dan *source* pada MOSFET. Sementara gelombang kotak DC berubah menjadi gelombang kotak AC setelah melalui rangkaian *driver*. Hal ini disebabkan karena proses *switching* pada MOSFET IRFZ44N.

3.3. Perancangan Rangkaian Daya Inverter

3.3.1 Inverter Pushpull

Berikut ini adalah skema rangkaian dari perancangan daya inverter tipe *push-pull* yang akan dibuat pada penelitian ini diperlihatkan pada Gambar 5 dibawah ini.



Gambar 5 Rangkaian Inverter Pushpull

Dalam menentukan spesifikasi MOSFET yang akan digunakan, tegangan kerja maksimal yang harus mampu ditahan oleh MOSFET sebesar 50 V. Inverter dirancang dengan daya maksimal 350 Watt, maka resistansi beban minimal sebesar:

$$R = \frac{8.V_s^2}{\pi^2 \cdot p_0}$$

$$R = \frac{8.V_s^2}{\pi^2 \cdot p_0}$$

$$R = \frac{8.50^2}{3,14^2 \cdot 350}$$

$$R = \frac{8.2500}{9,8596 \cdot 350}$$

$$R = \frac{20000}{3450,86} = 5,795\Omega$$

Besarnya arus maksimal yang mengalir:

$$I_m = \frac{V_m}{Z} = \frac{4.V_s}{\pi.z} = \frac{4.V_s \cdot \cos\Psi}{\pi.R}$$

Pada kondisi resonansi nilai $Z=R$, maka $\Psi=1$:

$$I_m = \frac{V_m}{Z} = \frac{4.V_s}{\pi.r}$$

$$I_m = \frac{4.50}{3,14 \cdot 5,795}$$

$$I_m = \frac{200}{18,1963} = 10,99A$$

Berdasarkan pada nilai diatas maka MOSFET yang dipilih untuk digunakan dalam perancangan inverter adalah MOSFET IRF 260 dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Drain-source breakdown voltage : 200 V
- Gate-source breakdown voltage : ± 20 V
- Gate-threshold voltage : 4 V
- Drain current : 50 A
- Drain source ON resistance RDS (ON) : 0,27 Ω @10 V

Langkah selanjutnya mengukur nilai induktansi dan kapasitor resonan. Jumlah lilitan sebanyak 25 lilitan menghasilkan nilai induktansi sebesar 55,85 mH frekuensi dirancang pada 55kHz Sehingga frekuensi resonan dapat ditentukan dengan persamaan (8) berikut.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (8)$$

Maka untuk merancang frekuensi sebesar 55 kHz maka nilai kapasitor yang digunakan adalah 150nF/1.6kV.

3.3.2 Perancangan Dual Transformator Flyback

Dalam penelitian ini menggunakan trafo flyback TV 29 inchi yang digunakan sebagai penaik tegangan. Trafo flyback dipilih karena menggunakan inti ferrite yang didesain agar dapat bekerja pada frekuensi tinggi. Perbandingan lilitan perancangan 1:75. Tegangan minimum masukan inverter adalah 10 Vac, maka untuk mengetahui besar tegangan keluaran trafo flyback digunakan persamaan 7 diatas.

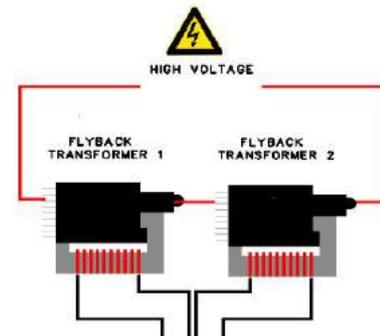
$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s}$$

$$V_s = \frac{N_s}{N_p} \times V_p$$

$$V_s = \frac{75}{1} \times 10$$

$$V_s = 750 \text{ Volt}$$

Tegangan 750 Volt merupakan nilai tegangan untuk trafo 1 flyback. Karena penelitian ini menggunakan dua trafo flyback yang disusun seri, maka tegangan keluaran menjadi 2 x 750 = 1500 Volt, dengan tegangan amplitudo (peak to peak) $\sqrt{2} \times 1500 = 2121,32$ Volt. berikut Gambar 6 merupakan rangkaian dua trafo flyback disusun seri.

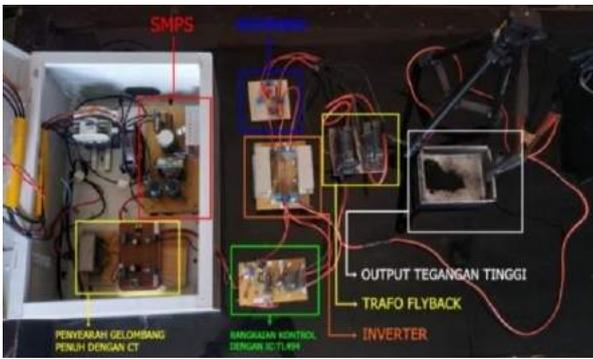


Gambar 6 Rangkaian Seri Trafo Flyback

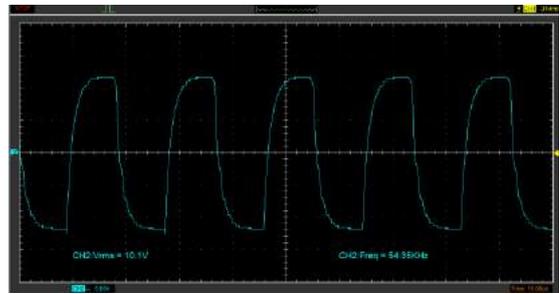
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Keseluruhan Rancang Bangun Aat

Pembangkit plasma tegangan tinggi didesain menggunakan masukan dua buah catu daya sumber DC. Rancangan bangun prototipe penyearah gelombang penuh dengan trafo ct digunakan sebagai masukan sumber DC 12 V pada rangkaian kotrol driver. Output rangkaian driver berupa gelombang sinyal sebagai pemicu pensaklaran MOSFET pada tipe inverter push-pull. Tegangan keluaran searah prototipe SMPS dirancang agar dapat bekerja dari tegangan 0- 50 V. Agar gelombang frekuensi yang dihasilkan sesuai perancangan maka digunakan rangkaian resonansi filter yang terdiri dari induktor dan kapasitor. Rangkaian filter ini juga digunakan sebagai perata riak yang muncul akibat proses switching inverter. Untuk menghasilkan plasma tegangan tinggi maka digunakan Trafo flyback sebagai penaik tegangan keluaran. Berikut ini merupakan tampak fisik hasil dari keseluruhan rancang bangun pembangkit plasma tegangan tinggi yang diperlihatkan pada Gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1 Rangkaian Keseluruhan Pembangkit Plasma Tegangan Tinggi

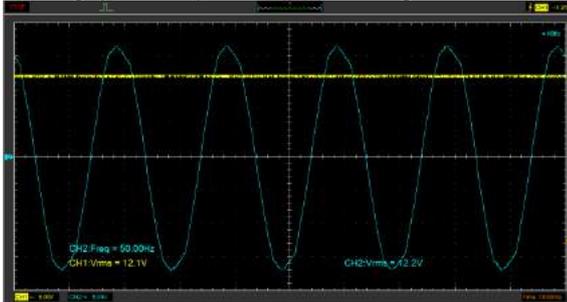


Gambar 4 Sinyal Keluaran Rangkaian Kontrol

Gelombang Gambar 4 diatas didapatkan tegangan keluaran driver sebesar 10,1 Volt pada frekuensi 54,35 kHz dengan amplitudo (*peak to peak*) 14,28 Volt. Mosfet IRFP 260 memiliki tegangan pemicuan maksimum V_{GS} maksimal ± 20 Volt sehingga tegangan keluaran driver dan trafo pulsa sebesar 10,1 Volt ini sudah cukup aman dan sesuai untuk memicu Mosfet IRFP 260 pada rangkaian daya inverter.

4.2 Pengujian Catu Daya Searah

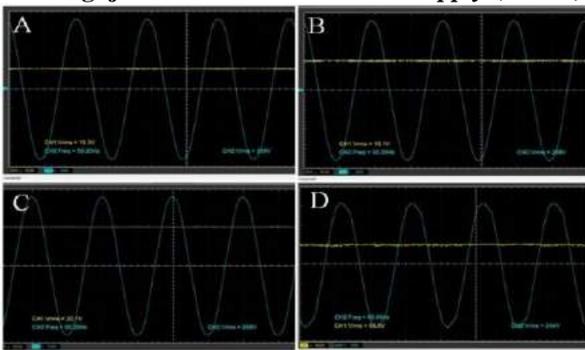
4.2.1 Pengujian Penyearah Gelombang Penuh CT



Gambar 2 Sinyal Keluaran Rangkaian Kontrol

pengujian pada Gambar 2 diatas dilakukan menggunakan alat ukur osiloskop digital. Tegangan terukur pada probe biru merupakan tegangan AC dari trafo CT sebesar 12,2 volt. setelah tegangan bolak-balik disearahkan menggunakan penyearah gelombang penuh dengan CT maka didapatkan tegangan searah terukur sebesar 12,1 Volt DC tegangan ini sudah sesuai dengan perancangan awal penelitian dan sudah cukup sebagai catu daya IC TL494 rangkaian kontrol driver.

4.2.2 Pengujian Switch Module Power Supply (SMPS)

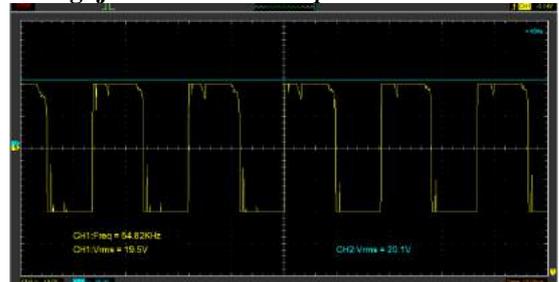


Gambar 3 Gelombang Tegangan Keluaran SMPS

Berdasarkan Gambar 3 diatas probe biru adalah tegangan bolak-balik dari input PLN 220V/50Hz sementara probe kuning adalah tegangan keluaran SMPS yang terukur sebesar 10,3 Volt (Gambar-A), 15,1 Volt (Gambar-B), 20,1 (Gambar-C), dan 50,3 Volt (Gambar-D). SMPS dirancang agar tegangan dapat di *adjust* 0-50 Volt, dari hasil pengujian ini membuktikan bahwa SMPS telah bekerja sesuai dengan perancangan awal dan dapat digunakan sebagai tegangan searah masukan untuk inverter *push-pull*.

4.3 Pengujian Sinyal Kontrol Driver

4.4 Pengujian Inverter *Push-pull*



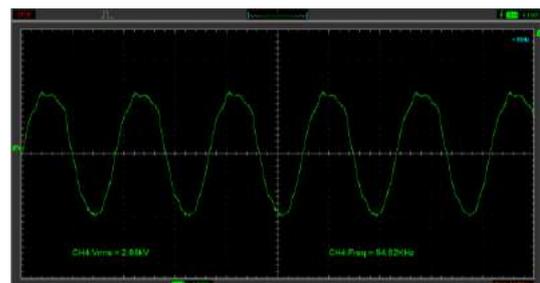
Gambar 5 Gelombang Tegangan Keluaran Inverter *Push-pull*

Gelombang Gambar 5 diatas didapatkan tegangan keluaran inverter sebesar 19,5 Volt AC (probe kuning) pada frekuensi 54,82 kHz dengan tegangan masukan inverter sebesar 20,1 Volt DC (probe biru) . Karena tegangan inverter *push-pull* adalah sama dengan tegangan masukan $V_{in}=V_{out}$ maka ada perbedaan tegangan sebesar 0,6 Volt antara tegangan masukan dan keluaran inverter. Hal ini disebabkan oleh timbulnya efek panas pada proses konversi DC menjadi AC dan adanya riak-riak pada gelombang keluaran inverter *push-pull* yang terukur. Tegangan keluaran ini digunakan untuk masukan trafo *flyback*. Berikut tabel 1 keluaran inverter ketika tegangan masukan dari SMPS 10,3 volt, 15,1 volt dan 20,1 volt DC.

Tabel 1 Pengujian Inverter *Push-pull*

V_{in} (DC)	V_{out} (AC)
10,3	9,0
15,1	13,9
20,1	19,5

4.5 Pengujian Gelombang Keluaran Trafo *Flyback*



Gambar 6 Gelombang Tegangan Keluaran Trafo *Flyback*

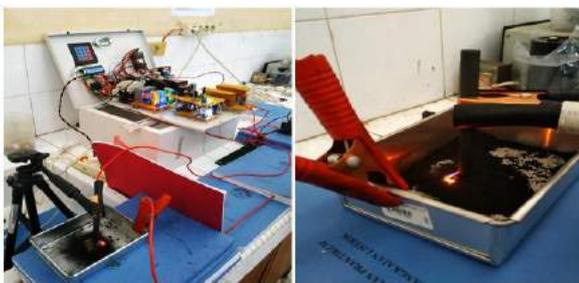
Pengukuran gelombang tegangan keluaran trafo *flyback* Gambar 6 diatas didapatkan ketika keadaan tanpa beban dengan tegangan masukan inverter sebesar 19,5 volt. Besar tegangan keluaran trafo *flyback* yang terukur adalah 2,89 kV pada frekuensi 54,82 kHz. Pengujian gelombang tegangan keluaran trafo *flyback* ini sudah membuktikan bahwa trafo *flyback* dapat menaikkan tegangan dari 19,5 volt menjadi 2,89 kV/54,82 kHz dan sudah sesuai dengan perancangan awal penelitian. Berikut ini tabel 2 merupakan tegangan keluaran trafo *flyback* ketika tegangan masukan dari inverter sebesar 9,0 volt, 13,9 volt, dan 19,5 volt AC.

Tabel 2 Gelombang Tegangan Keluaran Trafo *Flyback*

Vin Inverter (V)	Vout Trafo <i>Flyback</i> (kV)
9,0	1,36
13,9	2,09
19,5	2,89

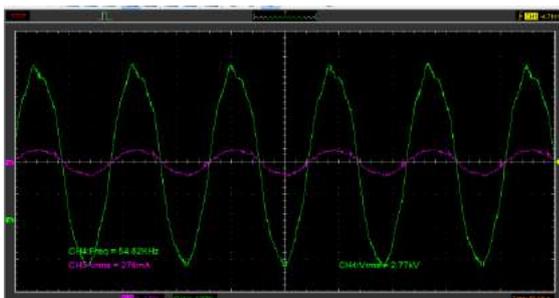
4.6 Pengujian Pembangkitan Plasma Tegangan Tinggi Inverter *Push-pull* Menggunakan Trafo *Flyback* pada Material Karbon

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk membuktikan apakah plasma tegangan tinggi yang dihasilkan oleh prototipe alat yang dirancang ini mampu mengubah struktur material karbon dari limbah cangkang kelapa menjadi struktur nano material *graphene*. Pengujian pada tahap ini dilakukan dengan variasi tegangan inverter sebagai pembangkit plasma tegangan tinggi menggunakan trafo *flyback* terhadap material karbon. Variasi tegangan inverter dari 9,0 volt, 13,9 volt, dan 19,5 Volt. semua sampel diuji dengan parameter lama waktu perlakuan dan jarak elektroda yang sama, lama waktu perlakuan 5 menit dan jarak elektroda 10 mm dengan frekuensi 55 kHz. Berikut ini adalah Gambar 7 proses pelucutan plasma tegangan tinggi terhadap material karbon.



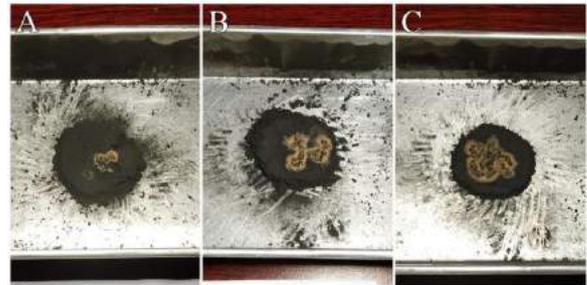
Gambar 7 Proses Pelucutan Plasma Terhadap Material Karbon

Selanjutnya berikut ini Gambar 8 merupakan gelombang keluaran terukur ketika pelucutan plasma tegangan tinggi terhadap material karbon pada tegangan inverter 19,5 volt.



Gambar 8 Gelombang Pengukuran Tegangan Tinggi Input Inverter 20 Volt

Pada Gambar 8 diatas gelombang tegangan keluaran trafo *flyback* yang terukur sebesar 2,77 kV pada frekuensi 54,82 kHz (probe Hijau). Sementara untuk arus yang terukur sebesar 27,6 mA (probe ungu). Rangkaian prototipe yang dirancang telah membuktikan bahwa trafo *flyback* dapat menaikkan tegangan dari 19,5 Volt menjadi 2770 Volt/54,82 kHz. Berikut ini hasil uji sampel material karbon setelah diberi lucutan plasma tegangan tinggi pada Gambar 9 dibawah ini.



Gambar 9 Hasil Dekomposisi Material Karbon Setelah Diberi Plasma Tegangan Tinggi

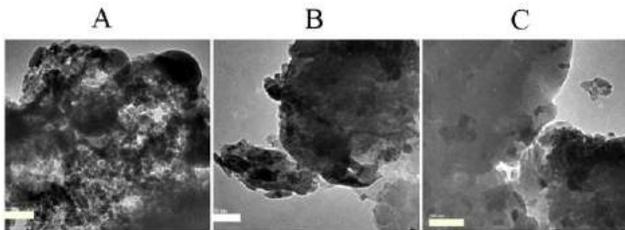
Gambar 9 diatas merupakan hasil uji sampel material karbon setelah diberi lucutan plasma, terlihat ada perbedaan hasil uji tiap variasi tegangan yang diberikan. Gambar-A adalah hasil uji pada tegangan inverter sebesar 9,0 volt, Gambar-B pada tegangan 13,9 volt dan Gambar-C pada tegangan 19,5 volt. Semakin besar tegangan masukan inverter maka semakin banyak material karbon yang terdekomposisi. Berikut ini tabel 3 karakteristik hasil pengujian karbon setelah diberi lucutan plasma.

Tabel 3 Karakteristik Hasil Uji Sampel Material Karbon

Input Inverter (VAC)	Pengukuran			Material Karbon Setelah Terdekomposisi		
	Vrms (kV)	A (mA)	F (kHz)	Warna	Tekstur	Pengamatan
9,0	1,32	8,7	54,82	Coklat	Halus	Plasma yang muncul hanya di satu titik tidak menyebar
13,9	2,05	13,7	54,59	Coklat-Kuning	Halus	Plasma yang muncul mulai menyebar
19,5	2,77	27,6	54,82	Kuning	Kasar-Kristal	Plasma tersebar merata

Berdasarkan tabel 1 didapatkan bahwa pengujian variasi tegangan masukan inverter berpengaruh terhadap hasil dekomposisi material karbon. Hal ini dibuktikan ketika tegangan masukan inverter sebesar 19,5 Volt terlihat hasil dekomposisi karbon berbeda baik dari komposisi warna, tekstur, hingga pengamatan lucutan.

Langkah selanjutnya menguji hasil material karbon yang terdekomposisi menggunakan metode uji *Transmission Electron Microscope* (TEM) bertujuan untuk mengamati mikrostruktur yang terbentuk setelah diberi lucutan plasma tegangan tinggi. Berikut ini Gambar 10 sampel material karbon setelah diuji *Transmission Electron Microscope* (TEM).

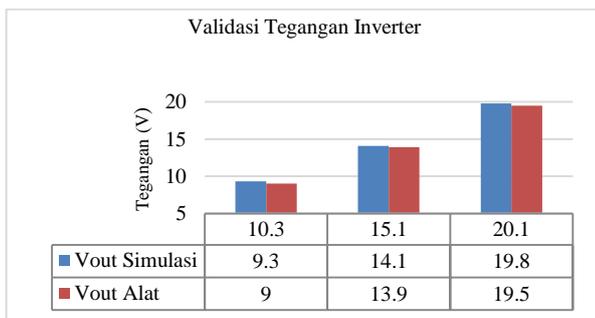


Gambar 10 Hasil Uji TEM Dekomposisi Material Karbon Setelah Pelucutan Plasma

Berdasarkan Gambar 10 diatas dapat dilihat perubahan morfologi yang signifikan. Gambar-A adalah hasil uji TEM dekomposisi material karbon pada tegangan inverter 9,0 Volt dapat dilihat tidak banyak perubahan warna dan bentuk dari hasil uji TEM tersebut yang masih didominasi warna dasar hitam karbon, ini menandakan *graphene* yang terbentuk sedikit dan belum optimal. Hasil uji TEM terbaik ketika tegangan masukan inverter sebesar 19,5 Volt terlihat hasil dekomposisi karbon telah menipis ditandai dengan mulai bening transparan. Keadaan ini merupakan akibat dari mengikisnya lapisan material karbon ketika terpapar plasma, dengan semakin tinggi tegangan lucutan plasma maka semakin terkikis lapisan karbon tersebut sehingga berpengaruh terhadap *graphene* yang dihasilkan. Pada pengujian ini ditarik kesimpulan bahwa variasi tegangan terhadap material karbon berhasil menghasilkan *graphene*.

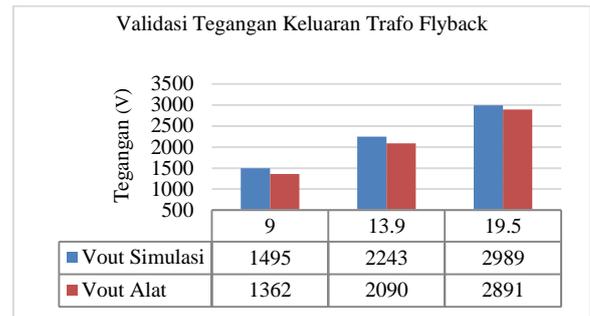
4.5 Validasi Rancang Bangun Menggunakan Software Powersim 9.1

Rancang bangun pembangkit tegangan tinggi plasma divalidasi menggunakan simulasi software Powersim 9.1 untuk membuktikan protipe yang telah dibuat memiliki pola kerja yang sama dengan simulasi. Nilai data yang divalidasi adalah nilai tegangan dan frekuensi. Berikut ini Gambar .. kurva validasi tegangan keluaran inverter pada rancang bangun dan simulasi saat diberi tegangan masukan searah dari SMPS sebesar 10,3 volt, 15,1 volt dan 20,1 Volt DC.



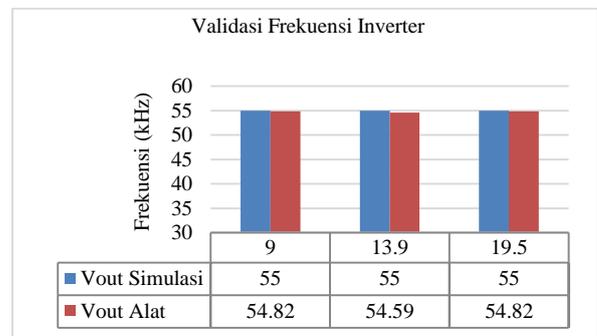
Berdasarkan kurva Gambar 11 diatas dapat dilihat bahwa kurva perubahan nilai tegangan keluaran inverter semakin meningkat seiring perubahan tegangan masukan dari SMPS. Hasil validasi pada kurva ini menunjukkan ada *error* 3,23% antara hasil pengukuran dan simulasi pada tegangan masukan SMPS 10,3 volt. *Error* 1,42% saat tegangan masukan SMPS 15,1 volt, dan *error* 1,52% saat tegangan masukan SMPS sebesar 20,1 Volt. Hal ini dikarenakan pengukuran secara simulasi dilakukan pada kondisi ideal, sedangkan hasil pengukuran pada prototipe banyak faktor-faktor yang mempengaruhi tegangan keluaran inverter terutama disebabkan oleh timbulnya efek panas pada proses konversi DC menjadi AC dan adanya riak-riak pada gelombang keluaran inverter *push-pull* yang terukur.

Berikutnya adalah validasi tegangan keluaran dari trafo flyback pada rancang bangun dan simulasi saat tegangan masukan inverter 9 volt, 13,9, dan 19,5 Volt AC.



Pada kurva Gambar 12 dapat dilihat bahwa kurva perubahan nilai tegangan keluaran trafo flyback semakin meningkat seiring perubahan tegangan masukan inverter. Hasil validasi pada kurva ini menunjukkan nilai *error* 8,9% antara hasil pengukuran dan simulasi pada tegangan masukan inverter 9,0 Volt, nilai *error* 6,83% saat tegangan masukan inverter 13,9 Volt, dan nilai *error* 3,73% saat tegangan masukan inverter sebesar 19,5 Volt. Hal ini dikarenakan pengukuran secara simulasi dilakukan pada kondisi ideal, sedangkan hasil pengukuran pada prototipe banyak faktor-faktor yang mempengaruhi tegangan keluaran terutama pada kualitas trafo flyback yang digunakan dan saklar MOSFET push-pull, dan banyak faktor lain yang mempengaruhi hasil pengukuran.

Validasi berikutnya adalah frekuensi keluaran prototipe alat yang telah dibangun dengan simulasi. Prototipe yang dirancang diharapkan mampu bekerja pada frekuensi 55 kHz. Berikut ini Gambar .. merupakan kurva perbandingan frekuensi keluaran prototipe dan simulasi.



Berdasarkan kurva pada kurva Gambar 13 diatas menunjukkan kurva perbedaan hasil pengukuran melalui simulasi dan pengukuran. Dapat dilihat hasil pengukuran simulasi stabil pada 55 kHz, namun hasil pengukuran pada prototipe alat saat tegangan inverter 9,0 volt terjadi *error* sebesar 0,33%, pada tegangan inverter 13,9 volt didapatkan *error* 0,75%, dan saat tegangan inverter sebesar 19,5 volt terdapat *error* 0,33%. Perbedaan tersebut diakibatkan pengukuran secara simulasi diperoleh dalam kondisi ideal, sedangkan hasil pengukuran pada alat rancang bangun banyak faktor-faktor yang mempengaruhi hasil pengukuran baik dari akurasi alat ukur, komponen yang digunakan dan lain-lain.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan pada perancangan, pengujian, dan analisa yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Prototipe rancang bangun pembangkit plasma tegangan tinggi AC terdiri dari tiga bagian, yang pertama penyearah gelombang penuh satu fasa dengan CT 12 Volt digunakan sebagai catu daya searah untuk rangkaian kendali inverter, selanjutnya penyearah *switch module power supply* (SMPS) yang dapat di adjust tegangan nya 0-50 volt digunakan sebagai tegangan masukan untuk inverter push-pull. yang kedua adalah rangkaian kendali inverter menggunakan IC TL494 dan driver trafo pulsa digunakan sebagai pemicuan MOSFET pada rangkaian daya inverter push-pull, dan yang ketiga adalah perancangan inverter push-pull. selanjutnya sebagai penaik tegangan tinggi digunakan trafo flyback. Keseluruhan prototipe rancang bangun yang dibuat telah berhasil membangkitkan plasma tegangan tinggi dan bekerja dengan baik sesuai dengan perancangan awal.
2. Pengujian protipe pembangkit plasma tegangan tinggi AC terhadap material karbon limbah cangkang kelapa mampu merubah struktur, warna dari material karbon hingga berhasil memproduksi graphene dengan tegangan teringgi 2,77 kV pada tegangan inverter sebesar 19,5 volt frekuensi 54,82 kHz dengan waktu perlakuan 5 menit dan jarak elektroda 10 mm. Hasil dekomposisi material karbon dalam memproduksi graphene berbanding lurus terhadap lucutan plasma, semakin tinggi tegangan plasma yang diberikan terhadap material karbon maka semakin banyak produksi graphene yang dihasilkan.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. M. Khadifah, “Sintesis Graphene Berbasis Arang Tempurung Kelapa Dengan Metode Hummers Termodifikasi,” *Inst. Teknol. Sepuluh Novemb.*, 2017.
- [2] A. Azmy and D. Susanti, “Pengaruh Variasi Waktu Tahan Hidrotermal terhadap Sifat Kapasitif Superkapasitor Material Graphene,” *Inst. Teknol. Sepuluh November, Surabaya*, vol. 2, no. 1, 2013.
- [3] M. Nur, *Fisika Plasma Dan Aplikasinya*. 2011.
- [4] R. Heryanto, M. Facta, and M. Agus, “Perancangan Inverter Half Bridge Sebagai Catu Daya Tegangan Tinggi Ac Frekuensi Tinggi Beban Kumparan Tesla Dan Dielectric Barrier Discharge Chamber,” *Univ. Diponegoro, Semarang*, vol. 4, no. Universitas Diponegoro, pp. 2–8, 2015.
- [5] S. A. Kurniawan, A. Warsito, and M. Facta, “Perancangan Inverter Pushpull Sebagai Catu Daya Frekuensi Tinggi Untuk Rangkaian Resonansi Kumparan Tesla,” *Univ. Diponegoro, Semarang*, 2014.
- [6] R. Arif, “Perancangan Half Bridge Inverter Untuk Catu Daya Pemanas Induksi Alat Extruder Plastik,” *Univ. Diponegoro, Semarang*, 2010.
- [7] Suwitno, “Mendisain Rangkaian Power Supply pada Rancang Bangun Miniatur Pintu Garasi Otomatis,” *Univ. Riau, Pekanbaru*, vol. 1, no. 1, 2016.
- [8] K. Effendi and S. Wahyu, “Rancang Bangun Sistem Catu Daya dengan Metode Switching Mode Power Supply (SMPS) Berbasis Arduino Untuk Aplikasi