

Perancangan Dan Aplikasi Pembangkit Plasma Tegangan Tinggi AC Menggunakan Dual Flyback Transformator (TFB) Topology Inverter Half Bridge

Muhammad Rafi Epafra¹⁾, 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 : muhammad.rafi3642@student.unri.ac.id

ABSTRACT

The implementations of high voltage electricity in various fields, one of it leads to eco friendly technology known as plasma technology. The use of plasma technology is utilized in the production process of advanced nano-sized materials. Plasma can be generated by the corona discharge method which is generally used as a method of generating plasma supplied with high voltage or also known as high voltage plasma generators. The limitation of high voltage generation becomes a barrier in generating high voltage plasma, because the high voltage generator exist is still in a large scale. So, it needs a high voltage plasma generator in a laboratory-scale. In this research, high voltage plasma generators will be designed using two flyback transformers with half-bridge inverter using MOSFET as switching devices. Switch is controlled by the control circuit IC 4047CD with a frequency of 33 kHz at a duty cycle of 50%. The comparison of coils on the flyback transformer used is 1:75. The resulting plasma will be applied in producing a layer of graphene from coconut shell carbon waste. Plasma is raised with rod electrodes and plate electrodes. The test carried out with variations in inverter h-bridge input voltage.. For Variations in inverter input voltage used are 10, 12.5, 15 and 17,5 V. The test results showed that variations in inverter h-bridge input voltage could affect the amount of plasma produced, and plasma also affects the yield of decomposed carbon materials with high voltage plasma produced 1,40 kV and 2,57 kV at a distance between electrodes 5 mm.

Keywords : Flyback Transformers, Half Bridge, Plasma, Graphene.

I. PENDAHULUAN

Dewasa ini, penerapan listrik tegangan tinggi mulai dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi yang diarahkan pada teknologi ramah lingkungan, yang dikenal dengan penggunaan tegangan tinggi penghasil plasma (teknologi plasma), mulai dari penggunaannya sebagai pembunuh kuman dan bakteri, penjernihan limbah, meningkatkan sifat-sifat permukaan bahan tekstil dengan melakukan perlakuan terhadap permukaan (*surface treatment*), hingga proses plasma mampu memproses material maju yang berukuran nano ^[1].

Salah satu material maju yang berukuran nano pada saat ini yang perlu dikembangkan adalah produksi lapisan *graphene*. Dimana *graphene* merupakan senyawa dua dimensi yang hanya terdiri dari satu lapisan, sedangkan untuk struktur ikatan yang terdapat pada *graphene* sama seperti alotrop karbon yang berbentuk tiga dimensi. Kebanyakan *graphene* skala besar diproduksi dengan pendekatan *top-down*, *exfoliating graphite*, yang sering membutuhkan pelarut dalam jumlah besar dengan pencampuran energi tinggi, pencukuran, *sonication* atau pengolahan secara elektrokimia. ^[2]. Sehingga, diperlukan sebuah teknik *elektroresis* dari produksi *graphene* ini dengan bantuan teknologi plasma yang didapatkan dari sumber tegangan tinggi.

Untuk plasma tegangan tinggi ini dapat dihasilkan dengan berbagai metode, di antaranya melalui lucutan korona tegangan tinggi dengan suatu konfigurasi elektroda-elektroda dalam suatu ruang reaktor plasma. ^[3]

Plasma yang dihasilkan dari lucutan korona tegangan tinggi tergantung dari sumber tegangan tinggi yang diberikanyaitu; Tegangan Tinggi DC, AC dan impuls. Keterbatasan dalam membangkitkan tegangan tinggi menjadi penghalang karena peralatan yang digunakan masih dalam skala besar sehingga kurang effiisen apabila digunakan dalam aplikasi praktis dalam menghasilkan plasma secara *portable*. Untuk menghasilkan tegangan tinggi skala kecil, dapat dilakukan melalui sebuah rangkaian *switching* menggunakan komponen *switctch* berupa transistor berupa MOSFET dan metode dalam membangkitkannya yang dimana tergantung dari jenis tegangan tinggi yang di inginkan. Jika tegangan tinggi yang diinginkan berupa AC maka di perlukan sebuah rangkaian Inverter, kemudian apabila tegangan tinggi DC yang di inginkan diperlukan sebuah rangkaian konverter. Untuk metode yang umum digunakan, yaitu; *flyback* Transformator. Metode TFB memungkinkan dalam menghasilkan tegangan tinggi dengan sederhana, effisien, dan bahan yang dibutuhkan relatif murah dan mudah didapatkan dipasaran ^[4].

II. LANDASAN TEORI

2.1. Pembangkit Tegangan Tinggi

Umumnya Pembangkit tegangan tinggi terdiri dari 3 yaitu;

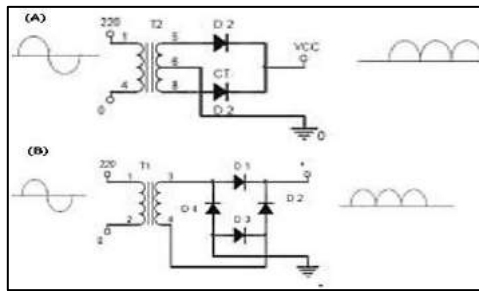
1. Pembangkit Tegangan Tinggi AC
2. Pembangkit Tegangan Tinggi DC
3. Pembangkit Tegangan Tinggi Impulse

2.2. Penyearah Gelombang Penuh

Dalam rangkaian penyearah gelombang penuh 1 Fasa terdiri dari 2 macam rangkaian penyearah, yaitu :

1. Penyearah gelombang penuh dengan CT
2. Penyearah gelombang penuh dengan diode bridge

Adapun Konfigurasinya dari kedua penyearah tersebut dapat di perlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Konfigurasi Penyearah Gelombang penuh^[5]

2.3. Inverter Half-Bridge

Inverter adalah sebuah rangkaian senderhara yang terdiri dari komponen pesaklaran elektronik berupa transistor. Dimana fungsi inverter adalah merubah tegangan dan arus DC menjadi tegangan dan arus AC. Inverter dimanfaatkan dalam alternatif penyedia listrik. Dalam membuat inverter ini ada bermacam-macam topologi yang digunakan, salah satunya inverter dengan topologi setengah jembatan (Half-Bridge). Penggunaan topologi ini sangat sederhana dari pada topologi inverter yang lainnya, selain itu komsumsi daya yang digunakan juga tidak terlalu besar. Karena tegangan keluaran (V_o) yang dihasilkan Setengah dari tegangan masukannya.yang dapat dituliskan dalam persamaan (1):

$$V_{out} = \left(\frac{2}{T_o} \int_0^{T_o/2} \frac{V_s^2}{4} dt \right)^{1/2} = \frac{V_{in}}{2} \quad (1)$$

2.4. IC 4047CD

Untuk membangkitkan gelombang PWM berbentuk persegi dapat dihasilkan dari sebuah IC 4047CD, Penggunaan IC tersebut sangat sederhana karena dapat beroperasi pada mode *astabel* dan *monoastable multivibrator*. Pemicuan periode yang dihasilkan karena adanya fungsi dari komponen RT dan CT eksternal yang terpasang berdasarkan *datasheet* IC 4047, juga dapat ditentukan dengan persamaan (2):

$$f = \frac{1}{4.4 \times RT \times CT} \quad (2)$$

Keterangan :

f	= frekuensi switching (Hz)
RT	= Nilai <i>Timing</i> Resistor (Ω)
CT	= Nilai <i>Timing</i> Kapasitor (F)

2.5. Transformator Flyback

Transformator *Flyback* (TFB) merupakan transformator khusus yang digunakan untuk menghasilkan tegangan tinggi dengan frekuensi yang tinggi, serta memiliki volume dan bobot yang jauh lebih kecil dari pada transformator pada umumnya. TFB ini digunakan dalam pengoperasian perangkat *cathode ray tube* (CRT) – *display* yang terdapat pada televisi dan monitor computer CRT. TFB ini diintegrasikan dengan diode penyearah, pembagi tegangan, capacitor resonansi dan beberapa kumparan tegangan rendah yang semuanya menyatu keseluruhan.

Adapun kinerja dari TFB ini sama halnya dengan transformator biasa. Dimana transformator memiliki fungsi sebagai alat penurun tegangan (*step down*) atau penaik tegangan (*step up*).

Perbandingan lilitan primer dan sekunder menentukan perbandingan tegangan primer dan sekunder. Perbandingan tersebut dapat dituliskan pada persamaan 3.

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p} \quad (3)$$

Keterangan :

N_p	= Jumlah Lilitan Primer
N_s	= Jumlah Lilitan Sekunder
V_p	= Tegangan Primer
V_s	= Tegangan Sekunder
I_p	= Arus Primer
I_s	= Arus Sekunder

2.6. Plasma

Tonks dan Langmuir ditahun 1928 adalah penemu tentang adanya plasma pertama kali. Mereka mengartikan plasma sebagai gas terionisasi didalam lucutan listrik. sehingga plasma dapat didefinisikan juga sebagai pencampuran kuasinetral dari elektron, radikal dan ion-ion positif dan negatif. Percampuran ini memiliki sifat yang sangat berbeda dengan gas pada umumnya dan materi fase ini disebut dengan fase plasma.

2.7. Graphene

Graphene merupakan senyawa dua dimensi yang hanya terdiri dari satu lapisan, sedangkan untuk struktur ikatan yang terdapat pada graphene sama seperti alotrop karbon yang berbentuk tiga dimensi.

Dalam skala besar *graphene* di produksi menggunakan pendekatan top down, *exfoliating graphite* yang memerlukan pelarut dengan jumlah besar, pencampuran energy tinggi, dan perlakuan elektrokimia. Untuk mempermudah menghasilkan *graphene* dapat dilakukan dengan pemanasan cepat yang disebut dengan *flash graphene*. Berikut ini produksi *graphene* menggunakan teknik *flash grapehe* yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Produksi Graphene Menggunakan Teknik Flash Graphene (FG)^[2]

2.8. Mean absolute Percentage Error (MAPE)

Validasi keandalan suatu proses dapat dilakukan menggunakan MAPE (Mean Absolute Percentage Error). Nilai MAPE dapat ditentukan dengan penjumlahan dari suatu kesalahan absolut dari beberapa periode dibagi dengan nilai observasi yang sebenarnya. Adapun rata-rata kesalahan absolut tadi dibagi dengan jumlah data yang diobservasi seperti yang ditunjukkan pada persamaan 1 dibawah ini

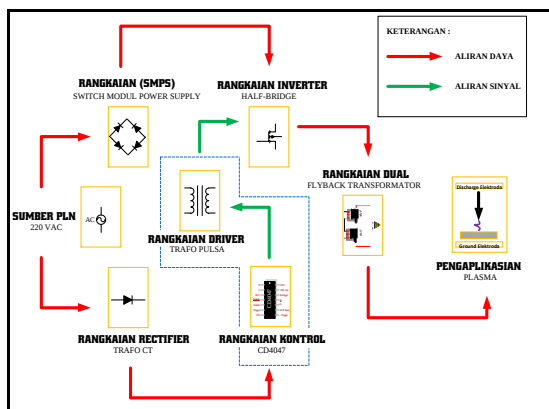
$$MAPE = \frac{\sum \frac{|y_i - y'_i|}{y_i}}{n} \times 100\% \quad (4)$$

Hasil perhitungan MAPE dapat digunakan untuk menentukan baik atau tidak suatu prediksi yang dilakukan. Prediksi dikatakan sangat baik apabila nilai MAPE yang dihasilkan di bawah 10% dan dikatakan baik jika memiliki nilai MAPE dibawah 20%.

III. METODE PENELITIAN

3.1. Blok Diagram

Tahapan awal dalam melakukan perancangan adalah penentuan komponen sebagai dasar perancangan prototipe, adapun komponen yang dirancang meliputi rangkaian daya suplai DC, Kontrol IC 4047CD dan Driver, Inverter *half-bridge*, dan dual *flyback transformer*. Berikut Blok diagram sistem keseluruhan yang diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Blok Diagram Sistem

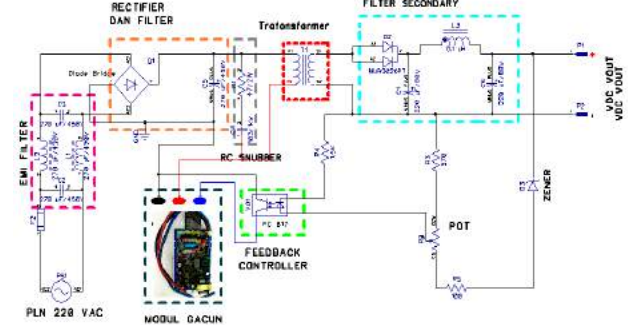
3.2. Perancangan Rangkaian Daya Suplai Direct Current (DC)

Perancangan rangkaian daya yang terdiri dari beberapa rangkaian yaitu; rangkaian SMPS (*Switch Module Power Supply*) menggunakan trafo inti ferrite dan Rangkaian

penyearah gelombang penuh menggunakan trafo CT (*Center Tap*).

3.2.1. Rangkaian SMPS (Switch Module Power Supply)

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[6]. Catu daya SMPS bersumber dari tegangan bolak-balik PLN 220 volt 50 Hz. Berikut Gambar 4 adalah rangkaian perancangan SMPS beserta komponen yang digunakan.



Gambar 4. Rangkaian Perancangan SMPS

Spesifikasi dari SMPS yang dirancang ini dapat ditentukan pada Tabel 1

Tabel 1. Spesifikasi Perancangan SMPS

Parameter	Nilai
Tegangan Input AC	220 V/50 Hz
Tegangan Ouput DC (Vmax)	50 V
Arus Output	7 A
Frekuensi Switching	22 KHz
Daya Output	350 VA

Dari spesifikasi diatas selanjutnya dapat ditentukan komponen-komponen yang akan digunakan yang diperlihatkan pada Tabel 2.

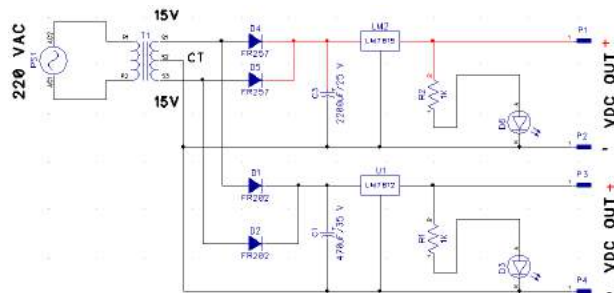
Tabel 2. Komponen SMPS

Komponen	Keterangan
Trafo Switching	Ferrite EE42
Dioda	MUR3020PT D25SB80
MOSFET	IRF460
Module Gacun	Pembangkit PWM dan Frekuensi Switching
Kapasitor	440 uF
Induktor	8,1uH
Potensiometer	50 K

3.2.2. Perancangan Penyearah Gelombang Penuh 1 Fasa Trafo CT

Dalam merancang rangkaian penyearah gelombang penuh ini diperlukan sebuah transformator CT (Center Tap) untuk menurunkan tegangan 220 VAC yang bersumber dari listrik PLN sebagai catu daya arus bolak-balik menjadi 15 VAC yang kemudian disearahkan melalui rangkaian penyearah satu fasa gelombang penuh menjadi 15 VDC dan

melalui IC LM7815. Selain itu penyearah ini juga dirancang menghasilkan tegangan keluaran 12 VDC melalui tegangan keluaran penyearah 15 VDC yang kemudian akan digunakan IC LM7812 untuk menstabilkan tegangan VDC tersebut. Tegangan 12 Vdc digunakan sebagai masukan untuk rangkaian kontrol IC CD4047. Kapasitas penyearah yang dirancang sebesar 35 VA pada beban maksimum. Berikut ini rancangan Penyearah yang diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Rancangan Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh Trafo CT

Adapun komponen penyusun dari rangkaian penyearah gelombang penuh trafo CT ini dapat di perlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Komponen Penyearah Gelombang Penuh 1 Fasa Trafo CT

Komponen	Keterangan
Trafo CT	Kapasitas 60 VA
Dioda	FR257 3A/50 V FR202 2A/50V
Kapasitor filter	2200 uF/25 V 470uF/35 V
LM7815	Regulator Tegangan 15 V
LM7812	Regulator Tegangan 12 V
LED	Indikator

3.3. Perancangan Rangkain Kontrol IC 4047CD dan Driver

Pada perancangan ini, inverter dioperasikan pada frekuensi 33 KHz. Untuk mendapatkan frekuensi ini dapat di tentukan dengan menggunakan persamaan (2).

$$t = 4,40 \times RT \times CT$$

$$f = \frac{1}{4,40 \times RT \times CT}$$

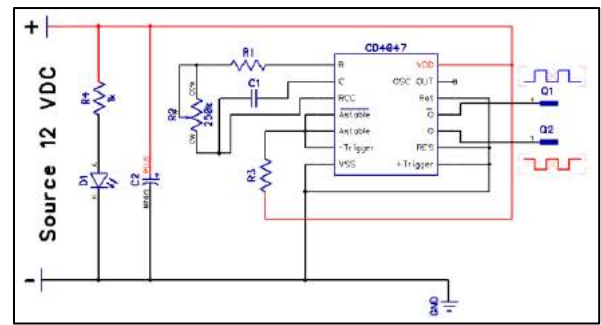
Adapun kapasitor yang digunakan sebesar 1 nF sehingga nilai resistor yang harus digunakan untuk frekuensi 33 KHz, adalah :

$$RT = \frac{1}{4,40 \times 33 \times 10^3 \times 10^{-9}} = 6887,05 \Omega$$

Kemudian dengan menyesuaikan ketersediaan komponen yang ada dipasaran maka dipilih :

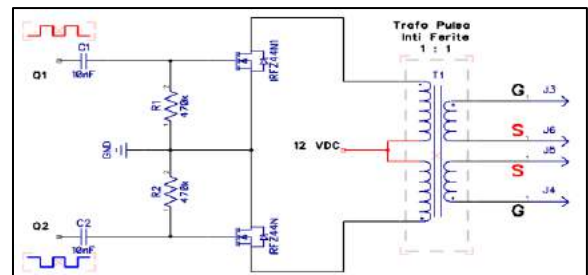
$$CT = 1nF ; RT = 7K \Omega$$

Berikut adalah rancangan rangkaian kontrol IC 4047CD yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Rancangan Rangkaian Kontrol IC 4047CD

Selanjutnya untuk menguatkan gelombang PWM hasil keluaran dari rangkaian kontrol IC 4047 di gunakan sebuah rangkaian driver dan trafo isolasi, yang juga berfungsi sebagai pengaman pada MOSFET rangkaian inverter *half-Bridge*. Rangkaian driver dirancang meggunakan MOSFET IRFZ44N dengan topology *push-pull*. Kemudian terdapat nilai R dan C *coupling* yang digunakan sebesar 10 nF dan 470 kΩ . Berikut rancangan rangkaian driver dan trafo isolasi yang diperlihatkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Rancangan Rangkaian Driver dan Trafo Isolasi

3.4. Perancangan Rangkaian Inverter Half-Bridge

Rangkaian inverter *half-bridge* pada rancangan ini terdiri 2 buah MOSFET dan 2 buah kapasitor. Pemilihan MOSFET yang digunakan dapat ditentukan berdasarkan besar tegangan masukan Vdc pada inverter. Kemudian arus yang mampu di catu oleh inverter. Karena pada rancangan tegangan masukan Vdc inverter adalah 0-35 Vdc, maka tegangan inilah yang mampu di catu oleh MOSFET, Inverter dirancang pada penelitian ini bekerja dengan daya maksimal 300 W.

Maka resistansi beban minimal dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 5 berikut.

$$R = \frac{V^2}{P_o} \quad (5)$$

$$R = \frac{(\sqrt{2} \times 1500)^2}{300}$$

$$R = \frac{4500000}{300} = 15k \Omega$$

Selanjutnya, besarnya arus maksimal yang mengalir pada sisi sekunder trafo dual flyback yang digunakan, yaitu :

$$I_m = \frac{V_m}{R} = \frac{\sqrt{2} \times 1500}{15000}$$

$$I_m = \frac{2121,32}{15000} = 0,141 \text{ A}$$

Kemudian, arus yang mengalir di MOSFET dan juga Sisi primer dual flyback transformator dapat ditentukan dengan persamaan .

$$I_{primer} = I_m \times \frac{N_s}{N_p}$$

$$I_{primer} = 0,141 \times \frac{75}{1}$$

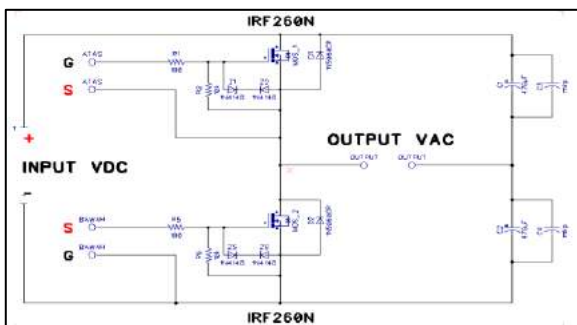
$$I_{primer} = 10,60 \text{ A}$$

Berdasarkan ketentuan diatas maka MOSFET yang digunakan dalam perancangan inverter ini, yaitu : MOSFET IRF260N dengan Spesifikasi Sebagai berikut :

- Drain-source breakdown voltage : 500 V
- Gate-source breakdown voltage : $\pm 20 \text{ V}$
- Gate-threshold voltage : 4 V
- Drain current : 20 A
- Drain source ON resistance RDS (ON) : 0,27 Ω @10 V

Arus diatas hanya digunakan dalam perhitungan perancangan, dikarenakan arus yang sebenarnya tergantung dari pada beban dan bahan yang akan di panaskan. Arus maksimal yang mengalir pada perancangan inverter ini sebesar 10,60 A. Agar loncatan arus tidak terlalu tinggi maka rangkaian dilengkapi dengan sebuah dioda freewheeling dengan jenis dioda 1N4148, sebagai pengaman untuk MOSFET

Berikut rancangan dari rangkaian inverter yang diperlihatkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Rancangan Inverter Half-Bridge

3.5. Perancangan Dual Flyback Transformator

Dalam rancangan ini transformator flyback yang digunakan adalah jenis trafo flyback TV yang sudah ada di pasaran yang memiliki inti ferrite. Dengan merk Hitachi CPT 2065 Transformer (243-2651) 29 Inch. Perbandingan lilitan yang digunakan adalah 1 : 75.

Karena tegangan kerja minimum yang digunakan pada perancangan ini adalah keluaran dari inverter h-bridge 10 Vac dengan masukan tegangan Vdc sebesar 20 volt. maka,

tegangan yang dihasilkan pada perancangan dual flyback transformator ini dapat digunakan persamaan 3 berikut.

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

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

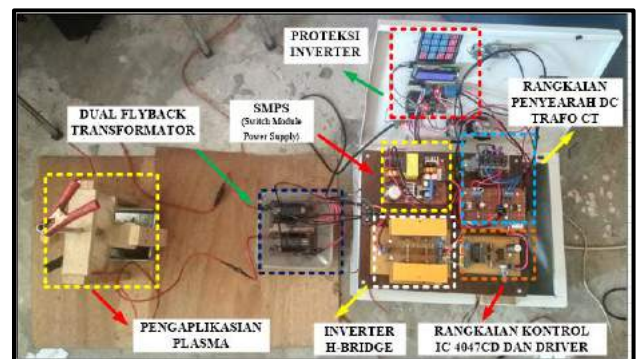
$$V_s = \frac{10 \times 75}{1} = 750 \text{ Volt}$$

Tegangan diatas untuk keluaran 1 buah flyback pada sisi sekunder. Karena flyback yang digunakan terdiri dari 2 buah flyback yang di hubungkan secara seri. Maka, tegangan keluaran didapatkan menjadi 2 kali tegangan dari 1 buah trafo flyback TV dengan melakukan perkalian $2 \times V_{rms}$ (Trafo flyback 1) = $2 \times 750 = 1500 \text{ Volt}$. Sehingga, $V_{max} = \sqrt{2} \times 1500 = 2121,32 \text{ Volt}$ atau 2,121 kV.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Rancang Bangun Sistem

Berikut ini adalah tampak fisik hasil dari rancang bangun sistem pembangkit plasma tegangan tinggi AC menggunakan dual flyback transformator yang diperlihatkan pada Gambar 9



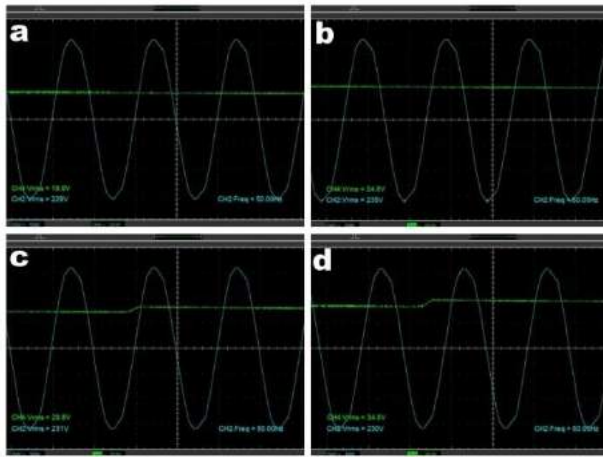
Gambar 9. Implementasi Seluruh Rangkaian Sistem

Dari Gambar 9 diatas selanjutnya dilakukan pengujian yaitu; pengujian Penyearah DC trafo CT, Rangkaian kontrol dan driver, keluaran inverter, serta plasma tegangan tinggi AC yang dihasilkan dalam proses produksi nano material berupa lapisan graphene yang diukur menggunakan alat ukur oscilloscope digital Hantek 6074BC dan Multimeter.

4.2. Pengujian Rangkaian Daya Suplai DC

4.2.1 Pengujian Rangkaian SMPS (Switch Module Power Supply)

Bentuk keluaran hasil pengujian tegangan output rangkaian SMPS dapat dilihat pada Gambar 10

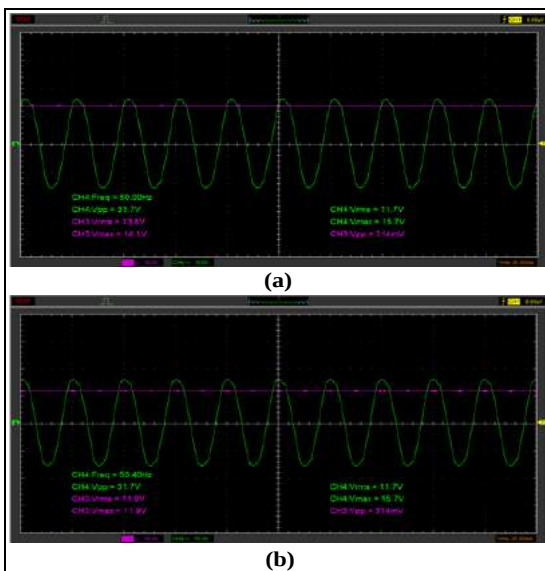


Gambar 10. Gelombang Tegangan Output SMPS

Pada Gambar 10 (a-d) diatas merupakan tegangan keluaran SMPS yang terukur sebesar 19,9 Volt (Gambar-a), 24,8 Volt (Gambar-b), 29,8 Volt (Gambar-c) dan 34,8 Volt (Gambar-d). yang ditunjukkan pada gelombang warna hijau. Sementara itu gelombang warna biru merupakan tegangan masukan PLN yang terukur Sebesar 229V/50 Hz. Karena SMPS dirancang agar tegangan dapat di *adjust* 0-35 Volt, dari hasil pengujian ini membuktikan bahwa SMPS telah bekerja sesuai dengan perancangan awal dan dapat digunakan sebagai tegangan searah masukan untuk inverter *Half-Bridge*.

4.2.2 Pengujian Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh 1 Fasa Trafo CT

Bentuk gelombang keluaran hasil Pengujian pada output Penyearah Gelombang Penuh dapat dilihat pada Gambar 11



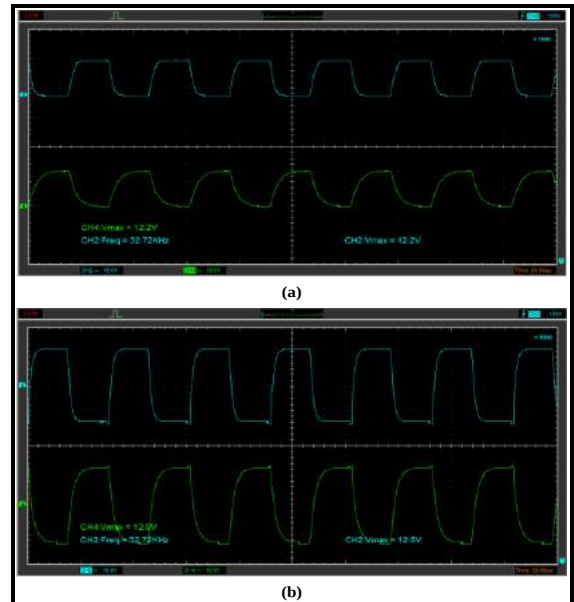
Gambar 11. Gelombang Keluaran Rangkaian Kontrol (a) dan Driver trafo Isolasi (b)

Pengujian pada gambar diatas dilakukan menggunakan alat ukur *oscilloscope* digital merk Hantex 6074BC yang diukur pada skala 1V/div dengan pengkali 10. Maka besar amplitudo maksimum untuk Gambar 9(a) adalah $1,41 \times 1 \text{ V/div} \times 10 = 14,1 \text{ V}$. Kemudian untuk amplitudo maksimum

untuk Gambar 9.(b) terukur sebesar $1,19 \times 1 \text{ V/div} \times 10 = 11,9 \text{ V}$. Tegangan yang didapatkan sudah sesuai dengan rancangan awal. Drop tegangan terjadi pada penyearah DC 15 V yang disebabkan karena beban dan akurasi dari alat ukur yang di gunakan. Dimana tegangan penyearah DC 11,9 V ini sudah dapat digunakan sebagai tegangan masukan pada rangkaian kontrol IC 4047CD.

4.3. Pengujian Rangkaian Kontrol IC CD4047 dan Driver

Bentuk gelombang keluaran hasil Pengujian pada Rangkaian kontrol dan Driver yang dilihat pada Gambar 12



Gambar 12. Gelombang Keluaran Rangkaian Kontrol (a) dan Driver Trafo Isolasi (b)

Pengujian pada gambar diatas dilakukan menggunakan alat ukur *oscilloscope* digital merk Hantex 6074BC yang diukur pada skala 1V/div dengan pengkali 10. Sehingga besar tegangan dan frekuensi dapat dihitung sebagai berikut :

$$T = 1,5 \times 20 \mu\text{s} / \text{div} = 30 \mu\text{s}$$

$$f = \frac{1}{30 \mu\text{s}} = 32,72 \text{ kHz}$$

$$V_{pp} = 2,44 \times 1 \text{ V} / \text{div} \times 10 = 24,4 \text{ V}$$

$$V_m = \frac{V_{pp}}{2} = \frac{24,4}{2} = 12,2 \text{ V}$$

MOSFET IRF260N memiliki tegangan pemicuan V_{gs} maksimal $\pm 20 \text{ Volt}$ sehingga tegangan keluaran driver dan trafo pulsa ini sudah cukup aman dan sesuai dalam memicu MOSFET pada rangkaian inverter *h-bridge*.

4.4. Pengujian Rangkaian Inverter *Half-Bridge*

Bentuk gelombang keluaran hasil Pengujian Tegangan inverter *half-bridge* yang dilihat pada Gambar 13



Gambar 13. Gelombang Tegangan Keluaran Inverter Half-Bridge

Pengujian pada gambar diatas dilakukan menggunakan alat ukur *oscilloscope* digital merk Hantex 6074BC yang diukur pada skala 1V/div dengan pengkali 10. Maka tegangan yang terukur adalah sebesar :

$$V_{pp} = 2,42 \times 1V / \text{div} \times 10 = 24,2V$$

$$V_m = \frac{V_{pp}}{2} = \frac{24,2}{2} = 12,2V$$

$$V_{rms} = \frac{12,2}{\sqrt{2}} = 10,1V$$

Karena tegangan keluaran inverter *half-bridge* adalah setengah dari tegangan masukan. Maka dapat ditentukan tegangan secara perhitungan menggunakan persamaan (1).

$$V_{in} = 20 \text{ VDC}$$

$$V_o = \frac{V_s}{2}$$

$$V_o = \frac{20}{2} = 10V$$

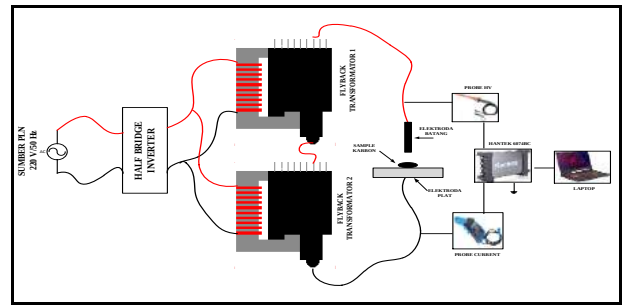
Tegangan keluaran ini digunakan untuk masukan trafo flyback. Berikut Tabel 4 keluaran inverter ketika tegangan masukan dari SMPS 25 V, 30 V dan 35 V DC.

Tabel 4. Tegangan Ouput Inverter *Half-Bridge*

Vin (Vdc)	Vout (Vac)
25	12,3
30	14,8
35	17,3

4.5. Pengujian Plasma Tegangan Tinggi terhadap Material Karbon dalam Produksi Lapisan Graphene

Pada pegujian plasma tegangan tinggi terhadap material karbon dalam produksi lapisan *graphene* akan dilakukan dalam variasi tegangan masukdan inverter *h-bridge*. Berikut skematik pengujian plasma tegangan tinggi terhadap material karbon cangkang kelapa yang ditunjukan pada Gambar 14

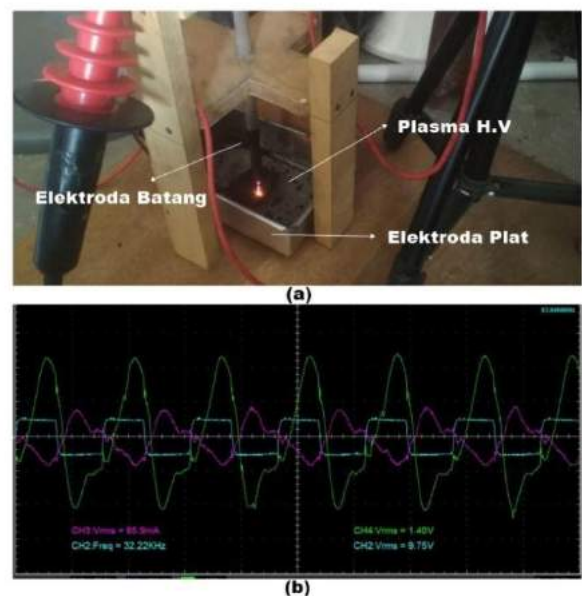


Gambar 14. Skematik Pengujian Plasma Tegangan Tinggi Terhadap Material Karbon

Pada pengujian ini, Pengukuran arus dan tegangan dilakukan dengan bantuan *oscilloscope* digital yang terhubung ke laptop yang sebelumnya sudah terinstal di laptop tersebut software *oscilloscope* hantex 6074BC. Alat ukur untuk mengukur arus yaitu probe arus hantex CC65 dan alat ukut untuk mengukur tegangan yaitu probe tegangan tinggi dan juga berfungsi sebagai pengali tegangan yang terbaca pada *oscilloscope* dengan perbandingan 1:1000.

4.5.1 Pengujian Plasma Tegangan Tinggi dengan Variasi Tegangan Masukan Inverter terhadap Material Karbon

Bentuk plasma dan gelombang keluaran hasil Pengujian pada plasma tegangan tinggi dengan variasi tegangan masukan inverter *h-bridge* dapat dilihat pada Gambar 15



Gambar 15. Bentuk Plasma (a) dan Gelombang Keluaran Tegangan dan Arus pada Tegangan input inverter 10 Vac 33 kHz(b)

Pengujian arus dan tegangan dilakukan menggunakan bantuan pc-*oscilloscope* hantex tipe 6074BC yang sudah terhubung ke laptop dan alat ukur. *Oscilloscope* diatur volt/div nya sebesar 1 volt/div dengan faktor pengali pada probe tegangan sebesar 1000 kali, yang artinya nilai volt/div nya menjadi 1000 volt/div atau 1 kV/div. Sedangkan pengaturan pada *oscilloscope* untuk Pengujian arus diposisikan pada 100 mA/div atau 0,1 A/div. Pengujian pada

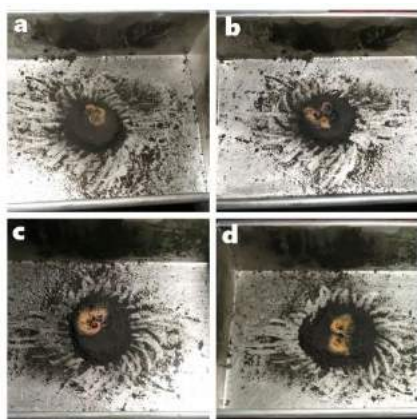
Gambar 15 didapatkan besarnya tegangan maksimum sebesar 1,97 kV dengan $V_{rms} = 1,40$ kV, dan puncak gelombang arus maksimum yang muncul di pc-oscilloscope hantek sebesar 13,56 mA dengan $I_{rms} = 9,59$ mA.

Untuk data hasil pengujian plasma tegangan tinggi terhadap material karbon dengan variasi tegangan masukan inverter *h-bridge* dapat diperlihatkan pada Tabel 5

Tabel 5. Hasil pengujian plasma tegangan tinggi terhadap material karbon dengan variasi tegangan masukan inverter *h-bridge*.

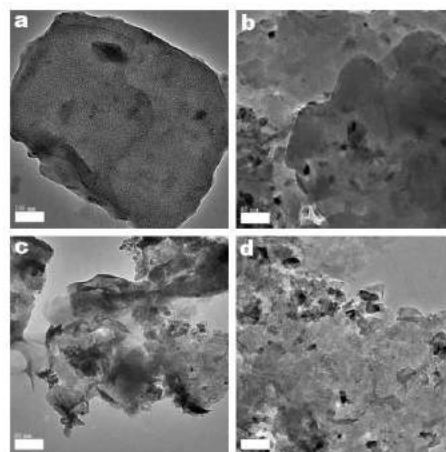
V_{rms} (V)	H.V (kV)	I (mA)	Material Karbon Setelah Terdekomposisi		Hasil Pengamatan Plasma
			Warna	Tekstur	
10	1,40	9,59	Coklat	Kasar	Plasma lemah, Kerap mengalami <i>spark</i>
12,5	1,72	13,3	Coklat-Kuning	Kasar	Plasma Kuat Menyebar
15	2,15	16,0	Kuning	Kasar-Kristal	Plasma Kuat Menyebar
17,5	2,57	18,9	Kuning	Kasar-Kristal	Plasma Kuat Menyebar

Adapun hasil keseluruhan pengujian dari terpaan plasma tegangan tinggi yang dihasilkan dengan variasi tegangan masukan inverter *h-bridge* dapat ditunjukkan pada Gambar 16



Gambar 16. Hasil Pengujian Terpaan Plasma Tegangan Tinggi Variasi Tegangan Masukan Inverter *h-bridge* (a) 10 Vac, gap 5 mm, time 5 menit, (b) 12,5 Vac, gap 5 mm, time 5 menit, (c) 15 Vac, gap 5 mm, time 5 menit, (d) 17,5 Vac, gap 5 mm, time 5 menit

Dari hasil pengujian tersebut dilanjutkan dengan pengujian menggunakan alat uji TEM (*Transmission Electron Microscope*), yang diperlihatkan pada Gambar 17



Gambar 17. Hasil Uji TEM Terhadap Material Karbon pada Variasi Tegangan Masukan inverter *h-bridge*

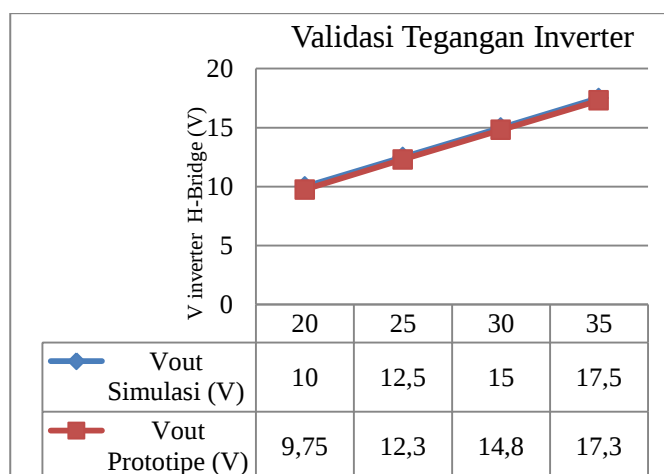
Berdasarkan Gambar 17 diatas hasil Uji TEM (a) dan (b) menunjukkan bahwa terpaan plasma tegangan tinggi dengan melakukan variasi tegangan dengan jarak elektroda 5 mm pada waktu perlakuan 5 menit dapat merubah bentuk morfologi dari material karbon. Pada Gambar 17 bagian (a) merupakan hasil uji TEM pada tegangan inverter *h-bridge* 10 Vac, mampu mengikis permukaan material karbon warna dasar hitam menjadi warna coklat-kuning, sehingga menghasilkan lapisan *graphene* nano-size dengan ukuran 100 nm, kemudian apabila tegangan dinaikan 17.5 Vac bagian (d) menghasilkan perubahan warna material karbon berwarna kuning lebih banyak, dengan lapisan *graphene* nano-size dihasilkan sebesar 50 nm.

4.6. Validasi Hasil Pengujian Menggunakan Software PSIM 9.1

validasi ini tegangan keluaran inverter dilakukan pada kondisi inverter dihubungkan pada *flyback* transformator dengan membandingkan hasil tegangan keluaran inverter *h-bridge* secara simulasi terhadap hasil keluaran prototipe secara langsung.

Berikut ini adalah kurva validasi antara tegangan yang diperoleh dari simulasi dengan hasil yang diperoleh melalui prototipe yang diperlihatkan pada

Gambar 18

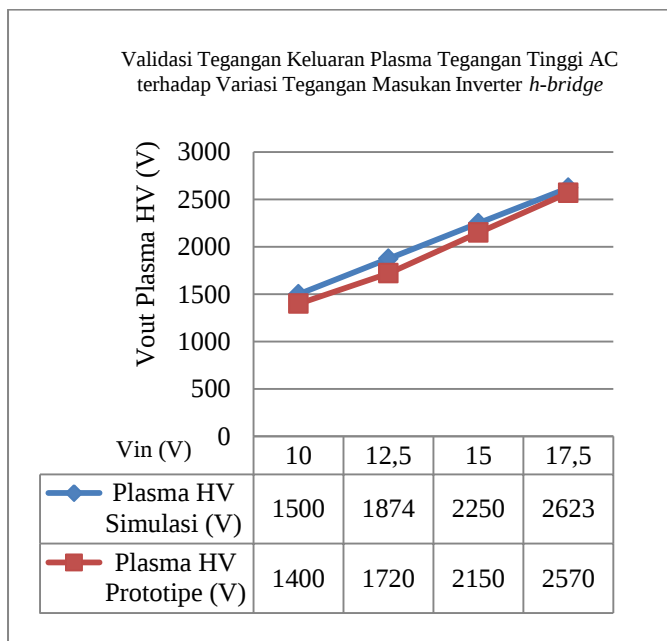


Gambar 18. Kurva Validasi Frekuensi Keluaran Inverter

Berdasarkan kurva pada

Gambar 18 terlihat bahwa tegangan keluaran inverter *h-bridge* antara simulasi dan prototipe memiliki hasil tegangan keluaran yang hampir sama dengan sedikit *error* yang didapatkan sebesar 2,5% pada tegangan inverter 10 V. *Error* tersebut didapatkan pada hasil pengukuran prototipe yang dipengaruhi oleh beberapa faktor-faktor terutama pada saklar MOSFET *h-bridge*, dan juga komponen dari penyusun inverter *h-bridge*, serta faktor lain yang mempengaruhi tegangan keluaran inverter *h-bridge* tersebut.

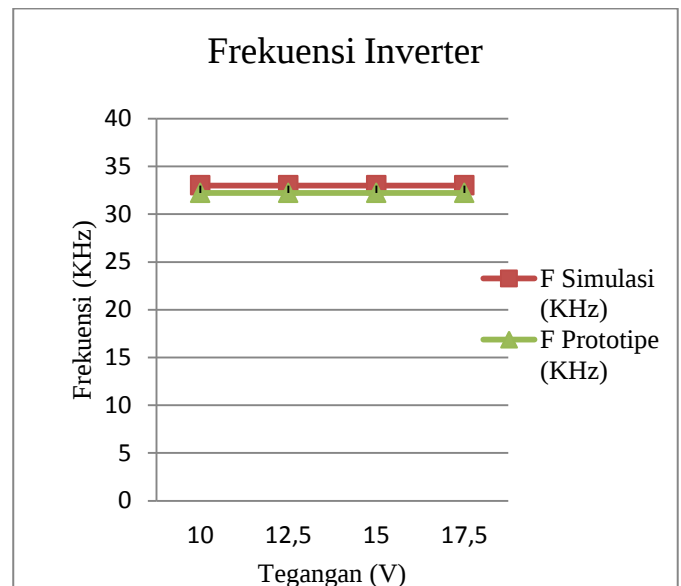
Selanjutnya dilakukan validasi tegangan keluaran plasma tegangan tinggi AC terhadap tegangan masukan inverter *h-bridge* dilakukan pada saat pengujian menggunakan beban material karbon limbah cangkang kelapa, validasi dilakukan untuk membandingkan hasil tegangan keluaran secara simulasi dengan prototipe yang dibuat. Berikut adalah kurva validasi antara tegangan keluaran plasma tegangan tinggi AC terhadap tegangan masukan inverter secara simulasi dengan hasil yang didapatkan melalui pengukuran pada prototipe yang dibuat, yang diperlihatkan pada Gambar 19



Gambar 19. Kurva Validasi Vout HV (kV) pada simulasi dan prototipe

Berdasarkan Gambar 19. Kurva Validasi Vout HV (kV) pada simulasi dan prototipe diatas diperlihatkan bahwa perbandingan tegangan keluaran plasma tegangan tinggi terhadap tegangan masukan inverter *h-bridge* menghasilkan tegangan yang berbeda antara simulasi dan pengukuran prototipe sehingga menghasilkan *error*. *Error* yang di dapatkan diakibatkan hasil simulasi dilakukan pada kondisi ideal tanpa memperhatikan faktor-faktor seperti tekanan atmosfer sekitar dan jarak elektroda. Sementara hasil pengukuran pada prototipe terdapat banyak faktor-faktor yang mempengaruhi tegangan keluaran plasma tegangan tinggi AC terutama pada transformator *flyback* yang digunakan, tekan atmosfer sekitar pada saat pengujian, drop tegangan yang terjadi, tegangan lucutan dari plasma tegangan tinggi yang tidak stabil dan banyak faktor lain yang mempengaruhi hasil pengukuran dari prototipe yang dibuat.

Validasi selanjutnya dilakukan pada frekuensi *switching* pada prototype alat yang dirancang. Dimana pembangkit plasma tegangan tinggi AC dirancang mampu bekerja pada frekuensi *switching* 33 kHz. Berikut ini kurva perbandingan frekuensi antara prototipe dan simulasi yang di tunjukkan pada Gambar 20



Gambar 20. Kurva Validasi Frekuensi Simulasi dan Prototipe

Berdasarkan kurva pada Gambar 20. Kurva Validasi Frekuensi Simulasi dan Prototipe menunjukkan kurva perbedaan hasil pengukuran pada prototipe dengan hasil simulasi, dimana dengan adanya variasi tegangan masukan inverter *h-bridge* yang di dapatkan perbandingan frekuensi simulasi sebesar 33 KHz dengan frekuensi pada prototipe terukur sebesar 32,22 KHz sehingga perbandingan frekuensi inverter antara simulasi dan prototipe didapatkan dengan *error* sebesar 2,36 %. Perbedaan tersebut di pengaruhi karena faktor-faktor seperti akurasi dari alat ukur dan juga komponen yang digunakan pada prototipe inverter *half-bridge* yang telah dibuat.

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 *Half-Bridge*. Kemudian rangkaian kendali inverter menggunakan IC 4047CD dan driver trafo pulsa digunakan sebagai pemicuan MOSFET pada rangkaian daya inverter *Half-Bridge*, dan yang ketiga adalah perancangan inverter *Half-Bridge*. 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. Berdasarkan pengujian variasi tegangan masukan inverter *h-bridge* terhadap tegangan keluaran plasma tegangan tinggi mampu merubah warna dan struktur dari material karbon dalam produksi *graphene* dengan tegangan tinggi plasma terbesar V_{rms} 2,57 kV pada tegangan masukan 17.5 Vac frekuensi tinggi 32,38 kHz dan jarak antar elektroda 5 mm. Sehingga dengan semakin besarnya tegangan masukan inverter *h-bridge* yang diberikan maka akan menghasilkan tegangan keluaran plasma tegangan tinggi yang semakin besar yang kemudian dapat memengaruhi banyaknya karbon yang terdekomposisi menjadi lapisan *graphene* dengan satuan nm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Sjaifudin and Sitohang, "An Engineering Of Plasma Machine Prototype At Laboratory Scalfor Textile Based On Atmospheric Corona Discharge," *Arena Tekst.*, vol. 30, no. 1, pp. 25–36, 2015.
- [2] D. X. Luong and K. V Bets, "Gram-scale bottom-up flash graphene synthesis," *Nature*, pp. 1–5, 2019.
- [3] G. Susilowati, "Perbandingan Konfigurasi Geometri Elektroda pada Reaktor Plasma Lucutan Korona Tegangan Tinggi Impuls dan Aplikasinya sebagai Pengolah Limbah Cair," *Jur. Tek. Elektro, Fak. Tek. Univ. Diponegoro*, 2011.
- [4] Y. D. Prabowo, "Rancang Bangun Sumber Tegangan Tinggi (High Volatge) 20 kV dengan Teknik PULSE WIDTH MODULATION (PWM) Berbasis Arduino untuk Aplikasi Mesin Pemintal Serat Nano," Universitas Lampung, 2019.
- [5] Suwitno, "Mendisain Rangkaian Power Supply pada Rancang Bangun Pintu Garasi Otomatis," *J. Electr. Technol.*, vol. 1, no. 1, p. 44, 2016.
- [6] K. Effendi and S. Wahyu, "Rancang Bangun Sistem Catu Daya dengan Metode Switching Mode Power Supply (SMPS) Berbasis Arduino Untuk Aplikasi Electrospinner," *J. Teor. dan Apl. Fis.*, vol. 08, no. 01, p. 27, 2020.