

Metode *Flyback* pada Pembangkitan Tegangan Tinggi untuk Aplikasi Plasma *Electrolytic Oxidation*

Kumala Mahda Habsari¹, Wijono², D.J. Djoko H.S.³

Abstract—Flyback is one of high voltage generation methods using a low voltage source. This method has a simple circuit, which consists of two main components for generating the high voltage. In this study, flyback method is used to generate high voltage on plasma electrolytic oxidation (PEO) application. PEO is a process that combine electrochemical oxidation process and high voltage spark. This application needs high voltage to produce plasma. The plasma is used to form a new surface coating on metal. Flyback circuit is successfully simulated on LTSpice IV. Voltage value and waveform on simulation has been observed and compared with the real one. The measured and observed part is IGB gate, output voltage of transformer before diode, and load voltage after diode. Flyback effect and waveform on simulation has the similiar result with the real one. A 10 volt input voltage can produce output voltage on the average of 1 kilovolt. Therefore, flyback simulation is able to represent flyback ability on real circuit for generating high voltage which can be used on high voltage generation for PEO application.

Intisari— Metode *flyback* merupakan salah satu metode pembangkitan tegangan tinggi dengan sumber tegangan rendah. Metode ini memiliki rangkaian yang sederhana. Rangkaian *flyback* hanya memiliki dua komponen utama untuk membangkitkan tegangan tinggi. Pada makalah ini, digunakan metode *flyback* untuk merancang pembangkitan tegangan tinggi pada aplikasi *plasma electrolytic oxidation* (PEO). PEO merupakan suatu proses kombinasi dari sebuah proses oksidasi elektrokimia dan penerapan percikan (*spark*) tegangan tinggi. Aplikasi PEO membutuhkan tegangan tinggi untuk menghasilkan plasma. Plasma pada proses tersebut digunakan untuk membentuk lapisan permukaan baru pada sebuah permukaan metal. Rangkaian *flyback* yang disimulasikan dengan LTSpice IV berhasil dilakukan. Nilai tegangan dan bentuk gelombang pada simulasi telah diamati dan dibandingkan dengan pengujian rangkaian *flyback* yang dibuat. Tiga titik yang diukur dan diamati pada simulasi dan pengujian adalah tegangan pada *gate* IGBT, tegangan keluaran transformator sebelum diode, dan tegangan pada beban setelah diode. Efek *flyback* yang terjadi dan bentuk gelombang yang dihasilkan simulasi mendekati hasil pengujian. Dengan sumber tegangan pulsa 10 volt, rangkaian ini menghasilkan tegangan keluaran rata-rata 1 kilovolt. Dengan demikian, simulasi *flyback* mampu merepresentasikan kemampuan rangkaian *flyback* yang telah dibuat untuk menghasilkan tegangan tinggi, sehingga metode *flyback* dapat

digunakan pada pembangkitan tegangan tinggi untuk aplikasi PEO.

Kata Kunci— *flyback*, tegangan tinggi, plasma, *plasma electrolytic oxidation*, PEO.

I. PENDAHULUAN

Pada umumnya, pembangkitan tegangan tinggi dilakukan dengan rangkaian yang berukuran besar dan rumit. Seiring berkembangnya penelitian tentang pengaplikasian tegangan tinggi di segala bidang saat ini, dibutuhkan rangkaian yang lebih sederhana untuk dapat membangkitkan tegangan tinggi. Rangkaian yang lebih sederhana dapat memudahkan penelitian di laboratorium untuk mengembangkan aplikasi ini. Dengan kondisi yang demikian, muncul suatu persoalan untuk membangkitkan tegangan tinggi dengan rangkaian sesederhana mungkin. Salah satu metode pembangkitan tegangan tinggi dengan rangkaian sederhana yang dapat digunakan adalah metode *flyback* [1]. Pembangkitan tegangan tinggi menggunakan metode *flyback* pada makalah ini digunakan pada aplikasi proses *plasma electrolytic oxidation* (PEO).

PEO merupakan metode terbaru yang digunakan pada perlakuan permukaan (*surface treatment*). Suatu lapisan yang dihasilkan telah terbukti menghasilkan lapisan yang memiliki peningkatan sifat pada substrat logam seperti untuk proteksi ganda pada korosi dan aplikasi penghalang termal [2]. Penerapan proses PEO pada logam campuran magnesium juga dikembangkan pada aplikasi otomotif dan antariksa [3]. Proses PEO merupakan kombinasi dari sebuah proses oksidasi elektrokimia dan penerapan percikan (*spark*) tegangan tinggi. Proses ini diketahui melibatkan sejumlah percikan elektrik singkat atau yang dapat disebut dengan *discharge* elektrik. Proses *discharge* sangat berperan penting pada mekanisme pertumbuhan lapisan. Proses ini telah dikembangkan untuk menghasilkan deposit lapisan keramik pada logam seperti Al, Mg, Ti dan campurannya [4], [5].

Plasma pada proses PEO dibangkitkan dengan melibatkan sumber tegangan tinggi. Plasma tersebut termasuk jenis plasma tekanan atmosfer. Proses PEO dapat bekerja dengan tiga jenis sumber daya, yaitu pada sumber DC, sumber pulsa DC, atau juga pada sumber AC tak seimbang. Sumber DC digunakan hanya untuk memproduksi lapisan tipis pada permukaan benda dengan bentuk sederhana [6], sedangkan sumber AC tidak seimbang dapat digunakan untuk bentuk yang lebih kompleks dengan polarisasi tambahan elektroda.

Sumber pulsa DC dapat digunakan untuk menghasilkan plasma pada pelapisan titania (TiO₂) pada titanium murni (TiO) di dalam cairan elektrolit alkali dengan pengaturan *duty cycle*. *Duty cycle* berfungsi untuk mengatur durasi *discharge* pada pulsa. Dengan menggunakan sumber pulsa DC, plasma

¹ Mahasiswa, Program Magister Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Jl. Veteran, Malang 65145 INDONESIA; e-mail: mahdamala@gmail.com)

² Dosen, Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Jln. Veteran, Malang 65145 INDONESIA (telp: 0341-551611; e-mail: wijono@ub.ac.id; wijono@yahoo.com)

³ Dosen, Jurusan Fisika Universitas Brawijaya, Jln. Veteran, Malang 65145 INDONESIA (telp: 0341-5756833; e-mail: dsantjojo@ub.ac.id; dsantjojo@gmail.com)

microdischarge dan tegangan *breakdown* dapat diatur. Plasma *microdischarge* merupakan plasma yang dihasilkan oleh *discharge* pada orde mikro. Dimensi yang dihasilkan oleh plasma *microdischarge* juga berukuran kecil. *Duty cycle* yang rendah dapat menghasilkan tegangan *breakdown* dan *microdischarge* yang lebih tinggi [7].

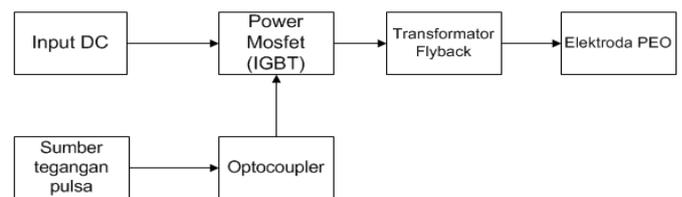
Metode *flyback* merupakan salah satu metode pembangkitan tegangan tinggi dengan rangkaian yang sederhana. Metode ini memanfaatkan energi balik untuk pembangkitan tegangan tinggi. Selain memiliki desain rangkaian yang sederhana, metode operasi ini memberikan satu keuntungan yang istimewa/khas. *Flyback* memiliki proteksi hubung-singkat keluaran yang sudah ada di dalam rangkaian itu sendiri. Keuntungan alamiah yang dimiliki berasal dari kenyataan yang dimiliki rangkaian, yaitu proses transfer energi terjadi ketika saklar utama dalam keadaan tidak terhubung (*off*) [8]. Hal ini terjadi khusus untuk topologi ini saja. Topologi *flyback* biasanya digunakan pada sistem pengapian motor bakar, CVT pada televisi, dan peralatan komunikasi. Daya maksimum yang dapat dihasilkan oleh *flyback* terbatas sejauh lebar pulsa yang diatur.

Pada makalah ini dirancang dan dibuat alat pembangkitan tegangan tinggi dengan rangkaian sederhana yaitu rangkaian *flyback*. Dengan rangkaian yang sederhana, tegangan tinggi dapat dihasilkan dalam orde kilovolt. Hasil rancangan rangkaian pada simulasi diuji dan dibandingkan dengan hasil pengujian alat pembangkitan yang dibuat. Pembangkitan tegangan tinggi tersebut digunakan untuk aplikasi PEO. Pengujian hasil rancangan rangkaian dilakukan untuk melihat kelayakan metode *flyback* pada pembangkitan tegangan tinggi untuk aplikasi PEO. Makalah ini terbagi menjadi empat bagian utama. Bagian pertama menjelaskan tentang pembangkitan tegangan tinggi pada umumnya, proses PEO, latar belakang, dan tujuan. Bagian kedua menjelaskan metode perancangan pembangkitan tegangan tinggi untuk aplikasi PEO menggunakan metode *flyback*. Mode operasi *flyback* juga dijelaskan pada bagian ini. Eksperimen yang dilakukan dimulai dengan perancangan rangkaian pada simulasi dengan melakukan pemilihan spesifikasi IGBT, diode, dan nilai komponen kopel induktor, kapasitor, serta resistor. Kemudian, dilanjutkan dengan pembuatan alat pembangkitan tegangan tinggi untuk aplikasi ini, yang mencakup spesifikasi komponen-komponen yang digunakan. Selanjutnya adalah penjelasan bagian-bagian pada rangkaian yang diukur dan dianalisis. Bagian ketiga makalah menjelaskan hasil dan pembahasan analisis eksperimen, sedangkan bagian keempat adalah kesimpulan.

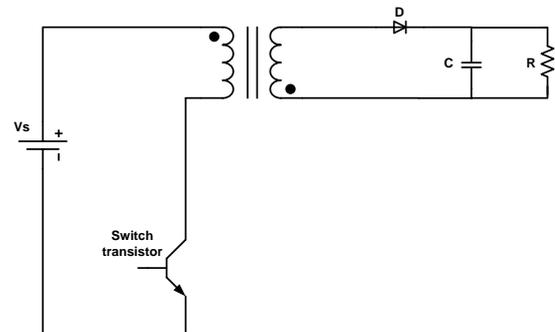
II. METODE PERANCANGAN

Pada makalah ini dirancang dan dibuat pembangkitan tegangan tinggi dengan rangkaian *flyback* untuk aplikasi PEO. Tegangan tinggi dalam orde kilovolt dibutuhkan untuk membangkitkan plasma pada proses PEO. Rangkaian *flyback* hanya membutuhkan satu transistor *switching* dan satu rangkaian induktor kopel magnetik untuk dapat menghasilkan tegangan tinggi. Transistor yang digunakan pada rangkaian ini adalah sebuah IGBT. IGBT yang terhubung dengan sumber

tegangan pulsa menghasilkan lebar pulsa untuk memicu *flyback*. Diagram blok perancangan alat secara sederhana ditunjukkan pada Gbr. 1.



Gbr. 1 Diagram blok pembangkitan tegangan tinggi untuk aplikasi PEO.



Gbr. 2 Rangkaian dasar ekivalen *flyback*.

Rangkaian *flyback* yang digunakan berdasar pada rangkaian dasar ekivalen *flyback* dan ditunjukkan pada Gbr. 2.

Secara umum, *flyback* mengirim energi dari sumber ke induktans magnetik transformator ketika saklar transistor dalam keadaan terhubung (*on*) dan kemudian mengirim energi yang tersimpan ke beban saat transistor dalam keadaan *off* [9]. Transformator menyerap dan menyimpan energi dari sumber pada satu waktu kemudian mengirim energi ke beban [10]. Saat proses pengisian dan pelepasan energi, transformator menghasilkan frekuensi yang tinggi. Frekuensi tersebut bermanfaat untuk menghadirkan isolasi galvanik. Isolasi galvanik muncul pada dua blok sistem yang harus terhubung dengan potensial yang berbeda. Isolasi yang muncul secara alamiah pada rangkaian tersebut akan mencegah arus yang tidak diinginkan mengalir antara dua blok sistem tersebut.

Secara singkat, operasi *flyback* dapat dijelaskan dalam empat mode yang ditunjukkan pada Gbr. 3, yaitu sebagai berikut.

1) *Mode 1*: Transistor dalam keadaan *on*. Arus dari sumber mengalir menuju sisi primer transformator dan menyimpan energi di sana. Diode yang terhubung seri pada sisi sekunder transformator ter-*bias* mundur karena tegangan induksi yang bergantung pada lebar pulsa yang diatur.

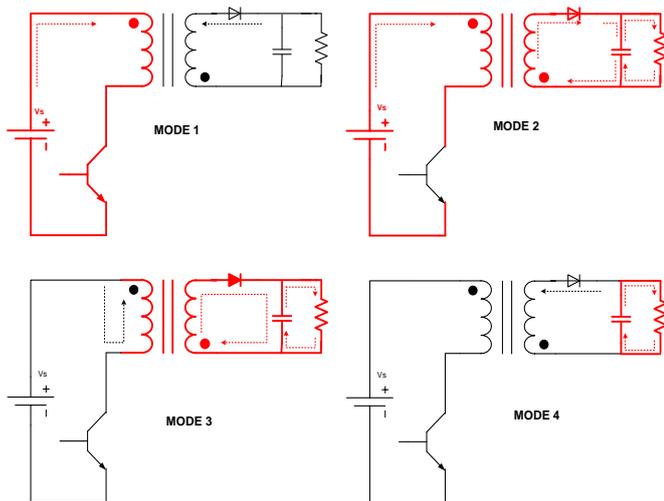
2) *Mode 2*: Kondisi tepat saat transistor *off*. Pada kondisi ini, arus yang mengalir melalui sisi primer akan menurun sampai dengan nol pada waktu yang cepat. Secara tiba-tiba, hal ini menginduksi lonjakan tegangan melewati transistor. Diode pada sisi sekunder bekerja pada *bias* maju menghantarkan arus menuju beban.

3) *Mode 3*: Ketika kondisi transistor *off*, arus yang tersimpan pada induktans magnetik sisi primer mengalir

penuhi ke sisi sekunder transformator dan mengisi kapasitor. Pada kondisi ini, jalur arus pada sisi primer terputus. Polaritas tegangan sepanjang kumparan menjadi terbalik berdasarkan hukum induksi magnetic, sehingga membuat diode ter-bias maju. Pada mode ini, tegangan stress (maksimum) yang menyeberang transistor dapat dihitung menggunakan (1).

$$(v_{sw})_{max} = V_s + \frac{1}{n} v_o max \quad (1)$$

dengan V_s adalah tegangan sumber, $v_o max$ adalah tegangan keluaran maksimum, dan n adalah rasio lilitan transformator [9].



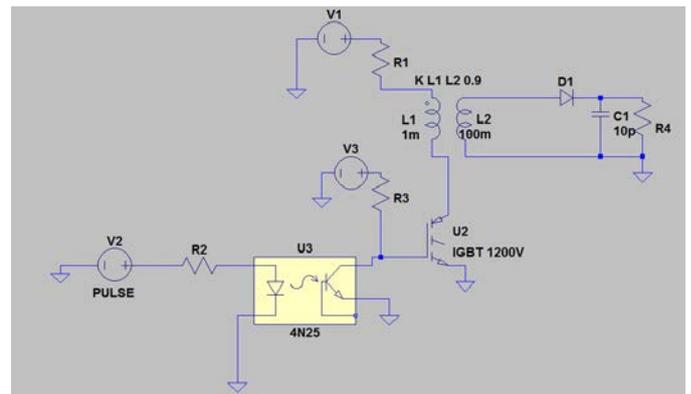
Gbr. 3 Mode operasi flyback.

4) *Mode 4*: Semua energi pada sisi sekunder transformator benar-benar habis dan sudah terkirim ke kapasitor, sehingga diode tidak bekerja lagi (mati). Pada kondisi ini, rangkaian flyback menjadi sumber tegangan dan tegangan tinggi yang dihasilkan diterapkan pada beban.

Simulasi rangkaian flyback dilakukan pada perangkat lunak LTSpice IV. Rangkaian simulasi pembangkitan tegangan tinggi ditunjukkan pada Gbr. 4. Sumber pulsa DC diatur dengan *duty cycle* sebesar 50%. Komponen saklar transistor yang digunakan adalah sebuah IGBT tegangan tinggi. IGBT terhubung dengan sumber pulsa DC (V_2 pulse) sebagai sumber tegangan flyback. Komponen optocoupler dipasang di antara rangkaian sumber pulsa DC dan IGBT. Optocoupler digunakan sebagai pelindung (isolator) dua blok pada rangkaian, yaitu blok pulsa masukan dan blok flyback saat rangkaian magnetik menghasilkan induksi diri (energi balik) yang besar ketika IGBT mati secara tiba-tiba. Akibatnya, induksi tersebut tidak sampai mengalir melewati sumber pulsa masukan yang dapat merusak komponen. Berdasarkan penjelasan tentang isolasi pada rangkaian di atas, rangkaian ini memiliki dua isolasi yang melindungi kerja rangkaian.

Pin kolektor IGBT terhubung dengan kutub negatif sisi primer sebuah induktor kopel magnetik atau biasa disebut transformator. Transformator pada simulasi diatur bernilai L_1 dan L_2 dengan perbandingan sebesar 1:100. Nilai koefisien kopel yang digunakan adalah sebesar 0,9. Kutub positif sisi primer transformator dihubungkan dengan sumber tegangan

DC bebas. Sisi sekunder transformator terhubung dengan diode tegangan tinggi D_1 dan beban berupa kapasitor dan resistor. Diode pada flyback berperan sebagai snubber tegangan lonjakan (*voltage spike*) yang muncul secara tiba-tiba dari transformator saat saklar off. Tegangan lonjakan muncul ketika arus yang melewati transformator tiba-tiba dihentikan. Resistor R_1 , R_2 , dan R_3 terpasang sebagai pembatas arus yang akan mengalir pada rangkaian dari sumber. Beban yang akan menghasilkan plasma pada proses PEO digambarkan dengan sebuah kapasitor dan resistor. Kapasitor C_1 menggambarkan kondisi beban pada dua elektrode yang tersusun sejajar dan resistor R_4 menggambarkan kondisi resistans udara luar pada tekanan atmosfer. Karakteristik komponen pada simulasi dikondisikan semirip mungkin dengan kondisi rangkaian secara riil.



Gbr. 4 Rangkaian simulasi.



Gbr. 5 Alat pembangkitan tegangan tinggi dengan metode flyback.

Rangkaian flyback riil dibuat menggunakan saklar IGBT non-punch through (NPT) 1200V. Alat yang telah dibuat ditampilkan pada Gbr. 5. Secara jelas, rating maksimal IGBT yang digunakan ditunjukkan pada Tabel I. IGBT dipicu oleh sumber tegangan pulsa 10 VDC. Karakteristik switching IGBT dijelaskan pada Tabel II. Transformator yang digunakan adalah sebuah koil elektrik yang biasa digunakan pada rangkaian motor bakar. Koil elektrik yang digunakan adalah koil elektrik dengan resistor ballast internal. Koil tersebut terhubung dengan sumber bebas sebesar 12 V. Perbandingan lilitan pada koil adalah sebesar 1:100. Spesifikasi karakteristik koil elektrik yang digunakan secara rinci disajikan pada Tabel III. Tegangan tinggi yang dihasilkan pada rangkaian ini akan disalurkan ke beban melalui elektrode berupa stainless steel padat untuk proses PEO.

TABEL I
RATING MAKSIMAL IGBT

Simbol	Deskripsi	Rating	Satuan
V_{CES}	Tegangan kolektor-emitter	1200	V
V_{GES}	Tegangan gate-emmitter	± 20	V
I_c	Arus kolektor @ $T_c = 25^\circ C$	50	A
	Arus kolektor @ $T_c = 25^\circ C$	25	A
	Arus maju kontinyu dioda	50	A
I_F	Arus maju kontinyu dioda	25	A
I_{FM}	Arus maju maksimum dioda	150	A
P_D	Disipasi daya maksimum @ $T_c = 25^\circ C$	312	W
	Disipasi daya maksimum @ $T_c = 25^\circ C$	125	W

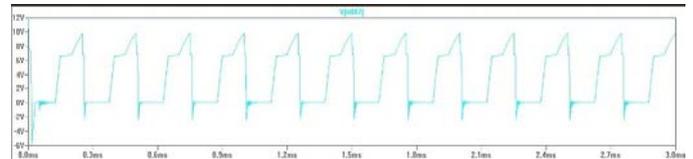
TABEL II
KARAKTERISTIK SWITCHING IGBT

Simbol	Parameter	Kodisi uji	Min.	Tipikal	Max.	Sat.	
$t_{d(on)}$	Turn-on delay time	$V_{CC} = 600 V,$ $I_c = 25 A, R_G = 10\Omega,$ $V_{GE} = 15 V,$ beban induktif, $T_c = 25^\circ C$	--	50	--	ns	
t_r	Rise time		--	60	--	ns	
$t_{d(off)}$	Turn-off delay time		--	190	--	ns	
t_f	Fall time		--	100	--	ns	
E_{on}	Turn-on switching loss		--	4,1	--	mJ	
E_{off}	Turn-off switching loss		--	0,96	--	mJ	
E_{ts}	Total switching loss		--	5,06	--	mJ	
$t_{d(on)}$	Turn-on delay time		$V_{CC} = 600 V,$ $I_c = 25 A, R_G = 10\Omega,$ $V_{GE} = 15 V,$ beban induktif, $T_c = 125^\circ C$	--	50	--	ns
t_r	Rise time			--	60	--	ns
$t_{d(off)}$	Turn-off delay time			--	200	--	ns
t_f	Fall time	--		154	--	ns	
E_{on}	Turn-on switching loss	--		4,3	--	mJ	
E_{off}	Turn-off switching loss	--		1,5	--	mJ	
E_{ts}	Total switching loss	--		5,8	--	mJ	
Q_g	Total gate charge	$V_{CC} = 600 V,$ $I_c = 25 A, V_{GE} = 15 V$	--	200	--	nC	
Q_{ge}	Gate-emitter charge		--	15	--	nC	
Q_{gc}	Gate-collector charge		--	100	--	nC	

Pengujian hasil simulasi dilakukan dengan pengukuran pada rangkaian yang telah dibuat. Nilai tegangan dan bentuk gelombang hasil pengukuran dari rangkaian dibandingkan dengan gelombang yang dihasilkan oleh simulasi.

TABEL III
SPESIFIKASI KARAKTERISTIK KOIL ELEKTRIK

Spesifikasi	Nilai	Sat.
Tegangan pada sisi primer	12	V
Resistansi pada sisi primer	1,7 – 1,43	Ω
Resistansi pada sisi sekunder	11.200-16.800	Ω
Resistor ballast	1,3 – 1,7	Ω



Gbr. 6 Tegangan masukan gate IGBT.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembangkitan tegangan tinggi DC dapat dilakukan dengan berbagai metode. Umumnya peneliti menggunakan rangkaian *boost* dan pengkali tegangan untuk membangkitkan tegangan tinggi DC. Pada makalah ini dilakukan pembangkitan tegangan tinggi dengan metode *flyback*.

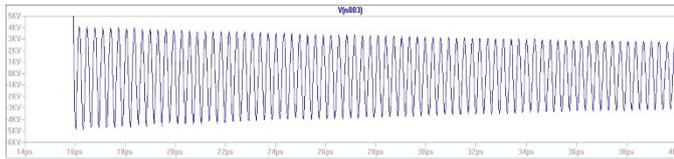
Hasil dari simulasi dan rangkaian riil diukur dan diamati. Terdapat tiga bagian yang diukur dan diamati. Bagian tersebut ialah tegangan masukan pada *gate* IGBT, tegangan keluaran transformator sebelum diode, dan tegangan keluaran sesudah diode.

A. Pengukuran Hasil Simulasi

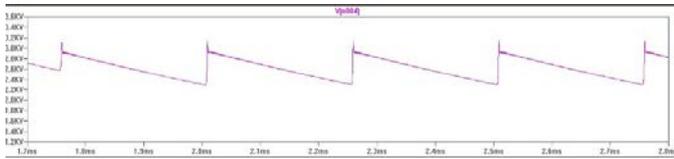
Hasil perancangan rangkaian pembangkit tegangan tinggi *flyback* pada simulasi dilihat dan diamati pada tiga titik utama seperti yang telah dijelaskan. Bentuk gelombang yang dihasilkan simulasi selanjutnya dianalisis.

Gbr. 6 menunjukkan bentuk gelombang tegangan masukan simulasi pada *gate* IGBT. Tegangan pulsa yang memicu kerja IGBT membuat bentuk gelombang pada *gate* IGBT berupa pulsa (kotak). Akan tetapi, gelombang yang dihasilkan *gate* IGBT pada simulasi merupakan bentuk gelombang cacat. Terdapat *spike* pada gelombang tersebut. Tegangan cacat yang muncul pada gelombang diakibatkan *ringing* reaktans parasit pada transformator. Efek *flyback* yang dihasilkan transformator pada sisi primer dengan membawa energi yang tersimpan di sana juga memengaruhi munculnya tegangan lonjakan. Hal tersebut juga memengaruhi gelombang sehingga berbentuk cacat.

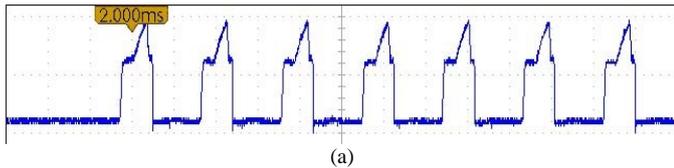
Pada simulasi, bentuk gelombang tegangan keluaran transformator sebelum D1 ditunjukkan pada Gbr. 7. Bentuk gelombang yang dihasilkan terlihat seperti gelombang osilasi yang cukup linear. Bentuk gelombang tersebut dipengaruhi oleh resistans yang ada pada rangkaian. Pada sisi sekunder transformator telah dihasilkan tegangan tinggi, yang ditunjukkan pada Gbr. 7. Nilai puncak sesaat maksimal yang dihasilkan simulasi mencapai 4 kV. Hal ini menunjukkan metode *flyback* berhasil bekerja. Efek *flyback* terjadi saat IGBT dalam keadaan mati. Kondisi tersebut akan memutus arus yang mengalir pada kumparan primer secara tiba-tiba sehingga induksi diri akan muncul dan menginduksi sisi sekunder.



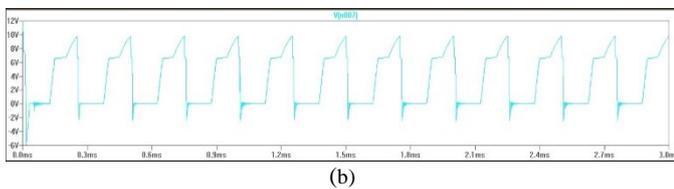
Gbr. 7 Tegangan keluaran transformator sebelum diode.



Gbr. 8 Tegangan keluaran transformator setelah diode.



(a)



(b)

Gbr. 9 Tegangan masukan, (a) Hasil pengukuran langsung, (b) Hasil simulasi.

Tegangan keluaran transformator setelah D1 yang ditunjukkan pada Gbr. 8 menggambarkan bahwa tegangan mencapai 3 kV dengan kondisi tegangan stabil pada rentang tegangan antara 2 kV – 3 kV. Tegangan mengalami penurunan secara perlahan pada kurun waktu tertentu. Hal tersebut terjadi karena pengaruh pelepasan energi kapasitor C1 yang kemudian akan naik secara tiba-tiba. Tegangan masukan berupa pulsa dengan keadaan hidup-mati yang diatur berpengaruh terhadap bentuk gelombang tersebut. Gelombang berada pada daerah positif karena kerja diode D1.

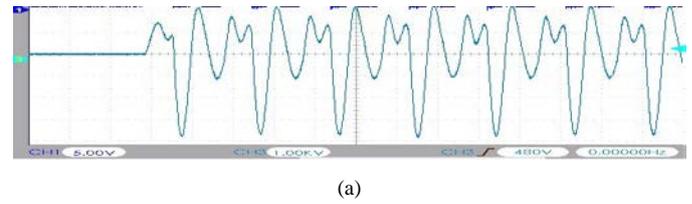
B. Pengujian dan Deskripsi Perbandingan

Pengujian hasil simulasi dilakukan dengan mengukur langsung rangkaian *flyback* yang telah dibuat. Pada pengujian, diukur dan diamati besaran tegangan dan bentuk gelombang masukan pada *gate* IGBT. Selain bentuk gelombang dan nilai tegangan masukan, tegangan dan gelombang keluaran dari koil yang terhubung ke beban juga diukur dan diamati.

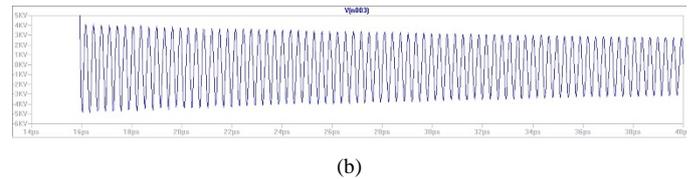
Terlihat pada Gbr. 9 bahwa bentuk gelombang pada *pin gate* IGBT simulasi sama dengan bentuk hasil pengukuran. Bentuk gelombang yang dihasilkan dari sumber tegangan pulsa (kotak) sama-sama menghasilkan gelombang kotak cacat. Kedua gelombang tersebut memiliki profil gelombang yang mirip.

Gbr. 10 menunjukkan perbandingan hasil pengukuran dengan simulasi tegangan keluaran transformator sebelum diode. Bentuk gelombang pada simulasi terlihat menghasilkan gelombang osilasi yang cukup linear, sedangkan osilasi yang dihasilkan pengukuran rangkaian lebih random. Hal ini disebabkan oleh kondisi nyata pada rangkaian yang memiliki

losses tertentu akibat resistans, induktans, dan kapasitans pada masing-masing komponen. Akan tetapi, nilai yang dihasilkan mendekati sama. Tegangan puncak sesaat pada pengukuran mencapai 2 kV, begitu juga dengan simulasi yang mencapai tegangan puncak sesaat 2 kV.

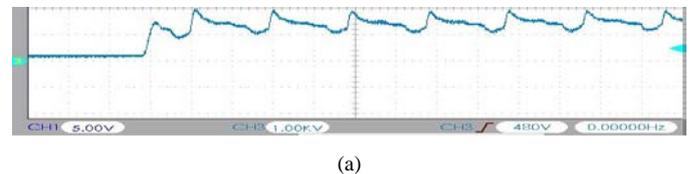


(a)

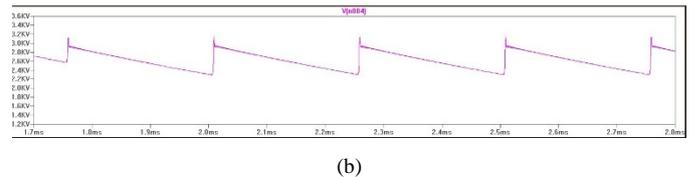


(b)

Gbr. 10 Tegangan keluaran transformator sebelum dioda, (a) Hasil pengukuran langsung, (b) Hasil simulasi.



(a)



(b)

Gbr. 11 Tegangan keluaran transformator setelah diode, (a) Hasil pengukuran, (b) Hasil simulasi.

Pada Gbr. 11 tampak bahwa kedua gelombang memiliki bentuk profil yang mirip. Tegangan mengalami penurunan secara perlahan pada kurun waktu tertentu, kemudian naik secara tiba-tiba berdasarkan sifat respons rangkaian R-C pada sumber pulsa. Pada rangkaian riil, nilai C diimplementasikan dengan jarak antar elektrode yang telah ditetapkan secara permanen. Jarak yang diterapkan pada beban rangkaian *flyback* berpengaruh terhadap tegangan yang dibangkitkan [1]. Kedua gelombang di atas sama-sama berada pada daerah positif karena kerja diode. Rangkaian *flyback* yang telah disimulasikan dan dibuat menghasilkan tegangan keluaran rata-rata sebesar 1 kV.

IV. KESIMPULAN

Pembangkitan tegangan tinggi untuk membangkitkan plasma pada proses PEO menggunakan metode *flyback* telah dilakukan. Simulasi rangkaian pada LTSpice IV mampu merepresentasikan rangkaian *flyback* yang telah dibuat. Bentuk profil gelombang pada hasil simulasi dan pada pengukuran memiliki kemiripan. Hanya pada keluaran transformator sebelum diode pada simulasi dan pengujian riil saja yang menghasilkan gelombang yang sedikit berbeda.

Akan tetapi, perbedaan tersebut tidak terlalu berpengaruh terhadap gelombang keluaran pada beban PEO. Hal ini dapat terjadi karena kondisi rangkaian memiliki nilai-nilai resistans, kapasitans, dan induktans yang muncul secara tidak terduga. Besaran tegangan yang dihasilkan simulasi dan pengukuran juga sama. Dengan masukan 10 VDC, rangkaian *flyback* dapat menghasilkan tegangan keluaran konstan sebesar 1 kV. Model dalam simulasi mampu merepresentasikan model plasma pada proses PEO untuk desain rangkaian dengan metode *flyback*, sehingga desain *flyback* dapat digunakan untuk pemodelan beban PEO yang menggunakan sifat rangkaian R-C. Dengan hasil yang demikian, model dalam metode *flyback* dapat digunakan untuk pembangkitan tegangan tinggi pada aplikasi PEO.

REFERENSI

- [1] N. Barsoum dan G. I. Stanley, "Design of High Voltage Low Power Supply Device," *Universal Journal of Electrical & Electronic Engineering*, vol. 3, no. 1, pp. 6–12, 2015.
- [2] M. Aliofkhaezrai and A. S. Rouhaghdam, *Fabrication of nanostructures by plasma electrolysis*, Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag&Co., 2010.
- [3] L. Pezzato, K. Brunelli, S. Gross, M. Magrini, and M. Dabal, "Effect of process parameters of plasma electrolytic oxidation on microstructure and corrosion properties of magnesium alloys," *J. Appl. Electrochem.*, vol. 44, no. 7, pp. 867–879, 2014.
- [4] C. S. Dunleavy, I. O. Golosnoy, J. A. Curran, and T. W. Clyne, "Characterisation of discharge events during plasma electrolytic oxidation," *Surf. Coatings Technol.*, vol. 203, no. 22, pp. 3410–3419, 2009.
- [5] A. Fatkullin, E. V. Parfenov, and A. Yerokhin, "Equivalent Circuit Modelling for Pulsed Bipolar Plasma Electrolytic Oxidation Process," *Int. J. Inf. Electron. Eng.*, vol. 5, no. 1, pp. 3–7, 2015.
- [6] A. L. Yerokhin, X. Nie, A. Leyland, A. Matthews, and S. J. Dowey, "Plasma electrolysis for surface engineering," *Surf. Coatings Technol.*, vol. 122, no. 2–3, pp. 73–93, 1999.
- [7] V. Dehnavi, B. L. Luan, D. W. Shoesmith, X. Y. Liu, and S. Rohani, "Effect of duty cycle and applied current frequency on plasma electrolytic oxidation (PEO) coating growth behavior," *Surf. Coatings Technol.*, vol. 226, pp. 100–107, 2013.
- [8] K. C. Wu, *Pulse Width Modulated DC/DC Converters*, Dordrecht : Springer Science Business Media ®. Chapman & Hall in 1997, 1997.
- [9] P. Davari, F. Zare, A. Ghosh, and H. Akiyama, "High-voltage modular power supply using parallel and series configurations of flyback converter for pulsed power applications," *IEEE Trans. Plasma Sci.*, vol. 40, no. 10 PART 1, pp. 2578–2587, 2012.
- [10] J. R. Dreher, F. Marangoni, J. L. R. Ortiz, M. L. S. Martins, and H. T. Câmara, "Integrated DC / DC Converters for High Step-up Voltage Gain Applications," *3rd IEEE International Symposium on Power Electronics for distributed Generation system (PEDG)*, 2012, hal. 1–8.