

PERANCANGAN PEMBANGKIT TEGANGAN TINGGI IMPULS EKSPONENSIAL GANDA RANGKAIAN R-C

Dwaldes Bernad^{*)}, Abdul Syakur, dan Agung Warsito

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

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

Abstrak

Pembangkitan tegangan tinggi saat ini sudah sangat berkembang di Indonesia. Sudah banyak sekali peralatan-peralatan yang menggunakan spesifikasi tegangan tinggi. Dengan adanya peralatan tegangan tinggi ini maka diperlukan juga isolasi tegangan tinggi dalam setiap perangkatnya. Salah satu metode pengujian isolasi tegangan tinggi adalah dengan menggunakan tegangan tinggi impuls. Pada Tugas Akhir ini dirancang pembangkit tegangan tinggi impuls eksponensial ganda rangkaian R-C sehingga dapat menghasilkan tegangan impuls petir yang sesuai standar. Standar yang berisi tentang gelombang keluaran impuls adalah IEC 60060-1. Purwarupa yang dibuat semakin sederhana dan lebih mudah dalam pengoperasiannya. Sehingga dalam pengujian, seorang penguji dapat melakukannya dengan lebih aman dan efisien. Diharapkan gelombang keluaran dari rancangan ini sudah sesuai dengan standar tersebut. Gelombang impuls yang memenuhi standar adalah gelombang yang memiliki waktu muka sebesar $1,2 \mu\text{s}$ dengan toleransi sebesar $\pm 30\%$. Lalu yang diharapkan dari waktu ekornya adalah sebesar $50 \mu\text{s}$ dengan toleransi yaitu $\pm 20\%$. Dari hasil pengujian yang dilakukan nilai waktu ekor yang diperoleh hanya sekitar $23 \mu\text{s}$ hingga $29 \mu\text{s}$. Nilai ini belum sesuai dengan standarnya. Oleh karena itu pengujian ini masih bisa diperbaiki kedepannya untuk memperbaiki waktu ekor agar dapat sesuai dengan standar yang diharapkan.

Kata Kunci: tegangan tinggi impuls, Rangkaian R-C, standar IEC 60060-1, waktu muka, waktu ekor.

Abstract

High voltage generation is currently very developed in Indonesia. There are a lot of equipment that uses high voltage specifications. With this high voltage equipment, high voltage isolation is needed in each device. One method of testing high voltage insulation is to use high voltage impulses. In this Final Project designed high voltage dual exponential impulse R-C circuit so that it can produce lightning impulse voltage according to the standard. The standard that contains the impulse output wave is IEC 60060-1. The prototype is made simpler and easier to operate. So that in testing, a tester can do it more safely and efficiently. It is expected that the output wave from this design is in accordance with these standards. Impulse waves that meet the standard are waves that have a face time of $1.2 \mu\text{s}$ with a tolerance of $\pm 30\%$. Then what is expected from the tail time is $50 \mu\text{s}$ with a tolerance of $\pm 20\%$. From the test results, the tail time value obtained was only around $23 \mu\text{s}$ to $29 \mu\text{s}$. This value is not in accordance with the standard. Therefore, this test can still be improved in the future to improve the tail time so that it can be in accordance with the expected standards.

Keywords: high impulse voltage, R-C circuit, IEC 60060-1 standard, face time, tail time.

1. Pendahuluan

Saat ini, tegangan tinggi semakin banyak digunakan dalam kehidupan. Pada umumnya tegangan tinggi digunakan untuk keperluan transmisi tenaga listrik, penelitian dan pengujian tegangan tinggi di laboratorium. Pembangkit tegangan tinggi terdiri atas pembangkit tegangan tinggi AC, pembangkit tegangan tinggi DC, dan pembangkit tegangan tinggi impuls [1]. Tegangan impuls merupakan gelombang tegangan dengan karakteristik yang unik. Tegangan yang dihasilkan pada gelombang impuls yaitu tegangan yang naik pesat mencapai nilai tertentu kemudian

jatuh menuju nilai nol. Pada umumnya tegangan tinggi impuls dibangkitkan untuk keperluan pengujian isolasi suatu sistem. Untuk keperluan tersebut, tegangan tinggi impuls yang dibangkitkan harus memenuhi standar tertentu. Menurut standar IEC 60060-1, tegangan impuls yang diperlukan untuk pengujian isolasi memiliki waktu muka $1,2 \mu\text{s}$ dan waktu ekor $50 \mu\text{s}$. Toleransi yang diperbolehkan adalah 20% untuk waktu ekor dan 30% untuk waktu muka.

Menurut Rifky Nurmansyah, penambahan komponen R_s , ditujukan untuk menahan arus pengisian kapasitor. Setelah dilakukan pengujian ternyata tidak ada perubahan yang

signifikan pada setiap parameternya antara menggunakan R_s maupun tanpa menggunakan R_s . Hal ini dikarenakan trafo uji yang digunakan pada saat pengujian memiliki rating arus pada sisi sekunder yang relative sangat kecil, jadi tanpa melakukan penambahan komponen R_s sudah didapatkan hasil gelombang seperti yang diinginkan [2].

Pada penelitian sebelumnya, beliau menguji variasi resistor pengisian pada rangkaian R-C. Untuk penelitian lebih lanjut, penulis akan menguji variasi resistor pengukuran pada rangkaian R-C untuk lebih mengetahui dampak variasi tersebut terhadap karakteristik gelombang impuls yang dihasilkan.

Pada skala laboratorium, tegangan tinggi impuls dihasilkan untuk penelitian dan pengujian. Pembangkitan tegangan impuls dapat dilakukan dengan menggunakan rangkaian R-C [3]. Rangkaian R-C merupakan kombinasi resistor dan juga kapasitor yang dirangkai sehingga membentuk rangkaian pembangkit tegangan tinggi impuls. Keluaran dari rangkaian R-C merupakan gelombang eksponensial ganda yang berbentuk menyerupai tegangan impuls [4]. Nilai-nilai dari komponen penyusunan rangkaian akan menentukan bentuk gelombang keluaran yang dihasilkan. Perangkat keras yang direalisasikan akan digunakan sebagai modul praktikum di Laboratorium Konversi Energi Listrik dan Sistem Tenaga.

Pada tugas akhir ini akan dirancang rangkaian pembangkitan tegangan tinggi impuls eksponensial ganda berbasis rangkaian R-C dengan 2 macam topologi. Variasi akan dilakukan pada besarnya kapasitor keluaran dan juga pada jarak sela pada elektroda. Masing-masing rangkaian akan disusun sehingga dapat menghasilkan impuls petir. Kemudian, gelombang keluaran yang dihasilkan akan dibandingkan dengan satu sama lain menurut variasi yang akan dilakukan. Gelombang keluaran yang dihasilkan diharapkan mampu menghasilkan tegangan impuls yang sesuai dengan standar IEC 60060-1[5].

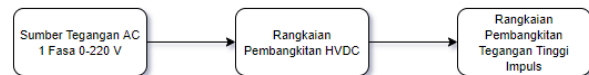
Adapun tujuan utama dari pembuatan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan membuat modul pembangkit tegangan tinggi impuls yang akan dimanfaatkan untuk modul praktikum di Laboratorium Konversi Energi Listrik dan Sistem Tenaga.
2. Mengetahui pengaruh topologi yang digunakan melalui analisis terhadap nilai tegangan keluaran pada rangkaian pengujian pembangkit tegangan tinggi impuls.
3. Mengetahui pengaruh jarak sela yang digunakan pada elektroda terhadap tegangan saat terjadinya impuls.
4. Mengetahui variabel resistor pengisian terhadap nilai waktu muka dan waktu ekor pada rangkaian pengujian pembangkit tegangan tinggi impuls.

2. Metode

2.1. Perancangan Perangkat Keras (Hardware)

Perancangan perangkat keras terdiri dari rangkaian sumber tegangan arus bolak - balik 1 fasa, rangkaian pembangkit tegangan tinggi arus searah dan rangkaian pembangkit tegangan tinggi impuls. Diagram blok perangkat keras yang dirancang pada tugas akhir ini ditunjukkan pada Gambar 1.



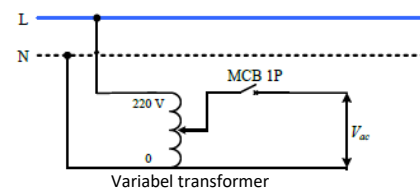
Gambar 1. Diagram Blok Perangkat Keras

Spesifikasi perangkat keras yang telah dirancang pada tugas akhir ini berdasarkan Gambar 1. adalah sebagai berikut :

1. Sumber tegangan arus bolak - balik 1 Fasa sebagai sumber tegangan masukan untuk rangkaian pembangkitan tegangan tinggi arus searah dengan menggunakan regulator tegangan.
2. Rangkaian pembangkitan tegangan tinggi arus searah digunakan untuk menghasilkan tegangan tinggi arus searah yang akan menjadi suplai bagi blok rangkaian pembangkitan tegangan tinggi impuls.
3. Rangkaian pembangkitan tegangan tinggi impuls sebagai pembentuk gelombang impuls.

2.1.1. Sumber Tegangan Arus Bolak-Balik 1 Fasa

Suplai tegangan arus bolak - balik 1 fasa berasal dari jala-jala PLN dengan tegangan 220 V Line to Netral dengan frekuensi 50 Hz seperti Gambar 3.3.



Gambar 2. Rangkaian Suplai Tegangan 1 Fasa

Variabel transformator digunakan untuk memvariasikan tegangan. Variabel transformator yang digunakan memiliki spesifikasi tegangan keluaran maksimal 250 V dengan arus maksimal 5 A. Sumber tegangan arus bolak - balik satu fasa digunakan sebagai sumber tegangan untuk mensuplai rangkaian pembangkit tegangan tinggi arus searah.

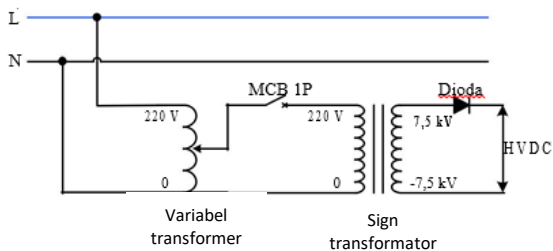
Kemudian tegangan jala-jala dihubungkan dengan sign transformer dengan perbandingan 220 V / 15000 V. Sehingga diperoleh perhitungan sebagai berikut.

$$V_{out} = \frac{V_{in}}{220 V} * 15000 V$$

Dari persamaan di atas maka akan diperoleh tegangan tinggi arus bolak-balik. Tegangan tinggi arus bolak-balik yang merupakan tegangan dengan gelombang sinusoidal.

2.1.2. Pembangkitan Tegangan Tinggi Arus Searah

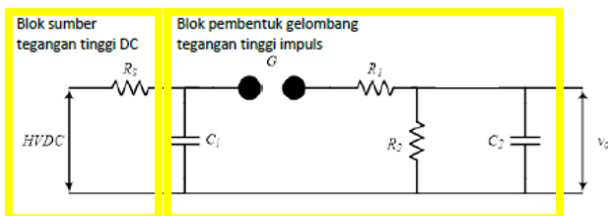
Pada penelitian ini digunakan rangkaian penyearah setengah gelombang dengan tegangan output akan dibatasi pada nilai 14 kV. Gambar 3 menunjukkan rangkaian penyearah setengah gelombang. Pada rangkaian digunakan sebuah diode tegangan tinggi. Sumber tegangan tinggi arus bolak-balik 1 fasa yang digunakan diperoleh dari trafo uji yang terhubung dengan variabel transformer.



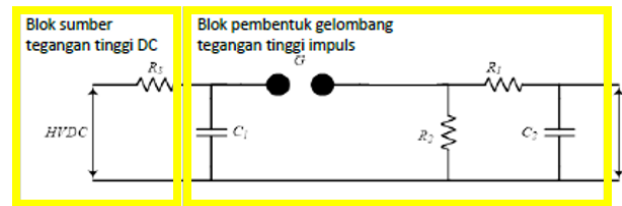
Gambar 3. Rangkaian Pembangkit Tegangan Tinggi Arus Searah

2.1.3. Pembangkitan Tegangan Tinggi Impuls

Pembangkitan Tegangan tinggi impuls dapat dihasilkan melalui berbagai topologi. Pada penelitian ini akan dibahas dan dibuat rangkaian pembangkit tegangan tinggi impuls topologi B dan topologi C [3]. Gambar 4 dan Gambar 5 merupakan rangkaian yang akan direalisasikan menjadi perangkat keras. Masing-masing rangkaian terdiri dari blok sumber tegangan tinggi arus searah dan blok pembentuk gelombang tegangan tinggi impuls.



Gambar 4. Topologi B



Gambar 5. Topologi C

Pada blok sumber tegangan tinggi arus searah terdapat R_s yang merupakan tahanan pengisian. R_s berfungsi untuk membatasi muatan dari sumber tegangan tinggi arus searah supaya tidak mengisi kapasitor pengisian saat breakdown yang terjadi pada sela udara G.

Tegangan impuls yang dibangkitkan adalah tegangan impuls petir yang sesuai dengan standar IEC 60060-1, yaitu memiliki waktu muka (tf) 1,2 μs dan waktu ekor (tt) 50 μs . Berdasarkan teori bahwa nilai rangkaian R-C bisa menghasilkan impuls ketika nilai C_1 lebih besar dari nilai C_2 . Dari teori itu maka ditetapkan nilai variasi yang digunakan pada penelitian ini yaitu pada kapasitor keluaran sebesar 4,7 nF, 2,35 nF, dan 1,56 nF dengan perbandingan waktu muka dan waktu ekor sebesar 1,2/50 μs , sedangkan nilai resistornya akan didapatkan melalui perhitungan. Sedangkan untuk nilai C_1 sendiri merupakan nilai tetap yaitu sebesar 9,4 nF.

2.2. Menentukan Nilai Komponen Rangkaian Pembangkitan Tegangan Tinggi Impuls

2.2.1. Perhitungan Nilai Komponen Rangkaian Pembangkit Tegangan Impuls R-C

A. Perhitungan Nilai R_1 dan R_2 pada topologi B

Perhitungan pada rangkaian R-C dengan nilai $C_1 = 9,4$ nF, $C_2 = 4,7$ nF, $\alpha = 6,4$ dan $\theta = 5,26$ μs .

$$X = \frac{1}{\alpha^2} \left(1 + \frac{C_1}{C_2} \right)$$

$$X = \frac{1}{6,4^2} \left(1 + \frac{9,4 \cdot 10^{-9}}{4,7 \cdot 10^{-9}} \right)$$

$$X = 0,0732$$

Perhitungan nilai R_1 dengan menggunakan Persamaan

$$R_1 = \frac{\alpha \theta}{C_1} (1 - \sqrt{1 - X})$$

$$R_1 = \frac{6,4 \cdot 5,26 \cdot 10^{-6}}{9,4 \cdot 10^{-9}} (1 - \sqrt{1 - 0,0732})$$

$$R_1 = 133,5654$$

Perhitungan nilai R2 dengan menggunakan Persamaan

$$R2 = \frac{\alpha\theta}{C1 + C2} (1 + \sqrt{1 - X})$$

$$R2 = \frac{6,4 \cdot 5,26 \cdot 10^{-6}}{9,4 \cdot 10^{-9} + 4,7 \cdot 10^{-9}} (1 + \sqrt{1 - 0,0732})$$

$$R2 = 4685,991$$

Dengan menggunakan cara yang sama seperti perhitungan diatas, diperoleh hasil perhitungan R1 dan R2 menggunakan nilai kapasitor keluaran 2,35 nF dan 1,56 nF pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil perhitungan komponen R1 dan R2 topologi B berdasarkan referensi [3]

C1 (nF)	R1 (Ω)	R2 (Ω)
4,7	133,5654	4865,991
2,35	225,943	5549,302
1,56	321,527	5867,302

B. Perhitungan Nilai R1 dan R2 pada Topologi C

Perhitungan pada rangkaian R-C dengan nilai C1 = 9,4 nF, C2 = 4,7 nF, α=6,4 dan θ = 5,26 μs.

Perhitungan dengan persamaan berdasarkan referensi [3]
Perhitungan nilai X dengan menggunakan Persamaan

$$X = \frac{1}{\alpha^2} \left(1 + \frac{C1}{C2} \right)$$

$$X = \frac{1}{6,4^2} \left(1 + \frac{9,4 \cdot 10^{-9}}{4,7 \cdot 10^{-9}} \right)$$

$$X = 0,0732$$

Perhitungan nilai R1 dengan menggunakan Persamaan

$$R1 = \frac{\alpha\theta}{C1} (1 - \sqrt{1 - X})$$

$$R1 = \frac{6,4 \cdot 5,26 \cdot 10^{-6}}{4,7 \cdot 10^{-9}} (1 - \sqrt{1 - 0,0732})$$

$$R1 = 267,130$$

Perhitungan nilai R2 dengan menggunakan Persamaan

$$R2 = \frac{\alpha\theta}{C1 + C2} (1 + \sqrt{1 - X})$$

$$R2 = \frac{6,4 \cdot 5,26 \cdot 10^{-6}}{9,4 \cdot 10^{-9} + 4,7 \cdot 10^{-9}} (1 + \sqrt{1 - 0,0732})$$

$$R2 = 4685,991$$

Dengan menggunakan cara yang sama seperti perhitungan diatas, diperoleh hasil perhitungan R1 dan R2 menggunakan nilai kapasitor keluaran 2,35 nF dan 1,56 nF pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil perhitungan komponen R1 dan R2 topologi C berdasarkan referensi [3]

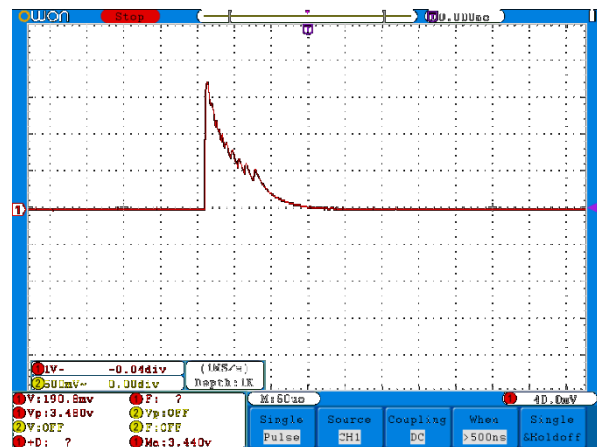
C1 (nF)	R1 (Ω)	R2 (Ω)
4,7	267,130	4865,991
2,35	902,782	5549,302
1,56	3342,595	5867,302

3. Hasil dan Analisis

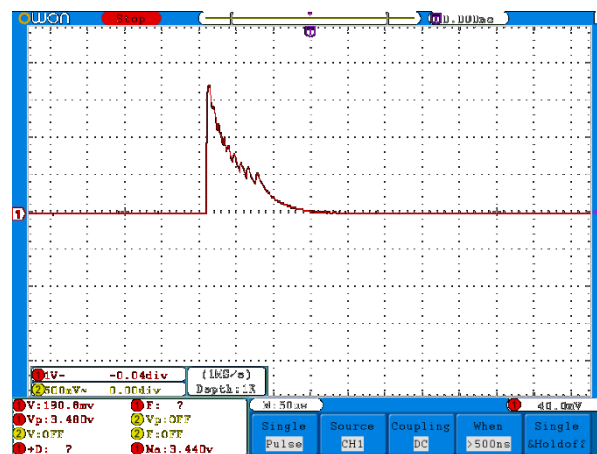
3.1. Pengujian dengan Jarak Sela 1,5 mm dan 3 mm

3.1.1. Pengujian jarak sela 1,5mm

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui variasi kapasitor pengukuran terhadap keluaran rangkaian pembangkit tegangan impuls. Lalu akan dianalisa perbandingan gelombang keluaran antara rangkaian pembangkit tegangan impuls topologi B dan topologi C pada jarak sela yang tetap.



Gambar 6 . Gelombang keluaran tegangan impuls dengan jarak sela 1,5 mm dan kapasitor pengukuran 4,7 nF pada topologi B



Gambar 7. Gelombang keluaran tegangan impuls dengan jarak sela 1,5 mm dan kapasitor pengukuran 4,7 nF pada topologi C

Gambar 6 dan Gambar 7 adalah gelombang keluaran tegangan impuls yang dihasilkan dari rangkaian pengujian. Dalam pengujian juga dilakukan variasi nilai kapasitor pengukuran yaitu sebesar 4,7 nF, 2,35 nF, dan 1,56 nF pada Data hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 3.

Berdasarkan Tabel 3 didapatkan perbandingan data hasil pengujian dimana pada tegangan masukan arus searah yang relatif sama, pada topologi C menghasilkan tegangan

keluaran yang lebih besar daripada topologi B. Nilai waktu muka pada variasi kapasitor pengukuran topologi B masih dianggap sesuai karena masih terdapat dalam batas toleransi yaitu sebesar $\pm 30\%$. sedangkan untuk variasi kapasitor pengukuran topologi C, nilai yang sesuai dengan batas toleransi hanya berlaku pada variasi 4,7 nF saja. Variasi kapasitor pengukuran 2,35 nF dan 1,56 nF masih sangat jauh dengan nilai yang diinginkan ($\pm 30\%$ dari 1,2 μ s). Hal ini dikarenakan nilai resistor pembentuk gelombang yang digunakan pada variasi kapasitor pengukuran 2,35 nF dan 1,56 topologi C dirasa kurang sesuai dengan perhitungan resistor, karena nilainya yang cukup tinggi jika dibandingkan dengan nilai yang terdapat pada variasi kapasitor pengukuran 4,7 nF. Nilai waktu ekor yang dihasilkan pada kedua topologi belum sesuai dengan waktu yang diinginkan ($\pm 20\%$ dari 50 μ s), yaitu pada kisaran 25 μ s – 26,15 μ s. Keadaan ini dapat disebabkan oleh berbagai hal, Adanya VCR (Voltage Coefficient of Resistance) pada resistor yang digunakan, sehingga nilai resistansi akan cenderung berkurang pada tegangan tinggi. Adanya kapasitansi pada sela udara yang digunakan, sehingga kemungkinan akan menyebabkan kapasitansi pengisian akan berkurang nilainya.

Tabel 3. Perbandingan antara topologi B dan topologi C pada jarak sela 1,5 mm

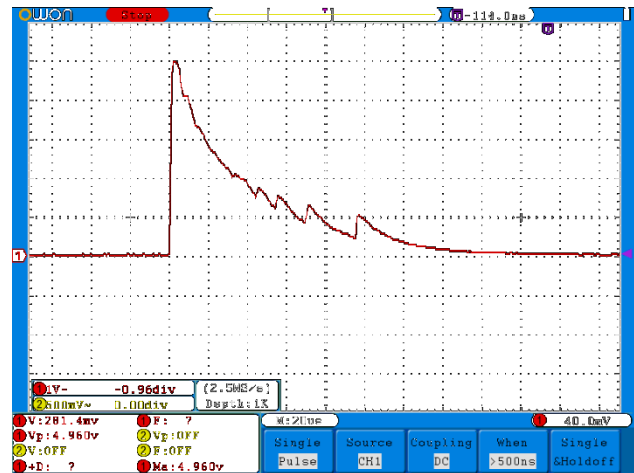
Topologi	C ₂ (nF)	V _{in} (V)	VDC(kV)	V _{max} (kV)	t _f (μ s)	t _t (μ s)
B	4,7	94,4	6,19	7,2	1,440	26,367
	2,35	95,4	6,24	7,4	1,041	24,994
	1,56	96,16	6,33	7,5	1,418	24,927
C	4,7	94,8	6,20	7,2	1,485	25,038
	2,35	98	6,24	7,8	2,349	29,611
	1,56	99,7	6,33	8,0	2,947	28,029

3.1.2. Pengujian jarak sela 3mm

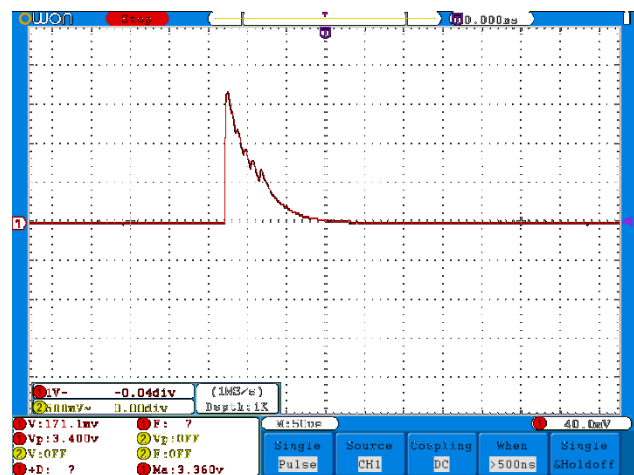
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi kapasitor terhadap gelombang keluaran rangkaian pembangkit tegangan impuls. Kemudian akan dianalisis pula perbandingan gelombang keluaran antara rangkaian pembangkit tegangan impuls topologi B dan topologi C pada jarak sela yang tetap. Gambar 8 dan Gambar 9 adalah gelombang keluaran tegangan impuls yang dihasilkan dari rangkaian pengujian. Dalam pengujian juga dilakukan variasi nilai kapasitor pengisian yaitu sebesar 4,7 nF, 2,35 nF, dan 1,56 nF. Data hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan antara topologi B dan topologi C pada jarak sela 3 mm

Topologi	C ₂ (nF)	V _{in} (V)	VDC(kV)	V _{max} (kV)	t _f (μ s)	t _t (μ s)
B	4,7	131,3	8,49	10,6	0,968	26,478
	2,35	131,4	8,51	10,6	0,952	31,685
	1,56	132,4	8,55	10,7	0,912	36,892
C	4,7	134,43	8,91	10,6	1,485	26,146
	2,35	137,87	9,05	10,7	2,264	34,122
	1,56	138,62	9,11	10,8	1,972	33,901



Gambar 8 . Gelombang keluaran tegangan impuls dengan jarak sela 3 mm dan kapasitor pengukuran 4,7 nF pada topologi B



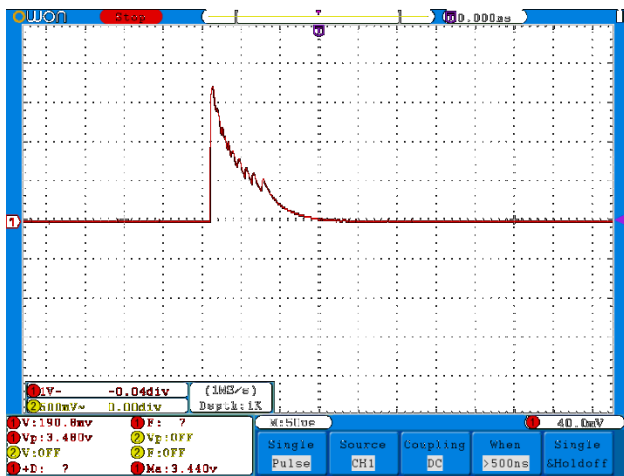
Gambar 9. Gelombang keluaran tegangan impuls dengan jarak sela 3 mm dan kapasitor pengukuran 4,7 nF pada topologi C

Berdasarkan Tabel 4 didapatkan perbandingan data hasil pengujian dimana pada tegangan masukan arus searah yang relatif sama, pada topologi C menghasilkan tegangan keluaran yang lebih besar daripada topologi B. Nilai waktu muka pada variasi kapasitor pengukuran topologi B masih dianggap sesuai karena masih terdapat dalam batas toleransi yaitu sebesar $\pm 30\%$. sedangkan untuk variasi kapasitor pengukuran topologi C, nilai yang sesuai dengan batas toleransi hanya berlaku pada variasi 4,7 nF saja. Variasi kapasitor pengukuran 2,35 nF dan 1,56 nF masih sangat jauh dengan nilai yang diinginkan ($\pm 30\%$ dari 1,2 μ s). Hal ini dikarenakan nilai resistor pembentuk gelombang yang digunakan pada variasi kapasitor pengukuran 2,35 nF dan 1,56 topologi C dirasa kurang sesuai dengan perhitungan resistor, karena nilainya yang cukup tinggi jika dibandingkan dengan nilai yang terdapat pada variasi kapasitor pengukuran 4,7 nF. Nilai waktu ekor yang dihasilkan pada kedua topologi belum sesuai dengan

waktu yang diinginkan ($\pm 20\%$ dari $50 \mu\text{s}$), yaitu pada kisaran $26 \mu\text{s} - 36 \mu\text{s}$. Keadaan ini dapat disebabkan oleh berbagai hal, Adanya VCR (Voltage Coefficient of Resistance) pada resistor yang digunakan, sehingga nilai resistansi akan cenderung berkurang pada tegangan tinggi. Adanya kapasitansi pada sela udara yang digunakan, sehingga kemungkinan akan menyebabkan kapasitansi pengisian akan berkurang nilainya.

3.2. Membandingkan Jarak Sela 1,5 mm dengan 3,0 mm pada topologi B

Pengujian dengan membandingkan jarak antara topologi B pada jarak sela 1,5 mm dan juga 3,0 mm dilakukan untuk mengetahui pengaruh jarak sela terhadap tegangan yang dibutuhkan untuk menghasilkan tegangan impuls.



Gambar 10. Gelombang keluaran tegangan impuls dengan jarak sela 1,5 mm dan kapasitor pengukuran 4,7 nF pada topologi B



Gambar 11. Gelombang keluaran tegangan impuls dengan jarak sela 1,5 mm dan kapasitor pengukuran 4,7 nF pada topologi B

Berdasarkan pengujian yang dilakukan dengan memvariasi nilai jarak sela yaitu 1,5 mm dan juga 3 mm pada topologi yang sama. Dalam pengujian ini diambil contoh untuk menggunakan topologi B untuk dibandingkan, maka dihasilkan nilai nilai yang tertera dalam tabel 5.

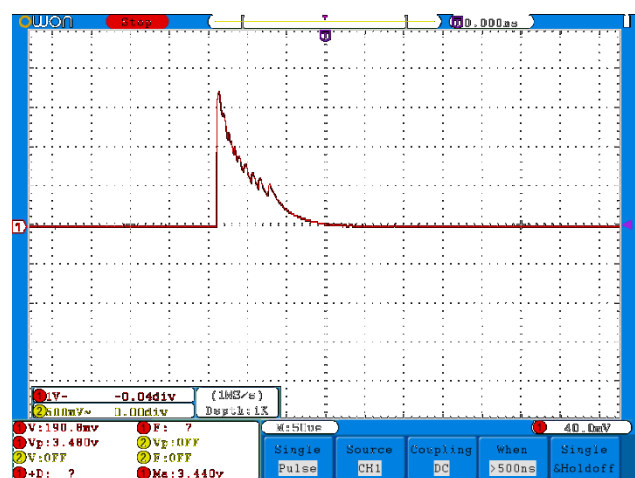
Tabel 5. Perbandingan jarak sela pada topologi B

Jarak Sela	C ₂ (nF)	V _{in} (V)	VD(kV)	V _{max} (kV)	t _f (μs)	t _t (μs)
1,5mm	4,7	94,4	6,19	7,2	1,440	26,367
	2,35	95,4	6,24	7,4	1,041	24,994
	1,56	96,16	6,33	7,5	1,418	24,927
3mm	4,7	131,3	8,49	10,6	0,968	26,478
	2,35	131,4	8,51	10,6	0,952	31,685
	1,56	132,4	8,55	10,7	0,912	36,892

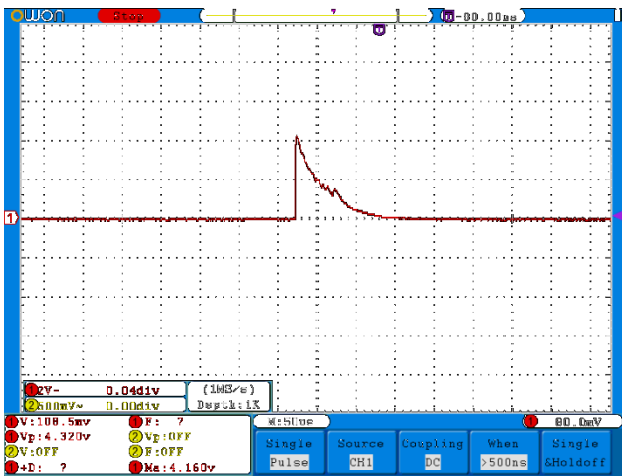
Dari pengujian di atas dapat dilihat bahwa tegangan yang dibutuhkan untuk menghasilkan impuls antara jarak 1,5 mm dan juga 3 mm terlihat sangat berbeda. Pada jarak sela 3 mm tegangan impuls dapat timbul pada tegangan antara 10,6 kV – 10,7 kV. Sedangkan pada jarak 1,5 mm tegangan impuls yang timbul sebesar 7,2 kV – 7,5 kV. Untuk waktu muka dan waktu ekor yang dihasilkan juga dapat terlihat perbedaannya. Pada saat jarak sela 1,5, waktu muka yang dihasilkan melebihi $1 \mu\text{s}$ sedangkan saat jarak sela 3mm yang waktu muka yang dihasilkan pada gelombang tidak sampai $1 \mu\text{s}$. Namun keduanya masih sesuai dengan standar IEC 60060-1 yang mana waktu muka yang terjadi pada impuls adalah senilai $1,2 \mu\text{s}$ dengan toleransi $\pm 30\%$. Namun untuk waktu ekornya, keduanya masih tidak ada yang memenuhi jumlah hingga $50 \mu\text{s}$.

3.3. Pengujian dengan dan tanpa resistor pengisian

Pengujian ini dilakukan untuk membandingkan pembangkit tegangan impuls dengan dan tanpa menggunakan resistor pengisian. Diambil percobaan menggunakan jarak sela tetap 1,5mm dan dengan topologi B.



Gambar 12. Gelombang keluaran tegangan impuls jarak sela 1,5 mm dan kapasitor pengukuran 4,7 nF tanpa resistor pengisian



Gambar 13. Gelombang keluaran tegangan impuls jarak sela 1,5 mm dan kapasitor pengukuran 4,7 nF dengan resistor pengisian

Dari percobaan yang sama hingga variasi kapasitor pengukuran 2,35 nF dan 1,56 nF maka diperoleh data pada tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan dengan dan tanpa resistor pengisian

C ₂ (nF)	R _s	V _{in} (V)	VDC (kV)	V _{max} (kV)	t _f (μs)	t _t (μs)
4,7		94,7	6,21	7,3	1,219	24,706
2,35	0	95,2	6,23	7,4	1,485	26,589
1,56		95,9	6,26	7,8	1,728	23,376
4,7		96,8	6,19	7,6	1,485	26,921
2,35	1k	97,2	6,20	7,7	2,742	27,364
1,56		99,3	6,29	7,9	3,058	29,802

Pada pengujian tegangan tinggi impuls dengan dan tanpa menggunakan resistor pengisian (R_s) tidak begitu ada dampak yang signifikan karena fungsi dari resistor pengisian ini hanya ditujukan untuk menahan arus pengisian kapasitor. Hal ini dikarenakan arus sekunder yang dihasilkan dari *sign transformer* relatif sangat kecil.

4. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisis yang dilakukan pada perancangan pembangkit tegangan tinggi impuls eksponensial ganda rangkaian RC telah berhasil dibuat dengan membandingkan 2 buah topologi rangkaian yang ada, yaitu topologi B dan topologi C. Pada topologi B dengan jarak sela 1,5 mm adalah sebesar 7,2-7,5 kV. Pada topologi C dengan jarak sela 1,5 mm dihasilkan tegangan tinggi impuls sebesar 7,2 -8,0 kV. Tegangan keluaran impuls bersifat fluktuatif seiring dilakukannya variasi nilai kapasitor pengukuran.

Pada jarak sela yang berbeda, semakin jauh jarak sela yang digunakan maka akan semakin besar juga tegangan DC masukan yang dibutuhkan untuk menghasilkan tegangan

tinggi impuls. Hal ini dibuktikan dengan percobaan pada saat jarak sela 1,5 mm dan 3 mm, dimana pada saat 1,5 mm tegangan impuls yang dihasilkan sebesar 7-8 kV sedangkan pada saat jarak sela 3 mm tegangan impuls yang dihasilkan sekitar 10,5-10,8 kV.

Pengaruh yang terjadi akibat memvariasi kapasitor pengisian terhadap pengujian pembangkit impuls dengan variasi kapasitor pengukuran memiliki dampak yang hampir sama. Hal ini karena berkaitan dengan acuan referensi yang digunakan oleh penulis.

Referensi

- [1]. Tobing, Bonggas L, Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi, Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 2003.
- [2]. Nurmansyah, Rifky, "Unjuk Kerja Modul Pembangkit Impuls Eksponensial Ganda Berbasis Rangkaian R-C". Laporan Penelitian, Universitas Diponegoro. 2016.
- [3]. Salam, Mazen Abdel, dkk , "High Voltage Engineering Theory and Practice" Second Edition, Revised, expanded, Marcel Dekker, Basel, 2000.
- [4]. Bimatara, Tofan. "Kinerja Rangkaian R-C dan R-L-C dalam Pembangkitan Tegangan Tinggi Impuls". Laporan Penelitian, Universitas Diponegoro. 2016.
- [5]. IEC 60060-1: "High Voltage Test Techniques, Part 1, General Definition and Test Techniques", Geneva (1994)
- [6]. Aguet, Michel. Ianoz, Michel. "Traite d'Electricite" Volume XXII.
- [7]. Kuffel, E, dkk, "High Voltage Engineering: Fundamentals", Second Edition, Butterworth Heinemann, Oxford. 2000.
- [8]. Kind, Dieter, Pengantar Teknik Eksperimental Tegangan Tinggi. Bandung,. Indonesia: ITB, 1993.