

PERANCANGAN PEMBANGKIT TEGANGAN TINGGI IMPULS SEBAGAI OZONISASI DENGAN METODE KONVERTER *FLYBACK*

Azka Alfi Rijalul Fikri^{*}, Trias Andromeda dan Sudjadi

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

^{*}E-mail: azkaalfi96@gmail.com

Abstrak

Di era global ini, terdapat banyak sekali manfaat yang bisa diambil dari pemanfaatan ozon. Karena sifat oksidatornya yang sangat kuat, maka Ozon sangat unggul untuk desinfeksi (membunuh kuman), detoksifikasi (menetralkan zat beracun) dan deodorisasi (menghilangkan bau tidak enak) dalam air dan udara. Tidak sedikit dari pengaplikasian ozon dalam kehidupan sehari-hari, misalnya untuk peningkatan kualitas air, pengobatan ikan dalam akuarium, pengawetan makan bahkan untuk terapi penyembuhan luka bakar. Aplikasi tegangan tinggi dapat dimanfaatkan untuk pembentukan ozon. Umumnya tegangan tinggi dibangkitkan dengan menggunakan rangkaian konvensional berukuran besar. Untuk itu diperlukan rangkaian yang lebih sederhana untuk membangkitkan tegangan tinggi tersebut, misalnya dengan konverter flyback. Pada Penelitian ini, penulis merancang penerapan Zero Current Switching (ZCS) Pada Konverter Flyback untuk membangkitkan tegangan tinggi sebagai ozonisasi. Pada Penelitian ini dilakukan dua pengujian, yaitu pengujian tanpa beban variasi duty cycle dan pengujian jarak sela pada reaktor ozon. Pengujian dengan variasi duty cycle, nilai tegangan keluaran yang dihasilkan sebesar 11,01 kV pada duty cycle 70%. Pada pengujian jarak sela elektroda, konsentrasi yang tertinggi dihasilkan yaitu dengan tegangan terapan 7,47 kV dan variasi jarak 5 mm yang menghasilkan 0,066 ppm.

Kata kunci : Konverter Flyback, Ozon

Abstract

This global era, there are many benefits that can be taken from the use of ozone. Because of its very strong oxidizing properties, Ozone is very superior for disinfection (killing germs), detoxification (neutralizing toxic substances) and deodorization (eliminating unpleasant odors) in water and air. Not a few from the application of ozone in everyday life, for example to improve water quality, treatment of fish in aquariums, preservation of food even for healing therapy for burns. High voltage applications can be used for ozone formation. Generally high voltages are generated by using large conventional circuits. For that required a simpler circuit to generate such high voltage, for example with a flyback converter. In this Final Project, the author designed the application of Zero Current Switching (ZCS) Flyback Converter is designed to generate high voltage for ozonation. In this Final Project, two tests are made. They are loadless testing duty cycle variation and intervals between the electrodes variations in ozone reactor. Duty cycle variation testing obtained the output voltage of 11,01 kV at duty cycle of 70 %. Intervals between the electrodes variation testing can produce ozone at ozone reactor which has been made with applied voltage 7,47 kV and intervals between the electrode 5 mm with ozone concentration is 0,066 ppm.

Keywords: Flyback Converter, Ozone

1. Pendahuluan

Di era global ini, terdapat banyak sekali manfaat yang bisa diambil dari pemanfaatan ozon. Ozon sangat unggul untuk desinfeksi (membunuh kuman) detoksifikasi (menetralkan zat beracun) dan deodorisasi (menghilangkan bau tidak enak). Aplikasi tegangan tinggi dapat dimanfaatkan untuk pembentukan ozon. Pada umumnya tegangan tinggi

dibangkitkan dengan menggunakan rangkaian konvensional berukuran besar[1][2]. Untuk itu diperlukan rangkaian yang lebih sederhana untuk membangkitkan tegangan tinggi tersebut, misalnya dengan konverter *flyback*. Penelitian pembangkitan tegangan tinggi dengan konverter *flyback* sudah cukup banyak dilakukan. Pada penelitian [3]-[7], dibahas mengenai pembangkitan tegangan tinggi Impuls menggunakan konverter *flyback* dengan didukung perangkat elektronika daya. Penelitian mengenai aplikasi tegangan tinggi untuk pembangkitan ozon juga sudah

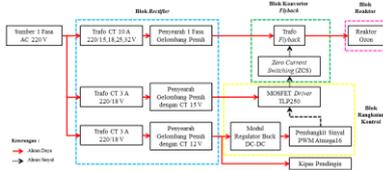
banyak dilakukan diantaranya penjernihan air dan pengolahan air limbah [7]-[9]. Metode pensaklaran dengan *zero current switching* pernah dilakukan pada penelitian [10] yang diterapkan pada konverter tipe buck.

Berangkat dari beberapa penelitian tersebut pada penelitian ini, penulis merancang penerapan *Zero Current Switching* (ZCS) pada konverter *flyback* untuk pembangkitan reaktor ozon sebagai ozonisasi. *Zero Current Switching* (ZCS) merupakan salah satu teknik *soft-switching* di mana MOSFET akan *turn off* atau *turn on* ketika arusnya bernilai nol. Teknik *switching* ini menggunakan kapasitor resonan (C_r) yang dipasang paralel dengan MOSFET dan induktor resonan (L_r) yang dipasang seri dengan kombinasi paralel dari MOSFET dan kapasitor resonan [11].

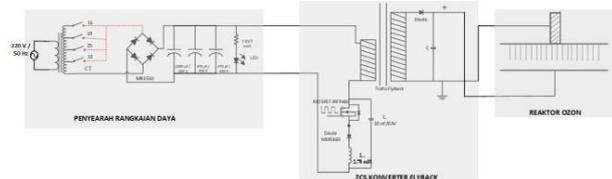
Tegangan keluaran hasil pembangkitan ZCS konverter *flyback* diterapkan pada reaktor untuk dihasilkan gas ozon atau sebagai ozonisasi. Reaktor ozon berupa elektroda jarum dan elektroda bidang dengan jarak sela antarelektroda bervariasi dari 1 – 9 milimeter dengan variasi per jarak 2 milimeter.

2. Metode

Metode penelitian ini terdiri dari blok rangkaian penyearah, blok konverter flyback, dan blok reaktor ozon seperti yang ditunjukkan Gambar 1.



Gambar 1. Blok Diagram Alat



Gambar 2. Rangkaian ZCS Konverter Flyback

2.1. Zero Current Switching (ZCS) Konverter Flyback

Gambar 2 merupakan rangkaian ZCS konverter *flyback* sebagai ozonisasi. Rangkaian ZCS Konverter *Flyback* pada Penelitian ini tersusun dari komponen-komponen berikut:

1. Sumber Tegangan DC (V_{in})
Sumber tegangan yang digunakan sebagai suplai daya konverter berasal dari keluaran rangkaian penyearah 1 fasa gelombang penuh tak terkontrol.
2. Saklar
Komponen pensaklaran yang digunakan pada

konverter tersebut adalah MOSFET. MOSFET yang digunakan adalah IRFP460 yang mampu menahan tegangan hingga 500 V[12].

3. Trafo
Trafo yang digunakan pada Penelitian ini adalah trafo *flyback*. Trafo *flyback* yang digunakan pada Penelitian ini berasal dari monitor CRT dengan inti *ferrit*. Tipe trafo yang digunakan adalah Trafo *Flyback* CRT BSC250-T1010A dengan nilai arus nominal 4A[13].
4. Dioda MUR 460
Komponen dioda yang digunakan pada Penelitian ini adalah dioda MUR460. Dioda ini dipilih karena dapat menghantar arus sebesar 4 A dan menahan *reverse voltage* hingga 600 V[14].
5. Induktor Resonansi (L_r) dan Kapasitor Resonansi (C_r)
Nilai kapasitor dan induktor yang digunakan pada rancangan ZCS konverter *flyback* ini adalah kapasitor jenis MKM 10 nF/63 V dan induktor dengan nilai 2,78 mH. Nilai induktor L_r didapatkan dari Persamaan 2.

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_r C_r}} \quad (1)$$

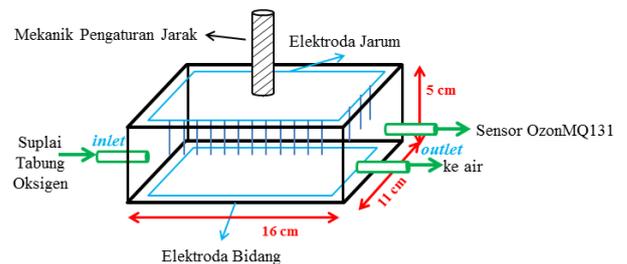
$$L_r = \frac{1}{(2\pi f_o)^2 C_r} \quad (2)$$

Dimana :

- f_o : Frekuensi resonansi
- C_r : Kapasitor resonan
- L_r : Induktor resonan

2.2. Reaktor Ozon

Pada penelitian ini, digunakan reaktor ozon dengan elektroda bentuk jarum bidang. Gambar 3 merupakan *chamber* elektroda yang digunakan pada Penelitian ini. Elektroda memiliki dimensi 16 x 11 x 5 cm dan mempunyai suatu mekanik untuk mengubah jarak elektroda yaitu menggunakan mur dan baut dengan rasio 1 putar adalah berjarak 2 milimeter.



Gambar 3. Skema Elektroda Jarum-Bidang

Elektroda jarum terbuat dari bahan stainless steel dengan panjang 1 cm dan jarak antar jarum sebesar 1 cm dan elektroda plat terbuat dari bahan tembaga (PCB). Jarak bisa divariasikan agar bisa mengetahui pengaruh jarak pada elektroda jarum dan plat. Pemilihan elektroda jarum sebagai *ground* agar lebih sulit terjadi *discharge* antar elektroda saat tegangan dinaikkan sehingga medan listrik

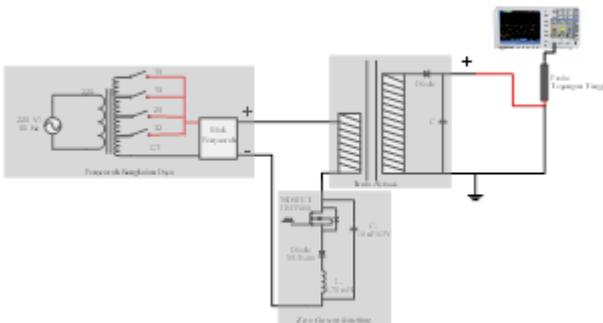
$$\begin{aligned}
 V_{out} &= \text{div vertikal} \times \text{volt/div} \times \text{pengali probe} \\
 &= 1,38 \text{ div} \times 2 \text{ v/div} \times 1000 \\
 &= 2760 \text{ V}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan dari Gambar 8. maka didapatkan nilai tegangan keluaran rangkaian ZCS konverter *flyback* adalah sebesar 2760 Volt.

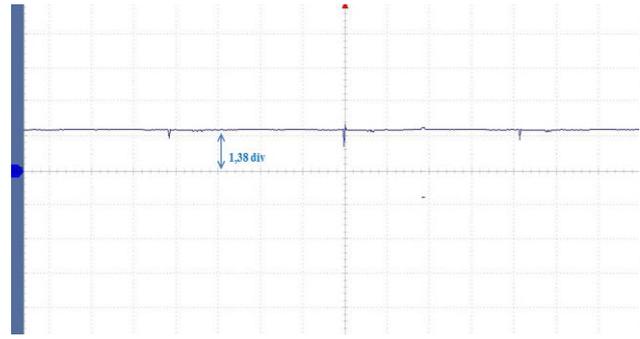
Pada pengujian variasi *Duty Cycle* Terhadap Tegangan Keluaran ZCS Konverter *Flyback* dilakukan dengan 8 variasi nilai *duty cycle* yaitu : 2,5 %, 10%, 20%, 30% , 50%, 60% dan 70%. Pada setiap variasi nilai *duty cycle* dilakukan pengukuran pada masing-masing tegangan masukan dari *tapping* trafo yaitu dengan nilai 15 V, 18 V, 25 V dan 32 V (V_{AC}). Pengukuran nilai tegangan keluaran dilakukan tanpa beban atau tidak terhubung reaktor ozon dan menggunakan bantuan dari osiloskop digital OWON. Hasil pengukuran tegangan keluaran ZCS konverter *flyback* variasi *duty cycle* ditunjukkan pada Tabel 1.

Dari Tabel 1 dapat diketahui bahwa, pada rangkaian ZCS konverter *flyback* semakin tinggi nilai *duty cycle* yang digunakan maka nilai tegangan keluaran yang dihasilkan juga akan semakin tinggi. Atau dengan kata lain nilai *duty cycle* dan tegangan keluaran berbanding lurus.

Gambar 9. dapat memperlihatkan hubungan antara *duty cycle* dengan tegangan keluaran. Semakin tinggi nilai *duty cycle* maka nilai tegangan keluaran akan semakin tinggi. Variasi dari tegangan masukan memperlihatkan bahwa semakin tinggi nilai tegangan masukan dengan nilai *duty cycle* yang sama maka nilai tegangan keluaran yang dihasilkan semakin tinggi.



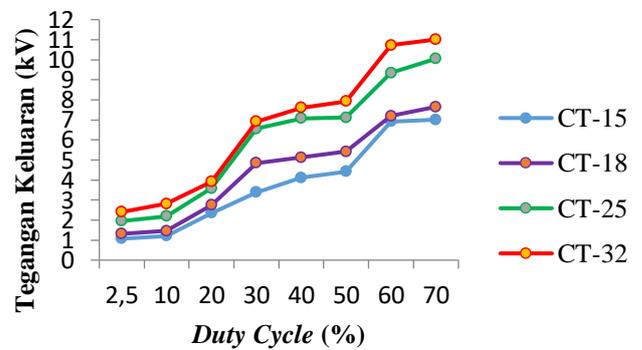
Gambar 7. Skema Pengujian ZCS Konverter *Flyback*



Gambar 8. Gelombang Tegangan Keluaran ZCS Konverter *Flyback*, $f_{switching} = 23 \text{ kHz}$

Tabel 1. Data Tegangan Keluaran ZCS Konverter *Flyback* Variasi *Duty Cycle* (Dalam Satuan KV)

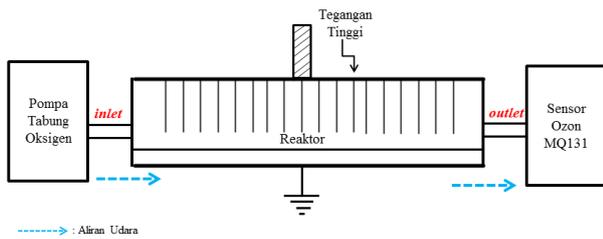
V input (V_{AC})	Duty Cycle (%)							
	2,5	10	20	30	40	50	60	70
15V-CT	1,07	1,21	2,35	3,39	4,11	4,42	6,92	7,01
18V-CT	1,31	1,46	2,75	4,85	5,12	5,42	7,19	7,65
25V-CT	1,95	2,19	3,58	6,56	7,08	7,12	9,35	10,0
32V-CT	2,40	2,81	3,92	6,91	7,60	7,93	10,7	11,0 ₁



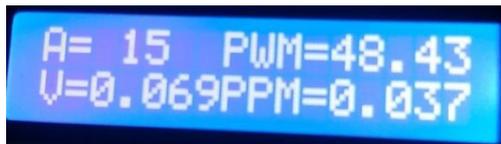
Gambar 9. Grafik Hubungan *Duty Cycle* dengan Tegangan Keluaran

3.3. Pengujian Ozon

Pada pengujian ozon ini dilakukan 5 variasi dari jarak antar elektroda, yaitu 9 mm, 7 mm, 5 mm, 3 mm, dan 1 mm. Gambar 10 merupakan skema pengujian pengukuran konsentrasi ozon dari reaktor ozon yang telah dibuat.



Gambar 10. Skema Pengujian Konsentrasi Ozon



Gambar 11. Tampilan hasil dari Sensor Ozon MQ131

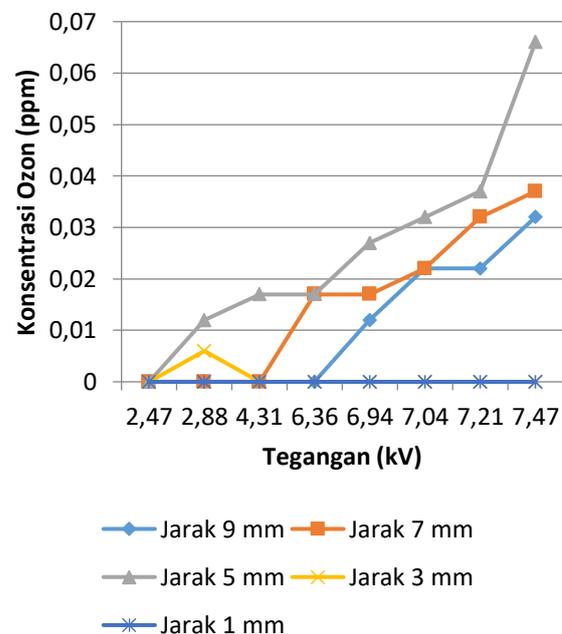
Tabel 2. Data Pengujian Ozon Variasi Jarak Elektroda dalam satuan ppm

Vout (kV)	Jarak Sela				
	9 mm	7 mm	5 mm	3 mm	1 mm
2,47	0	0	0	0	Discharge
2,88	0	0	0,012	0,006	Discharge
4,31	0	0	0,017	Discharge	Discharge
6,36	0	0,017	0,017	Discharge	Discharge
6,94	0,012	0,017	0,027	Discharge	Discharge
7,04	0,022	0,022	0,032	Discharge	Discharge
7,21	0,022	0,032	0,037	Discharge	Discharge
7,47	0,032	0,037	0,066	Discharge	Discharge

Dari Tabel 2. dapat diketahui bahwa, untuk tegangan keluaran ZCS konverter *flyback* pada variasi elektroda jarak diterapkan sebagai *ground* dan elektroda bidang diterapkan tegangan tinggi dengan nilai 2,47 kV; 2,88 kV; 4,31 kV; dan 6,36 kV pada jarak elektroda 9 mm konsentrasi gas ozon yang dihasilkan bernilai 0. Pada nilai 2,47 kV; 2,88 kV; dan 4,31 pada jarak sela 7 mm dan nilai 2,47 kV pada jarak sela 5 mm dan 3 mm konsentrasi gas ozon yang dihasilkan juga bernilai 0. Konsentrasi ozon tidak dapat dihasilkan karena medan listrik yang dihasilkan oleh elektroda pada jarak sela dan nilai tegangan tersebut belum cukup untuk mengubah oksigen dari tabung oksigen menjadi ozon. Kemudian untuk tegangan keluaran dengan jarak sela 9 mm rentang nilai 6,94 kV; 7,04 kV; 7,21 kV dan 7,47 kV nilai konsentrasi ozon yang dihasilkan berturut-turut 0,012; 0,022; 0,022; dan 0,032 (dalam satuan ppm).

Dari Tabel 2. juga dapat diketahui bahwa untuk tegangan keluaran ZCS konverter *flyback* pada variasi jarak 3 mm dengan nilai 2,88 kV; 4,31 kV; 6,36 kV; 6,94 kV; 7,04 kV; 7,21 kV; 7,47 kV dan variasi jarak 1 mm dengan nilai 2,47

kV; 2,88 kV; 4,31 kV; 6,36 kV; 6,94 kV; 7,04 kV; 7,21 kV dan 7,47 kV konsentrasi ozon yang dihasilkan bernilai 0 karena pada tegangan tersebut terjadi *discharge* di reaktor ozon yang digunakan. *Discharge* sudah terjadi pada tegangan dengan nilai 4,31 kV pada jarak sela 3 mm dan 2,47 kV pada jarak sela 1 mm karena medan yang dihasilkan terlalu besar sehingga terjadi lompatan muatan. Kemudian pada Tabel 4.5 dapat diketahui bahwa semakin tinggi nilai tegangan yang diterapkan pada reaktor ozon maka semakin tinggi nilai konsentrasi ozon yang dapat dihasilkan karena medan listrik yang dihasilkan diantara elektroda semakin besar. Perubahan jarak sela mempengaruhi konsentrasi ozon yang dihasilkan. Dengan tegangan yang sama, semakin kecil jarak sela yang digunakan maka nilai konsentrasi ozon yang dihasilkan semakin tinggi.



Gambar 12. Grafik Hubungan Tegangan Masukan (kV) dengan Konsentrasi Ozon (ppm)

Gambar 12. dapat memperlihatkan hubungan antara konsentrasi ozon dan jarak sela elektroda. Semakin tinggi nilai tegangan yang diterapkan pada reaktor ozon maka semakin tinggi nilai konsentrasi ozon yang akan dihasilkan [16]. Semakin dekat jarak sela elektroda maka semakin tinggi pula nilai konsentrasi ozon yang dihasilkan. Namun apabila jarak sela elektroda terlalu dekat, maka akan terjadi *discharge* pada reaktor ozon. Dari reaktor ozon dan tegangan keluaran ZCS konverter *flyback* yang digunakan, nilai konsentrasi ozon minimum dengan nilai 0,012 dihasilkan dari tegangan 6,94 kV pada jarak 9 mm dan tegangan 2,88 kV pada jarak 5 mm. Kemudian untuk nilai konsentrasi ozon maksimum dengan nilai 0,06 dihasilkan dari tegangan keluaran 7,47 kV dari jarak sela 5 milimeter. Dengan kata lain reaktor ozon dan tegangan keluaran ZCS

konverter *flyback* pada penelitian ini dapat menghasilkan ozon pada rentang konsentrasi ozon dengan rentang 0,012 sampai dengan 0,066 ppm dengan variasi jarak sela elektroda yang bervariasi.

4. Kesimpulan

Pembangkit tegangan tinggi *Zero Current Switching* (ZCS) Konverter *Flyback* telah berhasil dibuat dan menghasilkan tegangan keluaran maksimal tanpa beban sebesar 11,01 kV dengan tegangan masukan $32 V_{AC}$ pada *duty cycle* 70 %. ZCS konverter *flyback* yang telah dibuat mampu melakukan pensaklaran dengan arus bernilai nol ketika MOSFET dalam kondisi *Turn ON*. Pada pengujian tegangan keluaran ZCS konverter *flyback* dengan variasi *duty cycle* dihasilkan tegangan keluaran tertinggi sebesar 11,01 kV pada *duty cycle* 70 %. Semakin besar *duty cycle* yang diterapkan, maka tegangan keluarannya semakin tinggi. Pada pengujian ozon variasi jarak sela dihasilkan konsentrasi ozon tertinggi sebesar 0,066 ppm pada jarak 5 mm dengan tegangan terapan 7,47 kV. Semakin tinggi tegangan yang diterapkan, maka konsentrasi ozon yang dihasilkan semakin banyak. Semakin dekat jarak sela elektroda maka semakin tinggi pula nilai konsentrasi ozon yang dihasilkan. Namun apabila jarak sela elektroda terlalu dekat, maka akan terjadi *discharge* pada reaktor ozon dan tidak ada ozon yang terdeteksi .

Referensi

- [1]. B. L. Tobing, *Dasar-Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi*, Edisi Kedu. Jakarta: Lemeda Simarmata, 2012.
- [2]. A. Arismunandar, *Teknik Tegangan Tinggi*. Jakarta Timur: Balai Aksara, 1983.
- [3]. J. . A. Prakosa, M. Facta, and M. A. Riyadi, "Perancangan Pembangkit Tegangan Tinggi Impuls Berbasis Konverter Flyback," pp. 1–7, 2015.
- [4]. A. S. Pandu, M. Facta, and A. Syakur, "Pembuatan Alat Pereduksi Gas CO pada Asap Rokok berbasis Cuk-Flyback Tegangan Tinggi," *TRANSIENT*, vol. 4, pp. 1–9, 2015.
- [5]. I. L. Purba, M. Facta, and A. Syakur, "Perancangan Pembangkit Tegangan Tinggi Impuls Untuk Mengurangi Jumlah Bakteri Pada Cairan Susu Perah," *TRANSIENT*, vol. 2, 2013.
- [6]. A. Mahmud, A. Syakur, and M. A. Riyadi, "Perancangan Pembangkit Tegangan Tinggi Impuls 12,80 kV dengan Menerapkan Zero Current Switching (ZCS) pada Konverter Flyback," pp. 1–7, 2017.
- [7]. F. Arifin, A. Warsito, and A. Syakur, "Perancangan Pembangkit Tegangan Tinggi Impuls Untuk Aplikasi Pengolahan Limbah Cair Industri Minuman Ringan Dengan Teknologi Plasma Lucutan Korona," *TRANSIENT*, pp. 1–7, 2011.
- [8]. Bimo, A. Syakur, and A. Warsito, "Aplikasi Ignition Coil Sebagai Pembangkit Tegangan Tinggi Impuls Untuk Penyedia Daya Reaktor Ozon," *TRANSIENT*, pp. 82–97, 2005.
- [9]. B. Yusuf, A. Warsito, A. Syakur, I. N. Widiassa, and J. P. Soedharto, "Aplikasi pembangkit tegangan tinggi impuls Untuk Pembuatan Reaktor Ozon," *TRANSIENT*, pp. 1–6, 2009.
- [10]. H. Nirmala, A. Warsito, and M. Facta, "Penggunaan Zero Current Switching Buck Konverter Untuk Pengisi Akumulator," *TRANSIENT*, pp. 82–97, 2016.
- [11]. M. K. Kazimierczuk, *Pulse-width Modulated DC-DC Power Converters*. 2008.
- [12]. V. Siliconix, "Power MOSFET," no. V, pp. 1–9, 2008.
- [13]. M. Flyback Transformers, "Flyback Transformers," p. 1, 2014AD.
- [14]. D. INCORPORATED, "DIODE MUR460," pp. 1–2.
- [15]. M. Amjad, Z. Salam, M. Facta, and K. Ishaque, "Design and Development of a High-Voltage Transformer-less Power Supply for Ozone Generators Based on a Voltage-fed Full Bridge Resonant Inverter," *J. Power Electron.*, Vol. 12, no.3, pp. 387–398, 2012.
- [16]. M. Facta, Z. Salami, and Z. Buntae, "Double Dielectric Barrier Discharge Chamber for Ozone Generation," no. 1, pp. 409–412, 2014.