

PERANCANGAN PEMBANGKIT TEGANGAN TINGGI IMPULS BERBASIS KONVERTER FLYBACK

Johanes Nugroho Adhi Prakosa^{*)}, Mochammad Facta, and Munawar Agus Riyadi

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

^{*)}Email : adhiprakosa14@gmail.com

Abstrak

Salah satu bentuk fenomena tegangan tinggi adalah gelombang tegangan tinggi berbentuk impuls. Gelombang impuls tegangan tinggi ini secara teoritik dapat digunakan untuk mekanisme terjadinya *surface discharge*. *Surface discharge* adalah fenomena peluahan muatan pada permukaan isolasi padat. Dengan berkembangnya teknologi elektronika daya, tegangan tinggi impuls dapat dibangkitkan. Penggunaan rangkaian *flyback* dan MOSFET dapat menggantikan rangkaian pembangkit tegangan tinggi impuls konvensional yang dibuat dari trafo dan sela bola sehingga memiliki volume dan berat. Dalam penelitian ini dirancang konverter *flyback* yang mampu menghasilkan tegangan tinggi impuls. Konverter *flyback* dipicu oleh IC TL494. Frekuensi osilasi dari IC TL494 mampu mempengaruhi hasil tegangan keluaran konverter *flyback*. Tegangan suplai konverter *flyback* adalah 16 V, 24 V, 34 V dan 43 V. Frekuensi osilasi yang digunakan yaitu 1 kHz, 2 kHz, 3 kHz, 4 kHz, dan 5 kHz. Sebagai beban konverter *flyback* dibuat dua buah plat ozon berbentuk “meander” dan “sisir” yang akan menghasilkan *surface discharge* khususnya. Ketika diberi beban plat ozon bentuk “meander”, diperoleh tegangan keluaran minimal dan maksimal konverter *flyback* sebesar 6,98 kV dan 19,50 kV. Sedangkan untuk plat ozon bentuk “sisir” diperoleh tegangan keluaran minimal dan maksimal konverter *flyback* sebesar 9,00 kV dan 24,92 kV.

Kata Kunci : Frekuensi osilasi, *flyback*, tegangan tinggi impuls, *surface discharge*

Abstract

One of high voltage phenomenon is high voltage impulse waveform. High voltage impulse used for surface discharge mechanism. Surface discharge is a discharge phenomenon on the surface of solid insulation. With the development of power electronic technology, high voltage impulse could be generated. Flyback circuit and MOSFET could replaced conventional high voltage impulse generator which created from transformer and air gap. In this project, flyback converter, will be designed. Flyback converter was driven by IC TL494. IC TL494 oscillation frequency could affected the result of converter output voltage. Supply voltage for flyback converter was 16 V, 24 V, 34 V and 43 V. This project used 1 kHz, 2kHz, 3 kHz,4 kHz, and 5 kHz as oscillation frequency. For flyback converter load, two ozone plates, “meander” and “comb”, were created. They generated surface discharge. When flyback converter was loaded by “meander” ozone plate, it generated 6,98 kV for minimum value and 19,50 kV for the maximum value. When flyback converter was loaded by “comb” ozone plate, it generated 9,00 kV for minimum value and 24,92 kV for the maximum value.

Keywords : Oscillation frequency, *flyback*, high voltage impulse, *surface discharge*

1. Pendahuluan

Pemakaian tegangan tinggi pada saat ini semakin luas. Selain digunakan untuk transmisi tenaga listrik, tetapi kini juga diaplikasikan pada penelitian di laboratorium. Pada umumnya tegangan tinggi dibangkitkan dengan menggunakan rangkaian berukuran besar^[1,2]. Untuk itu diperlukan rangkaian yang lebih sederhana untuk membangkitkan tegangan tinggi tersebut, misalnya dengan menggunakan konverter *flyback*^[3].

Agar dapat membangkitkan tegangan tinggi impuls melalui konverter *flyback* diperlukan dua komponen utama yaitu trafo *step up* tegangan tinggi dan transistor *switching*. Transistor *switching* sendiri akan dipicu oleh osilator pulsa seperti TL494 atau NE555^[3, 4, 5, 6]. Setelah itu akan terjadi proses *switching* tegangan masukan DC. Tegangan masukan DC dalam orde Volt tersebut akan ditransformasikan oleh trafo *step up* tegangan tinggi sehingga menjadi tegangan tinggi dalam orde kilovolt^[6].

Tegangan keluaran konverter *flyback* dapat diaplikasikan pada reaktor ozon untuk menghasilkan ozon. Ozon dapat diperoleh melalui fenomena *discharge*. *Volume discharge* dan *surface discharge* merupakan dua jenis *discharge* yang diketahui. *Volume discharge* terjadi ketika elektron dari elektroda tegangan tinggi akan berusaha menembus sela udara antara elektroda tegangan tinggi dan *ground*. *Surface discharge* merupakan peluahan muatan elektron yang terjadi pada permukaan suatu bahan dielektrik yang diapit oleh 2 elektroda [8].

Kedua jenis *Discharge* akan terjadi dengan bantuan reaktor ozon. Jarum, bola dan plat adalah bentuk reaktor ozon yang sering digunakan. Reaktor biasanya akan dikombinasi satu dengan yang lain.

Oleh karena masih minimnya penelitian *surface discharge* maka pada penelitian ini akan mencoba membahas *surface discharge* sebagai pemicu terbentuknya ozon. Sebagai pembangkit tegangan tinggi impuls digunakan konverter *flyback* dengan picuan dari IC TL494. IC TL494 dipilih karena frekuensi osilasi dan *duty cycle*-nya dapat diatur. Plat ozon dengan bentuk “meander” dan “sisir juga dirancang agar ozon terjadi hanya pada jalur tersebut.

2. Metode

2.1. Konverter *Flyback*

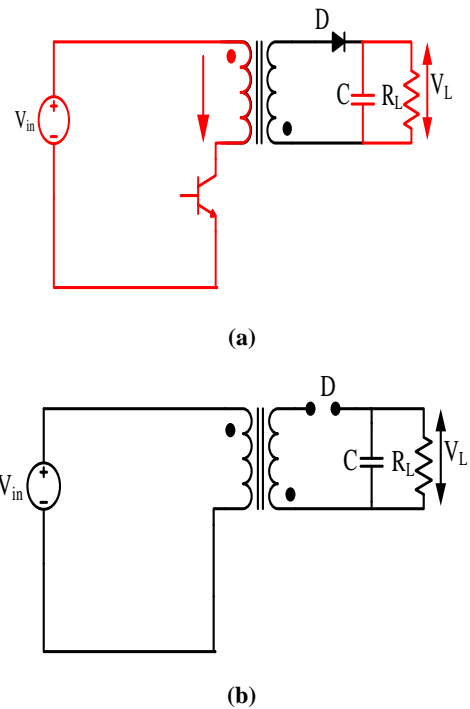
Konverter *flyback* merupakan konverter DC/DC tipe trafo yang memiliki nilai penguatan tegangan yang lebih besar daripada konverter DC/DC dasar seperti topologi *buck* atau *boost*. Penguatan tersebut disebabkan perbandingan lilitan N dari kedua sisi trafo. Konverter *flyback* memiliki dua macam mode operasi yaitu:

1. Mode 1

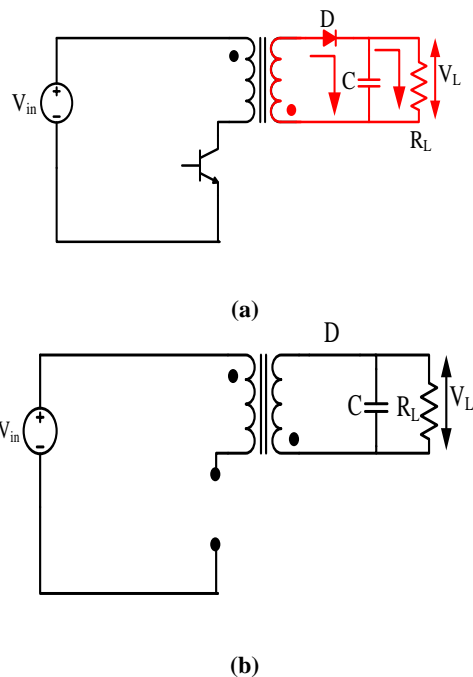
Gambar 1 menunjukkan konverter *flyback* dalam mode operasi 1. Transistor dalam kondisi *on*, kumparan primer dari trafo terhubung dengan tegangan masukan (V_{in}). Dioda D yang terhubung seri dengan kumparan sekunder terbias mundur akibat tegangan induksi pada kumparan sekunder. Dengan transistor dalam kondisi *on*, kumparan primer mampu mengalirkan arus tetapi arus pada kumparan sekunder terhalang akibat dioda yang terbias mundur.

2. Mode 2

Gambar 2 menunjukkan konverter *flyback* dalam mode operasi 2. Operasi ini dimulai ketika transistor dalam kondisi *off* setelah menghantarkan arus dalam periode tertentu. Jalur arus kumparan primer terputus dan menurut hukum induksi magnetik, polaritas tegangan sepanjang kumparan menjadi terbalik. Pembalikan polaritas tegangan membuat dioda pada rangkaian sekunder terbias maju.



Gambar 1. Mode operasi 1 (a) Arah aliran arus, (b) Rangkaian ekuivalen



Gambar 2. Mode operasi 2 (a) Arah aliran arus, (b) Rangkaian ekuivalen

2.2. *Surface Discharge*

Surface discharge, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3, adalah suatu fenomena peluahan muatan pada permukaan media isolasi padat yang berada dalam isolasi gas atau cair. *Surface discharge* ini disebabkan oleh emisi

elektron dari titik yang memiliki kekutan medan listrik tinggi. Distorsi medan listrik tersebut menyebabkan gas di sekitar isolator padat terpicu untuk meluahkan. Kemudian akan timbul berkas-berkas elektron yang sangat rapat dan bergerak secara cepat sepanjang permukaan [7].

3. Hasil dan Analisa

3.1. Blok Diagram Perancangan Alat

Perancangan alat pada penelitian ini terdiri dari sumber tegangan AC 1 fasa, rangkaian penyearah, rangkaian kontrol osilator pulsa, konverter *flyback*, dan reaktor ozon. Gambar 4 menunjukkan blok diagram perancangan alat.

3.2. Rangkaian Penyearah

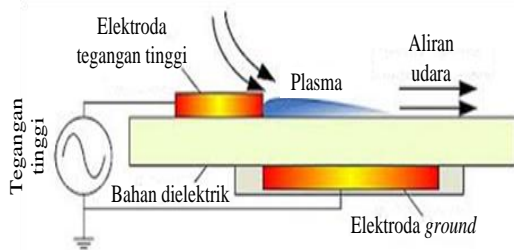
Penyearah berfungsi mengubah masukan AC menjadi keluaran DC. Rangkaian penyearah digunakan sebagai suplai daya untuk rangkaian daya (konverter *flyback*) dan rangkaian osilator pulsa (IC TL494). Gambar 5 menunjukkan rangkaian penyearah pada penelitian ini.

3.2.1. Penyearah untuk Rangkaian Konverter *Flyback*

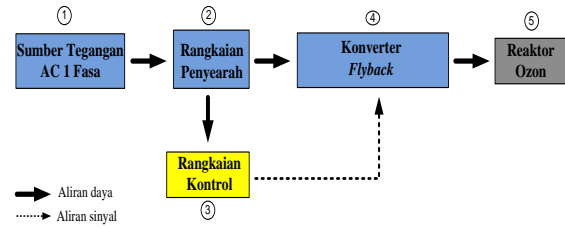
Gambar 5 (a) menunjukkan penyearah untuk rangkaian daya (konverter *flyback*) yang menggunakan kombinasi CT dengan tap 12 V, 18 V, 25 V, dan 32 V. Bentuk gelombang tegangan keluaran penyearah untuk rangkaian konverter *flyback* ditunjukkan Gambar 6. Besarnya tegangan pada Gambar 11 adalah

$$\begin{aligned} V_{DC} &= \text{div vertikal} \times V/\text{div} \times \\ &\quad \text{pengali probe} \\ &= 3,2 \text{ div} \times 5 \text{ V}/\text{div} \\ &= 16 \text{ Volt} \end{aligned}$$

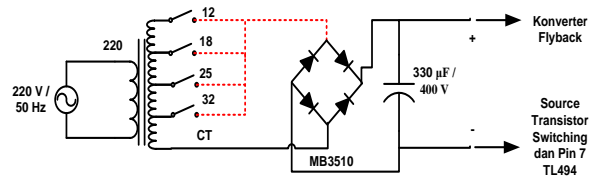
Dengan cara yang sama, diperoleh nilai tegangan untuk tiga kombinasi *tap* trafo lainnya secara berturut – turut yang ditunjukkan pada Tabel 1.



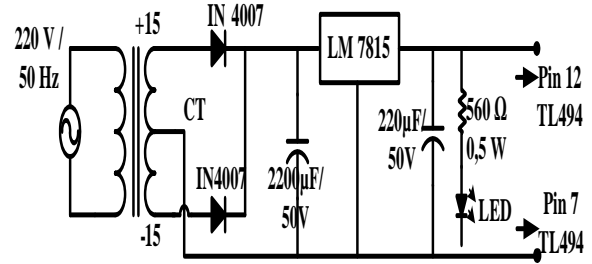
Gambar 3. Fenomena *surface discharge*



Gambar 4. Blok diagram alat



(a)

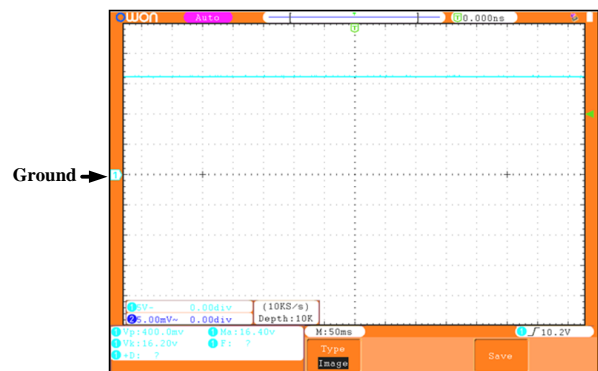


(b)

Gambar 5. Rangkaian penyearah

(a) Penyearah untuk rangkaian daya

(b) Penyearah untuk rangkaian osilator pulsa



Gambar 6. Tegangan keluaran penyearah *tap* trafo 12 V - CT dengan probe x1, 5 V/div, 50 ms/div

Tabel 1. Nilai tegangan keluaran rangkaian penyearah untuk konverter *flyback*

Tap Trafo	Nilai Tegangan (V)
12 V – CT	16
18 V – CT	24
25 V – CT	34
32 V – CT	43

3.2.2. Penyearah untuk Rangkaian Osilator Pulsa

Gambar 5 (b) menunjukkan penyearah untuk rangkaian kontrol osilator pulsa dengan keluaran 15 V. Gambar 7 merupakan gelombang tegangan keluaran penyearah untuk rangkaian kontrol. Besarnya tegangan dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 V_{DC} &= \text{div vertikal} \times V/\text{div} \times \text{pengali probe} \\
 &= 3 \text{ div} \times 5 \text{ V/div} \times 1 \\
 &= 15 \text{ Volt}
 \end{aligned}$$

3.3. Rangkaian Osilator Pulsa

Rangkaian osilator pulsa menggunakan IC TL494 dengan konfigurasi yang ditunjukkan Gambar 8. Rangkaian osilator pulsa ini mampu menghasilkan rentang frekuensi osilasi dari 550 Hz - 11.000 Hz. Rentang frekuensi osilasi tersebut dibagi ke dalam lima nilai kapasitor *timer*. Bentuk gelombang keluaran rangkaian osilator pulsa ditunjukkan Gambar 9. Nilai frekuensi osilasi Gambar 9 adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 T &= \text{div horizontal} \times V/\text{div} \times \text{pengali probe} \\
 &= 4 \text{ div} \times 50 \mu\text{s}/\text{div} \times 1 \\
 &= 200 \mu\text{s} \\
 f_{osc} &= \frac{1}{T} \\
 &= \frac{1}{200 \times 10^{-6}} \\
 &= 5.000 \text{ Hz}
 \end{aligned}$$

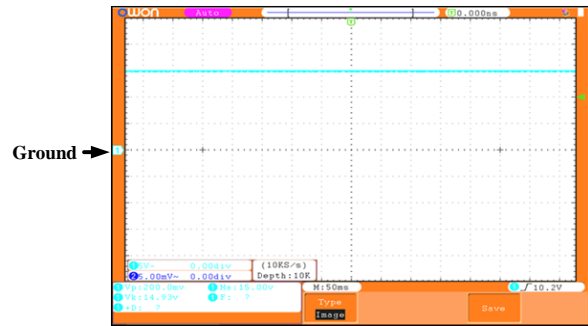
Dengan cara yang sama, diperoleh nilai frekuensi osilasi berturut - turut untuk saklar lainnya secara berturut – turut yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai frekuensi osilasi rangkaian osilator pulsa

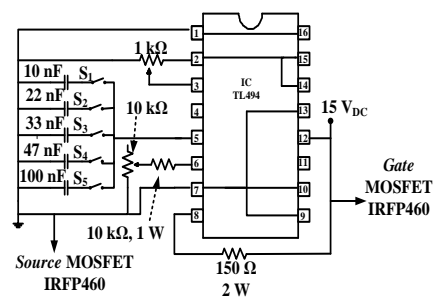
Saklar	Kapasitor (nF)	R _{awal} (Ohm)	R _{pot} (Ohm)	f _{osc} (Hz)
2	10		0	5.000
2	22		2.500	4.000
3	33	10.000	1.111	3.000
4	47		1.702	2.000
5	100		1.000	1.000

3.4. Konverter *Flyback*

Konverter *flyback* digunakan untuk menghasilkan tegangan tinggi impuls. Gambar 10 menunjukkan konverter *flyback* yang digunakan. Konverter *flyback* terdiri dari 2 komponen utama yaitu trafo step up tegangan tinggi dan transistor *switching*.



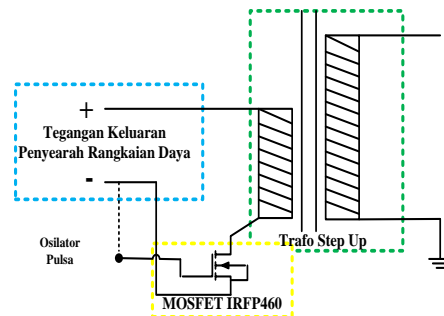
Gambar 7. Tegangan keluaran penyearah untuk rangkaian osilator pulsa, probe x1, 5 V/div, 50 ms/div



Gambar 8. Rangkaian osilator pulsa



Gambar 9. Gelombang keluaran IC TL494 saklar 2, probe x1, 50 μs, 5 V/div



Gambar 10. Rangkaian konverter *flyback*

3.4.1. Trafo Step Up Tegangan Tinggi

Trafo *step up* pada rangkaian ini berfungsi untuk mentransformasikan tegangan masukan yang bernilai

rendah menjadi tegangan keluaran bernilai lebih tinggi. Gambar 11 menunjukkan trafo step up yang digunakan pada penelitian ini. Trafo tersebut memiliki 30 lilitan di sisi primer dan 3000 lilitan di sisi sekunder.

3.4.2. Transistor Switching

Transistor *switching* pada konverter *flyback* berfungsi untuk melakukan *switching* terhadap suplai rangkaian daya yang berupa gelombang DC sehingga beralih bentuk menjadi gelombang pulsa. Pada penelitian ini digunakan transistor *switching* berupa MOSFET IRFP460.

3.5. Reaktor Ozon

Reaktor ozon merupakan perangkat yang digunakan untuk dapat menghasilkan ozon (O_3). Pada penelitian ini digunakan dua buah reaktor ozon berbentuk plat. Plat ozon tersebut memiliki perbedaan pada sisi elektroda tegangan tinggi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12.

3.6. Pengujian Pengaruh Frekuensi Osilasi terhadap Tegangan Keluaran Konverter Flyback dengan Beban Plat Ozon

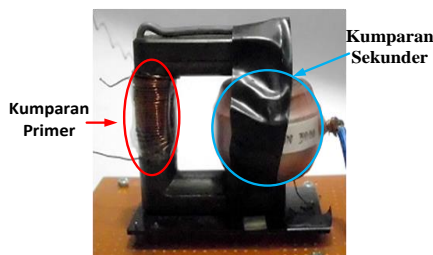
Pengujian ini dilakukan dengan cara menerapkan tegangan keluaran konverter *flyback* dengan frekuensi 1 kHz, 2 kHz, 3 kHz, 4 kHz, dan 5 kHz ke plat ozon.

3.6.1. Konverter Flyback dengan Beban Plat Ozon Bentuk “Meander”

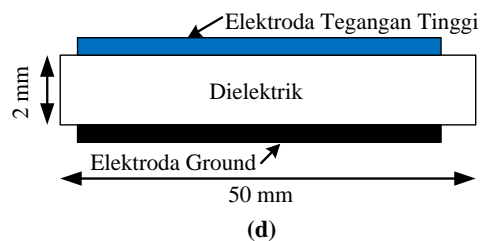
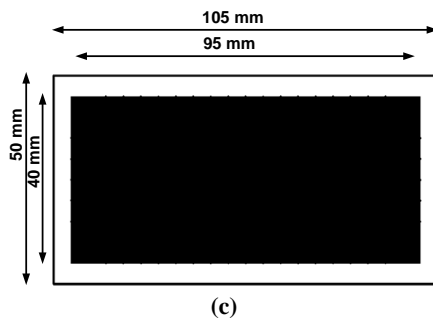
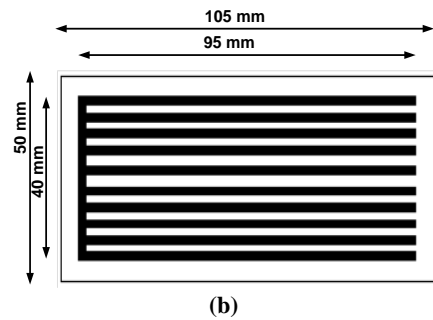
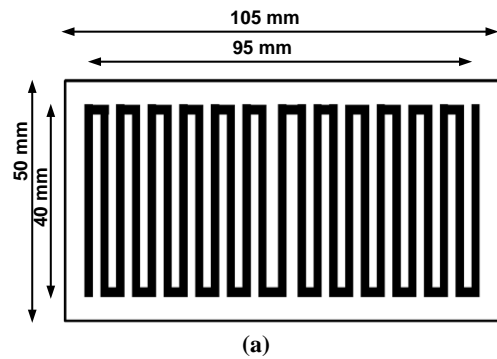
Tabel 3 merupakan data yang menunjukkan perbandingan variasi frekuensi osilasi dengan tegangan keluaran konverter *flyback* saat dibebani plat ozon bentuk “meander”.

Tabel 3 Perbandingan frekuensi osilasi dengan tegangan keluaran pada plat ozon bentuk “meander” (dalam satuan kilovolt)

Tap Trafo	Frekuensi Osilasi (kHz)				
	1 kHz	2 kHz	3 kHz	4 kHz	5 kHz
12 V – CT	6,98	7,88	7,92	8,52	10,21
18 V – CT	8,00	9,70	10,61	12,72	15,28
25 V – CT	8,06	10,66	14,45	15,40	18,93
32 V – CT	8,50	10,97	17,25	17,80	19,50



Gambar 11. Trafo step up tegangan tinggi



Gambar 12. Rancangan plat ozon
 (a) Elektroda tegangan tinggi bentuk “meander”
 (b) Elektroda tegangan tinggi bentuk “sisir”
 (c) Elektroda ground
 (d) Plat ozon tampak samping

Tabel 3 menunjukkan bahwa dengan nilai tegangan masukan yang tetap dan variasi nilai frekuensi osilasi menghasilkan perubahan pada tegangan keluaran konverter *flyback*. Semakin besar nilai frekuensi osilasi maka semakin besar nilai tegangan keluaran konverter. Data Tabel 3 dapat disajikan dalam grafik seperti pada Gambar 13.

3.6.2. Konverter *Flyback* dengan Beban Plat Ozon Bentuk “Sisir”

Tabel 4 merupakan data yang menunjukkan perbandingan variasi frekuensi osilasi dengan tegangan keluaran konverter *flyback* saat dibebani plat ozon bentuk “sisir”.

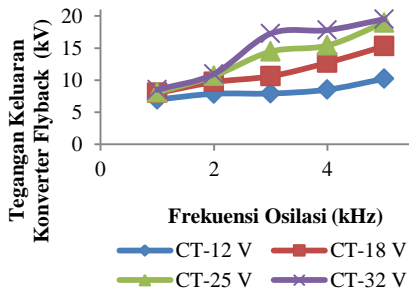
Tabel 4 Perbandingan frekuensi osilasi dengan tegangan keluaran pada plat ozon bentuk “sisir” (dalam satuan kilovolt)

Tap Trafo	Frekuensi Osilasi (kHz)				
	1 kHz	2 kHz	3 kHz	4 kHz	5 kHz
12 V – CT	9,00	11,15	11,50	11,90	12,25
18 V – CT	10,30	13,20	14,30	14,95	18,06
25 V – CT	10,69	13,80	19,72	19,99	23,33
32 V – CT	10,85	13,82	21,63	21,71	24,92

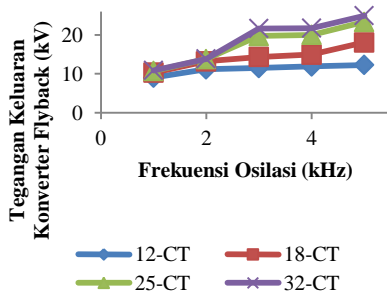
Tabel 4 menunjukkan bahwa dengan nilai tegangan masukan yang tetap dan variasi nilai frekuensi osilasi menghasilkan perubahan pada tegangan keluaran konverter *flyback*. Semakin besar nilai frekuensi osilasi maka semakin besar nilai tegangan keluaran konverter. Data Tabel 4 dapat disajikan dalam grafik seperti pada Gambar 14.

3.7. Pengujian Ozon

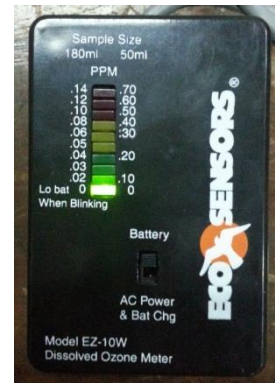
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui ada tidaknya ozon yang muncul pada reaktor ozon.



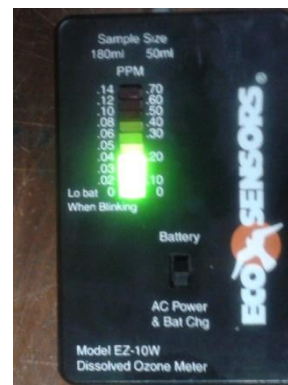
Gambar 13. Perbandingan variasi frekuensi osilasi dengan tegangan keluaran konverter *flyback* beban plat ozon bentuk “meander”



Gambar 14. Perbandingan variasi frekuensi osilasi dengan tegangan keluaran konverter *flyback* beban plat ozon bentuk “sisir”



(a)



(b)

Gambar 15. *Ozone meter* (a) kondisi *stand by*, (b) kondisi ozon terdeteksi

Pengujian dilakukan dengan menggunakan *ozone meter* dan pompa udara. *Ozone meter* berfungsi untuk mengukur konsentrasi ozon yang terdapat pada sekitar reaktor ozon. Pompa udara berfungsi untuk memompa udara bebas ke arah reaktor ozon agar dapat mengalir ke *ozone meter*. Gambar 15 (a) menunjukkan *ozone meter* dalam kondisi *stand by*. Pada kondisi *stand by*, meter akan menunjuk pada nilai 0. Gambar 15 (b) menunjukkan *ozone meter* mendeteksi adanya ozon yang timbul.

3.7.1. Plat Ozon Bentuk “Meander”

Pengujian pada plat ozon ini dilakukan dengan menggunakan tegangan keluaran konverter *flyback* yang diterapkan ke plat ozon “meander”. Hasil pengujian ozon ditunjukkan pada Tabel 4.15.

Tabel 5. Pengujian ozon pada plat ozon bentuk “meander” (dalam satuan PPM per 180 mL)

Tap Trafo	Frekuensi Osilasi (kHz)				
	1 kHz	2 kHz	3 kHz	4 kHz	5 kHz
12 V – CT	0	0	0	0	0
18 V – CT	0	0	0	0	0,04
25 V – CT	0	0	0	0,04	0,05
32 V – CT	0	0	0,05	0,08	0,08

Dengan tegangan keluaran konverter *flyback* yang mengacu pada Tabel 3, dari Tabel 5 diketahui bahwa semakin besar nilai tegangan yang diterapkan pada reaktor ozon maka semakin besar ozon yang dapat dihasilkan.

3.7.2. Plat Ozon Bentuk “Sisir”

Pengujian pada plat ozon ini dilakukan dengan menggunakan tegangan keluaran konverter *flyback* yang diterapkan ke plat ozon “sisir”. Hasil pengujian ozon ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Pengujian ozon pada plat ozon bentuk “sisir” (dalam satuan PPM per 180 mL)

Tap Trafo	Frekuensi Osilasi (kHz)				
	1 kHz	2 kHz	3 kHz	4 kHz	5 kHz
12 V – CT	0	0	0	0	0
18 V – CT	0	0	0	0	0,03
25 V – CT	0	0	0,04	0,04	0,06
32 V – CT	0	0	0,05	0,05	0,08

Dengan tegangan keluaran konverter *flyback* yang mengacu pada Tabel 4, dari Tabel 6 diketahui bahwa semakin besar nilai tegangan yang diterapkan pada reaktor ozon maka semakin besar ozon yang dapat dihasilkan.

4. Kesimpulan

Konverter *flyback* mampu mengubah tegangan masukan searah dengan nilai 17 V, 25 V, 35 V dan 44 V menjadi tegangan tinggi impuls hingga 24,92 kV. Tegangan tersebut dipengaruhi oleh variasi frekuensi osilasi, di mana semakin besar frekuensi maka semakin besar keluaran konverter *flyback*. Tegangan tinggi impuls tersebut diperoleh ketika IRFP460 *off*. Pada saat bersamaan, timbul lonjakan gelombang tegangan keluaran konverter *flyback* dari 0 V menjadi 24,92 kV dalam waktu 18,92 μ s dan kembali menjadi 0 V dalam waktu 65 μ s setelah mencapai titik puncak maksimal. Semakin besar tegangan keluaran konverter *flyback* maka semakin banyak dan cepat dalam penghasilan ozon.

Referensi

[1]. Arismunandar, Artono, *Teknik Tegangan Tinggi*, PT Pradnya Paramita, Jakarta, 2001.

[2]. Tobing, Bonggas L., *Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi*, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 2003.

[3]. Arifin, Fajar, *Perancangan Pembangkit Tegangan Tinggi Impuls untuk Aplikasi Pengolahan Limbah Cair Industri Minuman Ringan dengan Teknologi Plasma Lucutan Korona*, Penelitian, Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, 2009.

[4]. Purba, Irpan Logitra, *Perancangan Pembangkit Tegangan Tinggi Impuls untuk Mengurangi Jumlah Bakteri pada Susu Perah*, Penelitian, Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, 2013.

[5]. Yusuf, Baharudin, *Aplikasi Pembangkit Tegangan Tinggi Impuls untuk Pembuatan Reaktor Ozon*, Penelitian, Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, 2008.

[6]. Wardana, Adam Kusuma, *Aplikasi Buckboost Converter sebagai Penyedia Daya Arus Searah pada Rangkaian Tegangan Tinggi Impuls*, Penelitian, Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, 2014.

[7]. Vladimir, Bloshchitsyn, *Review of Surface Discharge Experiments*, St.-Petersburg State University, 2010.

[8]. Kozlov, M.V., M.V. Sokolova, A.G. Temnikov, V.V. Timatkov, I.P. Vereshchagin. "Surface Discharge Characteristics for Different Types of Applied Voltage and Different Dielectric Materials", *Proc. 8th Int. Symp. on High Pressure Low Temperature Plasma Chemistry, Pühajärve (Estonia)*, volume 1, hal. 43-47, 2002.

[9]. Luo, Fang Lin, H. Ye, M. Rashid, *Digital Power Electronics and Applications*, Elsevier Academic Press, San Diego, 2005.

[10]. Sengupta, Sabyasachi, N.K. De, D.Prasad, D.Kastha, *Power Electronics Lecture Notes*, Indian Institutes of Technology, Kharagpur, 2006.

[11]. Srivastava, A. K., and G. Prasad. "Characteristics of Parallel-Plate and Planar-Surface Dielectric Barrier Discharge at Atmospheric Pressure", *Journal of Electrostatics* vol. 72, hal. 140-146, 2014

[12]. Pemen, A.J.M., F.J.C.M. Beckers, E.J.M. van Heesch, "Characterization of a Surface Dielectric Barrier Discharge" *19th International Symposium on Plasma Chemistry (ISPC 19)*, 2009.