

PERANCANGAN PEMBANGKIT TEGANGAN TINGGI DC DENGAN METODE *COCKCROFT-WALTON* TIPE *FULLWAVE*

Nofita Sari Br Ginting^{*)}, Abdul Syakur, dan Agung Nugroho

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

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

Abstrak

Pembangkitkan tegangan tinggi DC menggunakan peralatan yang ada sekarang ini masih dalam sistem yang besar, sulit dalam pengoperasian, membutuhkan biaya yang besar, dan tidak praktis. Penelitian ini merancang dan menganalisis pembangkit tegangan tinggi yang dapat mengatasi masalah-masalah tersebut, melalui perancangan pengali tegangan (*voltage multiplier*) menggunakan metode *Cockcroft-Walton* tipe *fullwave*. Tegangan masukan yang digunakan adalah 220V dengan frekuensi masukan 50 Hz dari sumber jala - jala, serta frekuensi 1000 Hz yang berasal dari *inverter*. Pengujian rangkaian *Cockcroft-Walton* dilakukan dengan variasi tingkatan masing-masing 10, 20, dan 30 tingkat. Variabel yang dianalisis adalah tegangan tinggi DC yang dibangkitkan, tegangan jatuh, dan tegangan riak pada masing-masing pengujian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai frekuensi masukan dan jumlah tingkatan mempengaruhi nilai tegangan yang dapat dibangkitkan oleh rangkaian *Cockcroft-Walton*. Tegangan tinggi DC yang dibangkitkan oleh rangkaian *Cockcroft-Walton* dengan frekuensi 50 Hz pada tingkatan 10, 20, dan 30 tingkat berturut-turut adalah 6,4442 kV, 9,3536 kV, dan 9,4178 kV, sedangkan pada frekuensi 1000 Hz pada tingkatan 10, 20, dan 30 tingkat adalah 7,0984 kV, 11,1450 kV, dan 14,1970 kV. Semakin tinggi nilai frekuensi masukan dan jumlah tingkatan pada rangkaian *Cockcroft-Walton* maka tegangan keluaran yang dihasilkan akan semakin tinggi.

Kata kunci: tegangan tinggi, voltage multiplier, Cockcroft-Walton, tipe fullwave, frekuensi tinggi, inverter

Abstract

High voltage current can be generated using several ways, such a high voltage AC generator, high voltage DC generator, and impulse generator. Generating a high voltage might be a challenging task due to its need of large-sized components, difficult to operate, and high cost, making it more impractical. This research were intended to overcome such a problem by designing a prototype of high voltage DC generator device using full wave *Cockcroft-Walton* multiplier. The prototype were built with 30 stages of *Cockcroft-Walton* multiplier which divided into three, so each part contains 10 stages. A 220V 50 Hz voltage from power outlet and 220 V 1000 Hz voltage from inverter device were used for the input voltage. Generated high voltage DC output from the device is measured at 10th, 20th, and 30th stage. Measured voltages at 220 V 50 Hz input at 10th, 20th, and 30th are 6,4442 kV, 9,3536 kV, and 9,4178 kV, respectively. By using 220 V 1000 Hz input from the inverter at 10th, 20th, and 30th stage, measured voltage are 7,0984 kV, 11,1450 kV, and 14,1970 kV, respectively. Could be concluded the higher input frequency and number of stages of *Cockcroft-Walton* multiplier the higher the output voltage.

Keywords: high voltage, voltage multiplier, Cockcroft-Walton, full wave, high frequency, inverter

1. Pendahuluan

Pengetahuan mengenai tegangan tinggi telah mengalami perkembangan yang pesat. Terdapat tiga jenis tegangan tinggi yaitu tegangan tinggi bolak-balik (AC), tegangan tinggi searah (DC), dan tegangan tinggi impuls [1]. Studi mengenai tegangan tinggi memiliki cakupan yang cukup luas seperti pembangkitan tegangan tinggi, teknik isolasi, gejala tembus listrik fenomena tegangan tinggi, medan listrik[2].

Untuk menghasilkan tegangan tinggi dapat menggunakan peralatan pembangkit tegangan tinggi bolak-balik (AC), searah (DC) dan impuls. Akan tetapi, peralatan pembangkit tegangan tinggi yang ada sekarang ini masih dalam sistem yang besar, sulit dalam pengoperasian, membutuhkan biaya yang besar, dan tidak praktis. Sehingga kurang efisien digunakan untuk aplikasi praktis dalam membangkitkan tegangan tinggi[3]. Selain itu pembangkit tegangan tinggi DC yang ada umumnya memiliki tegangan masukan 220V dengan frekuensi rendah (50 Hz). Pada penelitian ini akan dirancang dan dianalisis sebuah pembangkit tegangan tinggi DC dengan

menggunakan tegangan masukan 220V dengan frekuensi tinggi yaitu 1000 Hz.

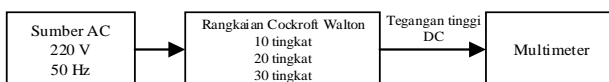
Penelitian ini merancang dan menganalisis pembangkit tegangan tinggi yang dapat mengatasi masalah-masalah tersebut, melalui perancangan memanfaatkan pembangkit tegangan tinggi DC metode *Cockcroft-Walton*. Pembangkit tegangan tinggi DC yang dirancang adalah metode *Cockcroft-Walton* dengan tipe *fullwave*. Rangkaian *Cockcroft-Walton* tipe *fullwave* dipilih karena menghasilkan tegangan jatuh dan tegangan riak yang nilainya lebih kecil bila dibandingkan dengan rangkaian *Cockcroft-Walton* tipe *halfwave* [4].

Sumber frekuensi 1000 Hz dibangkitkan melalui perangkat *inverter* 1 fasa. *Inverter* yang digunakan disusun menggunakan topologi *H-Bridge* dengan MOSFET sebagai penyusunnya. Sinyal *sinusoidal pulse width modulation* (SPWM) yang dibangkitkan oleh mikrokontroler Arduino Nano digunakan sebagai pemicu *H-Bridge* tersebut agar keluaran dari *inverter* mendekati gelombang sinus murni. Pemakaian *inverter* dimaksudkan agar lebih menunjang tujuan pembuatan pembangkit tegangan tinggi DC dengan tegangan masukan yang rendah dan frekuensi masukan yang tinggi, mudah dalam pembuatan, mudah dalam pengoperasian, dan biaya yang murah.

2. Metode

2.1. Diagram Blok Pembangkit Tegangan Tinggi DC Metode *Cockcroft-Walton* tipe *Fullwave* Sumber AC 220V 50 Hz dan 1000 Hz

Gambar 1 dan gambar 2 merupakan diagram perancangan pembangkit tegangan tinggi DC dengan metode *Cockcroft-Walton* tipe *fullwave* dengan variasi frekuensi masukan 50 Hz dan 1000 Hz. Sumber dengan frekuensi 50 Hz diambil dari sumber jala-jala, sedangkan frekuensi 1000 Hz dibangkitkan oleh sebuah perangkat *inverter*. Parameter yang akan dianalisa yaitu keluaran berupa nilai tegangan DC yang dibangkitkan oleh *Cockcroft-Walton* tipe *fullwave*.



Gambar 1. Blok diagram sistem pembangkit tegangan tinggi DC metode *Cockcroft-Walton* tipe *fullwave* sumber AC 220 V 50 Hz

Gambar 1 adalah blok diagram sistem pembangkit tegangan tinggi DC metode *Cockcroft-Walton* tipe *fullwave* sumber AC 220 V frekuensi 50 Hz yang berasal dari sumber PLN.



Gambar 2. Blok diagram sistem pembangkit tegangan tinggi DC metode *Cockcroft-Walton* tipe *fullwave* sumber 220 V 1000 Hz

Gambar 2 adalah blok diagram sistem pembangkit tegangan tinggi DC metode *Cockcroft-Walton* tipe *fullwave* sumber AC 220 V frekuensi 1000 Hz. Rangkaian pembangkit frekuensi 1000 Hz (*inverter*) disuplai oleh sumber listrik AC 220 V frekuensi 50 Hz yang berasal dari PLN. Keluaran dari rangkaian pembangkit frekuensi berupa tegangan AC 220 V dengan frekuensi 1000 Hz. Kemudian rangkaian *Cockcroft-Walton* disuplai oleh tegangan AC 220 V 1000 Hz.

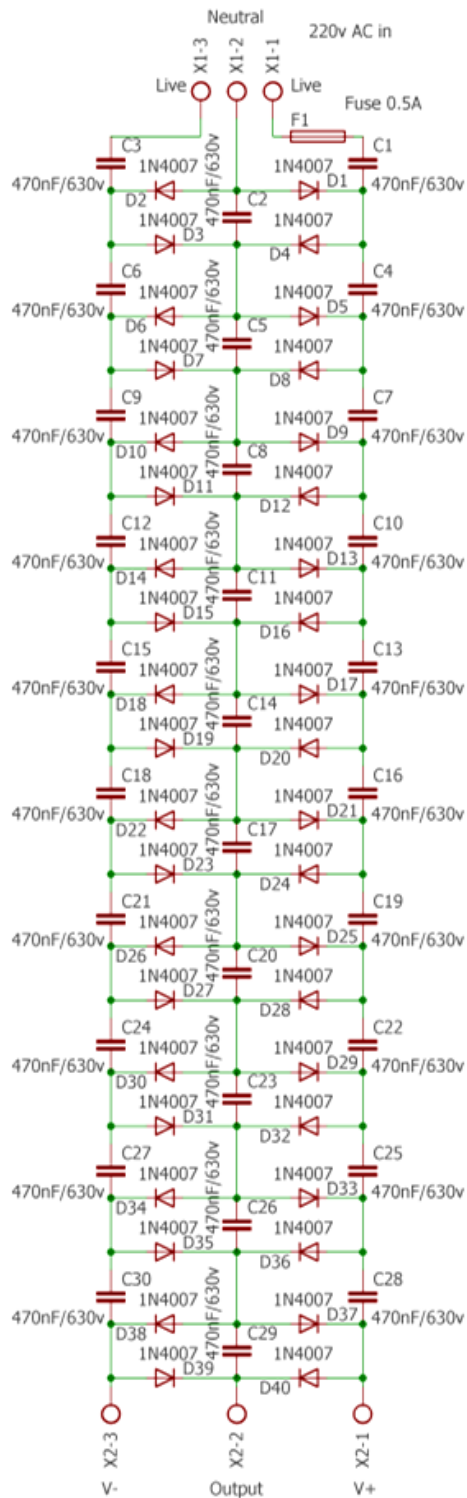
2.2. Perancangan Rangkaian Pembangkit Tegangan Tinggi DC Metode *Cockcroft-Walton* tipe *Fullwave*

Rangkaian *Cockcroft-Walton* adalah rangkaian yang penting untuk membangkitkan tegangan tinggi DC dari sumber tegangan AC yang relatif rendah yaitu 220 V. Rangkaian ini juga menghasilkan daya yang besar karena dapat membangkitkan tegangan sampai beberapa Mega Volt dengan arus sampai dengan 100mA. Komponen utama dalam rangkaian pembangkit tegangan tinggi DC metode *Cockcroft-Walton* terdiri dari diode dan kapasitor [5]. Kapasitor dan dioda tersebut dapat menghasilkan tegangan keluaran yang diinginkan. Parameter dan komponen yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komponen yang digunakan dalam perancangan *Cockcroft-Walton* tipe *fullwave*

Parameter	Spesifikasi/Nilai besaran
Tegangan Masukan	220 V AC
Jenis kapasitor	Mylar
Kapasitas Kapasitor	470 nF
Dioda	1N4007
Tingkatan	10, 20, dan 30
Frekuensi operasi	50 Hz dan 1000 Hz

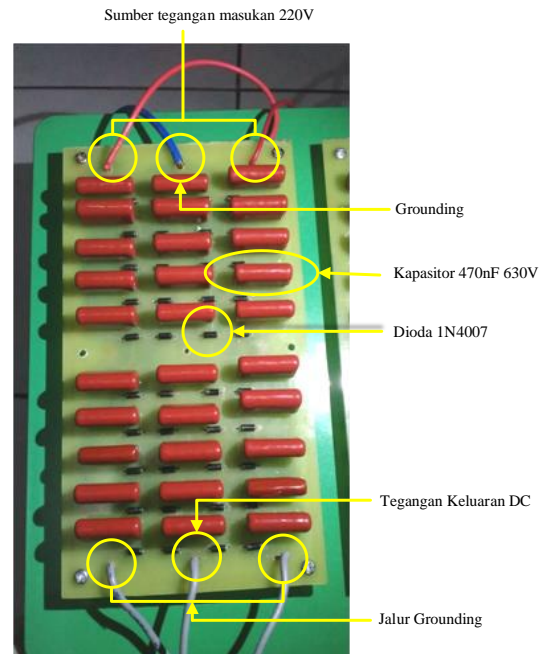
Berdasarkan parameter dan komponen yang digunakan dalam perancangan *Cockcroft-Walton* tipe *fullwave* pada Tabel 1, maka perancangan rangkaian *Cockcroft-Walton* tipe *fullwave* 10 tingkat dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Rangkaian Cokroft Walton tipe Fullwave 10 tingkat

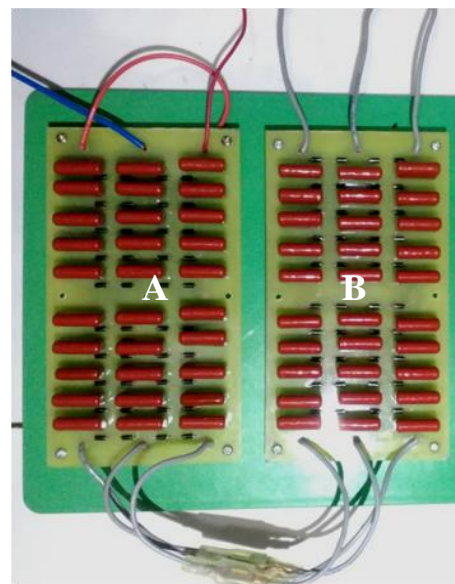
Gambar 3 merupakan rancangan rangkaian pembangkit tegangan tinggi DC metode *Cockcroft-Walton* tipe *fullwave* 10 tingkat, dimana rangkaian ini tersusun dari 40 buah diode 1N4007, 30 buah kapasitor jenis mylar dengan kapasitas kapasitor 470 nF dan tegangan kerja kapasitor yakni 630 V.

Rancangan rangkaian *Cockcroft-Walton* tipe *fullwave* 10 tingkat tersebut direalisasikan yang dapat dilihat pada Gambar 4

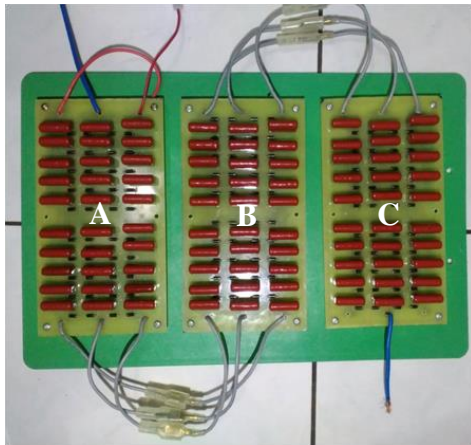


Gambar 4. Realisasi Pembangkit Tegangan Tinggi DC metode *Cockcroft-Walton* tipe *fullwave* 10 tingkat

Dengan menggunakan rancangan yang sama dan dihubungkan dengan sebuah konektor maka dihasilkan Perancangan Pembangkit Tegangan Tinggi DC metode *Cockcroft-Walton* tipe *fullwave* 20 tingkat dan 30 tingkat yang dapat dilihat pada Gambar 5 (a) dan (b)



(a)



(b)

Gambar 5. Realisasi Pembangkit Tegangan Tinggi DC metode Cockcroft-Walton tipe fullwave

- (a) 20 tingkat
- (b) 30 tingkat

Secara umum rangkaian *Cockcroft-Walton* dapat membangkitkan tegangan dengan persamaan berikut [1]

$$V_{out} = 2 \cdot n \cdot \sqrt{2} \cdot V_{eff} \quad (1)$$

Secara teoritis rangkaian *Cockcroft-Walton* dapat membangkitkan tegangan tinggi dc setinggi mungkin, namun pada praktiknya nilai tegangan keluaran akan selalu lebih kecil dari $2n\sqrt{2} V_{eff}$ karena adanya rugi – rugi tegangan pada transformator dan dioda. Nilai tegangan jatuh ini akan semakin bertambah dengan bertambahnya tingkatan [6]. Pada saat pembebanan, tegangan riak (*ripple*) meningkat secara tidak proporsional seiring bertambahnya tingkatan pada rangkaian pembangkit ini[1]

Tegangan jatuh dapat dihitung dengan persamaan berikut [7]

$$\Delta V = \frac{I}{fC} \frac{n}{3} \left[\frac{n^2}{2} + 1 \right] \quad (2)$$

Tegangan riak dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut [1][7].

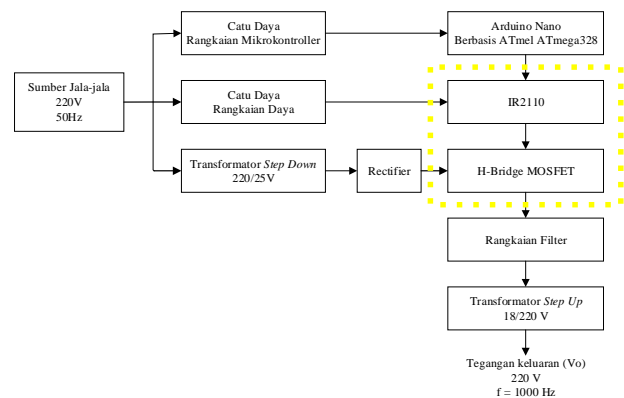
$$\delta V = \frac{I}{fC} \frac{1}{2} n \quad (3)$$

Keterangan :

- V_{out} : tegangan yang dapat dibangkitkan (V)
- ΔV : tegangan jatuh (V)
- δV : tegangan riak (V)
- I : arus beban (A)
- C : kapasitansi kapasitor (F)
- f : frekuensi AC (Hz)
- n : jumlah tingkatan

2.3. Perancangan *Inverter* 1 Fasa *H-Bridge* 1000 Hz

Fungsi *inverter* adalah mengubah tegangan masukan DC menjadi tegangan keluaran AC yang simetris dengan amplitudo dan frekuensi tertentu. Pada penelitian ini *inverter* dirancang untuk menghasilkan tegangan AC dengan frekuensi 1000 Hz dari tegangan 220 V frekuensi 50 Hz yang berasal dari sumber jala-jala. *Inverter* yang dirancang merupakan *inverter* 1 fasa dengan topologi *H-Bridge*. Untuk pembangkitan pemicuan dari *H-Bridge* tersebut, digunakan mikrokontroler Arduino Nano yang akan membangkitkan sinyal *Sinusoidal Pulse Width Modulation* (SPWM). Penggunaan SPWM dimaksudkan agar keluaran dari *inverter* yang dirancang lebih mendekati bentuk sinusoidal. Perancangan *inverter* 1 fasa *H-Bridge* 1000 Hz dapat dilihat pada Gambar 6

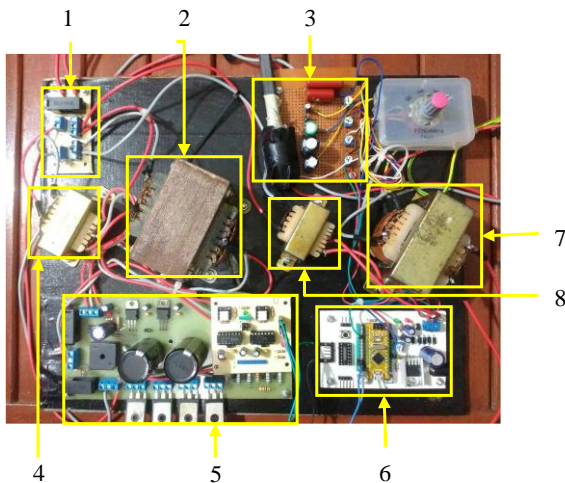


Gambar 6. Blok diagram perancangan *inverter* 1 fasa *H-Bridge* 1000 Hz

Gambar 6 merupakan blok diagram perancangan *inverter* 1 fasa *H-Bridge* 1000 Hz. Perancangan *inverter* ini meliputi Rangkaian Penyearah, Rangkaian Daya, Rangkaian Kontrol, dan Rangkaian *Filter*. Realisasi dari perancangan *inverter* 1 fasa *H-Bridge* 1000 Hz dapat dilihat pada gambar 7.

Keterangan gambar 7

1. Sumber jala – jala 220/ 50 Hz
2. Transformator penurun tegangan 220/25 V
3. *Low Pass Filter*
4. Transformator Penurun Tegangan 220/18 V
5. Rangkaian daya
6. Rangkaian Mikrokontroler Arduino Nano
7. Transformator penaik tegangan 18 V/220 V, 1000 Hz. Sebagai masukan bagi rangkaian pembangkit tegangan tinggi DC metode *Cockcroft-Walton* tipe *fullwave*.
8. Transformator penurun tegangan 220/9 V



Gambar 7. Keseluruhan sistem pembangkit frekuensi 1000 Hz

3. Hasil dan Analisis

3.1. Pengujian Rangkaian Cockcroft-Walton tipe Fullwave

Subbab ini akan membahas hasil pengujian nilai tegangan keluaran pada rangkaian Cockcroft-Walton tipe fullwave. Tegangan masukan yang digunakan adalah 220V dengan frekuensi masukan 50 Hz dari sumber jala - jala, serta frekuensi 1000 Hz yang berasal dari inverter. Pengujian rangkaian Cockcroft-Walton dilakukan dengan variasi tingkatan masing-masing 10, 20, dan 30 tingkat. Data hasil pengujian tegangan keluaran pada rangkaian Cockcroft-Walton tipe fullwave pada pengujian penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data hasil pengujian tegangan keluaran pada rangkaian Cockcroft-Walton tipe fullwave.

n	Frekuensi Masukan			
	50 Hz		1000 Hz	
	V _{out} (kV)	V _{rata-rata} (kV)	V _{out} (kV)	V _{rata-rata} (kV)
10	6,426	6,4442	6,328	7,0984
	6,400		7,796	
	6,470		7,124	
	6,468		6,920	
	6,457		7,324	
20	9,928	9,3536	10,579	11,145
	9,265		11,449	
	9,153		11,625	
	9,226		10,880	
	9,200		11,192	
30	9,255	9,4178	13,775	14,197
	9,369		14,083	
	9,440		14,429	
	9,511		14,467	
	9,514		14,231	

3.2. Perbandingan Nilai Rata-rata Tegangan Rangkaian Cockcroft-Walton Berdasarkan Frekuensi Masukan dan Tingkatan

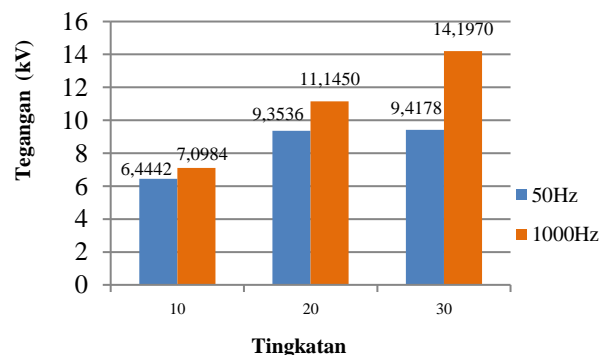
Berdasarkan persamaan (1) maka didapat nilai tegangan ideal rangkaian Cockcroft-Walton tanpa rugi-rugi dan perbedaan nilai tegangan keluaran dari tiap frekuensi masukan pada rangkaian Cockcroft-Walton pada tingkatan 10 tingkat, 20 tingkat, dan 30 tingkat yang ditunjukkan pada Tabel 2. Pada 5 kali pengujian rangkaian Cockcroft-Walton pada tiap tingkatnya didapatkan rata-rata tegangan keluaran yang berhasil dibangkitkan oleh rangkaian Cockcroft-Walton. Perbandingan nilai rata-rata tegangan keluaran dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan nilai rata-rata tegangan keluaran yang dibangkitkan oleh rangkaian Cockcroft-Walton berdasarkan frekuensi masukan dan tingkatan.

n	Frekuensi Masukan		Tegangan Ideal (kV)
	50 Hz	1000 Hz	
10	6,4442	7,0984	6,222
20	9,3536	11,1450	12,445
30	9,4178	14,1970	18,667

Berdasarkan Tabel 3 dapat dilihat bahwa masing-masing tingkatan pada rangkaian Cockcroft-Walton dengan frekuensi masukan 50 Hz dan 1000 Hz memiliki nilai rata-rata tegangan keluaran yang berbeda. Terbukti dari nilai rata-rata tegangan keluaran rangkaian Cockcroft-Walton dengan frekuensi masukan 1000 Hz lebih tinggi dari pada frekuensi masukan 50 Hz.

Grafik perbandingan nilai rata-rata tegangan keluaran yang dibangkitkan oleh rangkaian Cockcroft-Walton dengan frekuensi masukan 50 Hz dan 1000 Hz dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Perbandingan perbandingan nilai rata-rata tegangan keluaran yang dibangkitkan oleh rangkaian Cockcroft-Walton dengan frekuensi masukan 50 Hz dan 1000 Hz

Gambar 8 diatas menunjukkan bahwa nilai tegangan yang dapat dibangkitkan oleh rangkaian Cockcroft-Walton akan

meningkat apabila nilai frekuensi masukan memiliki nilai yang besar. Secara teoritis, nilai rata-rata tegangan keluaran yang terjadi akan meningkat apabila tingkatan (n), frekuensi masukan, dan nilai kapasitansi kapasitor juga meningkat [8]. Frekuensi masukan 1000 Hz menghasilkan nilai tegangan jatuh (ΔV) dan tegangan riak (δV) yang lebih rendah dibandingkan dengan nilai tegangan jatuh dan tegangan riak yang disebabkan frekuensi masukan 50 Hz. Frekuensi masukan 1000 Hz juga dapat mempercepat pengisian kapasitas kapasitor, sehingga waktu yang dibutuhkan untuk membangkitkan tegangan DC dengan menggunakan rangkaian *Cockcroft-Walton* akan semakin sedikit.

3.3. Perhitungan Nilai Tegangan Jatuh (ΔV) dan Tegangan Riak (δV) pada Rangkaian *Cockcroft-Walton*

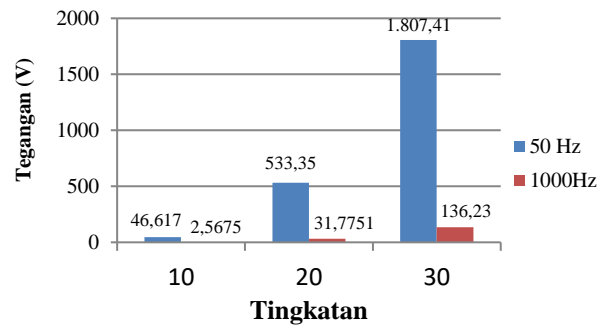
Nilai tegangan jatuh (ΔV) dan tegangan riak (δV) berpengaruh pada nilai tegangan keluaran rangkaian *Cockcroft-Walton*. Semakin kecil nilai tegangan jatuh (ΔV) dan tegangan riak (δV) maka akan semakin ideal pula rangkaian *Cockcroft-Walton* yang dirancang sesuai dengan persamaan V_{out} . Nilai tegangan jatuh (ΔV) dapat dihitung dengan persamaan (2) dan nilai tegangan riak (δV) dapat dihitung dengan persamaan (3). Dengan menggunakan persamaan (2) dan persamaan (3) tersebut, maka akan didapat nilai tegangan jatuh (ΔV) dan nilai tegangan riak (δV) pada Tabel 4.

Tabel 4. Perhitungan nilai tegangan jatuh (ΔV) dan tegangan riak (δV) berdasarkan variasi frekuensi masukan dan jumlah tingkatan

n	Frekuensi Masukan			
	50 Hz		1000 Hz	
	ΔV (V)	δV (V)	ΔV (V)	δV (V)
10	46,61	1,3711	2,567	0,0755
20	533,35	3,9802	31,775	0,2371
30	1.807,41	6,0113	136,230	0,4530

Berdasarkan Tabel 4 dapat dilihat bahwa nilai tegangan jatuh (ΔV) antara frekuensi masukan 50 Hz dengan frekuensi masukan 1000 Hz sangat jauh berbeda. Semakin tinggi nilai frekuensi masukan, maka semakin rendah nilai tegangan jatuh dan tegangan riak yang terjadi. Namun dalam hal ini semakin banyak tingkatan yang dirancang pada rangkaian *Cockcroft Walton*, maka semakin besar nilai tegangan jatuh dan tegangan riak yang dihasilkan [8].

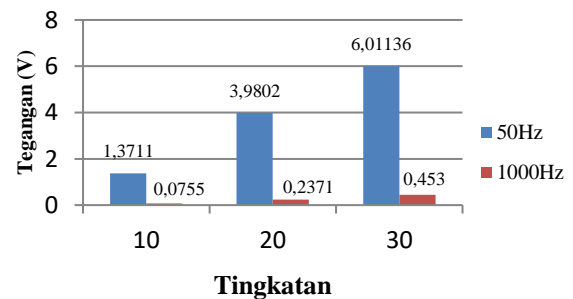
Grafik perbandingan tegangan jatuh (ΔV) pada rangkaian *Cockcroft-Walton* dengan frekuensi masukan 50 Hz dan 1000 Hz dapat dilihat pada Gambar 9



Gambar 9. Perbandingan nilai tegangan jatuh (ΔV) yang dihasilkan oleh rangkaian *Cockcroft-Walton* dengan frekuensi masukan 50 Hz dan 1000 Hz

Gambar 9 diatas dapat dilihat bahwa masing - masing tingkatan pada rangkaian *Cockcroft-Walton* dengan frekuensi masukan 50 Hz dan 1000 Hz memiliki nilai tegangan jatuh (ΔV) yang jauh berbeda. Semakin tinggi nilai frekuensi masukan, maka semakin rendah nilai tegangan jatuhnya yang terjadi. Namun dalam hal ini semakin banyak tingkatan yang dirancang pada rangkaian *Cockcroft Walton*, maka semakin besar nilai tegangan jatuh yang terjadi.

Grafik perbandingan tegangan riak (δV) pada rangkaian *Cockcroft-Walton* dengan frekuensi masukan 50 Hz dan 1000 Hz dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Perbandingan nilai tegangan riak (δV) yang dihasilkan oleh rangkaian *Cockcroft-Walton* dengan frekuensi masukan 50 Hz dan 1000 Hz

Berdasarkan Gambar 10 diatas dapat dilihat bahwa masing - masing tingkatan pada rangkaian *Cockcroft-Walton* dengan frekuensi masukan 50 Hz dan 1000 Hz memiliki nilai tegangan riak (δV) yang berbeda. Semakin tinggi nilai frekuensi masukan, maka semakin rendah nilai tegangan riak yang terjadi. Namun dalam hal ini semakin banyak tingkatan yang dirancang pada rangkaian *Cockcroft Walton*, maka semakin besar nilai tegangan riak yang terjadi.

3.4. Perbandingan Pengukuran dan Pengujian Rangkaian Cockcroft-Walton dengan Frekuensi Masukan 50 Hz dan 1000 Hz

Dengan mempertimbangkan rugi-rugi yang dihasilkan oleh tegangan jatuh dan tegangan riak, maka akan dihasilkan persamaan (4) berikut ini

$$V_{out} = 2 \cdot n \cdot \sqrt{2} \cdot V_{eff} - \Delta V - \delta V \quad (4)$$

Maka Vout akan bernilai seperti persamaan (5) berikut:

$$V_{out} = 2 \cdot n \cdot \sqrt{2} \cdot V_{eff} - \frac{I \cdot n}{f \cdot C \cdot 3} \left[\frac{n}{2} + 1 \right] - \frac{I \cdot 1}{f \cdot C \cdot 2} n \quad (5)$$

Berdasarkan persamaan 5, maka nilai perhitungan Vout dari setiap frekuensi masukan 50 Hz dan 1000 Hz dan setiap tingkatan adalah seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan tegangan keluaran pengukuran dan perhitungan dengan frekuensi masukan 50 Hz dan 1000 Hz

Tingkatan ke-	Tegangan Keluaran (kV)			
	f _{in} = 50 Hz		f _{in} = 1000 Hz	
	Pengukuran	Perhitungan	Pengukuran	Perhitungan
10	6,4442	6,1745	7,0984	6,2198
20	9,3536	11,9077	11,1450	12,4130
30	9,4178	16,8521	14,1970	18,5309

Berdasarkan Tabel 4 dapat dilihat bahwa nilai pengukuran dan perhitungan pada rangkaian Cockcroft-Walton yang berbeda. Hal tersebut disebabkan oleh adanya rugi-rugi tegangan yang besar pada diode, nilai toleransi kapasitansi kapasitor, kurang presisinya alat ukur, dan lingkungan yang kurang mendukung saat dilakukan pengujian.

4. Kesimpulan

Melalui perancangan, pengujian, dan analisis yang telah dilakukan, hasil penelitian menunjukkan bahwa tegangan yang dihasilkan oleh pembangkit tegangan tinggi DC metode Cockcroft-Walton tipe fullwave pada frekuensi masukan 50 Hz adalah 6,4442 kV pada 10 tingkat, 9,3536 kV pada 20 tingkat, dan 9,4178 kV pada 30 tingkat. Tegangan DC yang dapat dibangkitkan oleh rangkaian Cockcroft-Walton pada frekuensi masukan 1000 Hz adalah 7,0984 kV pada 10 tingkat, 11,1450 kV pada 20 tingkat, dan 14,1970 kV pada 30 tingkat. Hasil pengujian dengan sumber tegangan jala-jala 220 V 50 Hz belum bisa mencapai nilai ideal. Pengujian dengan tegangan masukan 220V 1000 Hz dari inverter sudah berhasil dibuat dan dapat menghasilkan tegangan keluaran yang mendekati ideal. Untuk pengembangan, dapat dilakukan penambahan variasi frekuensi masukan. Penelitian ini dapat dikembangkan untuk aplikasi reaktor ozon, penghisap debu elektret, dan lain-lain.

Referensi

- [1]. I. M. Y. Negara, *Teknik Tegangan Tinggi Prinsip dan Aplikasinya*, 1st ed. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2013.
- [2]. A. Arismunandar, *Teknik Tegangan Tinggi*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita, 2001.
- [3]. B. L. Tobing, *Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama, 2003.
- [4]. M. Ruzbehani, "A Comparative Study of Symmetrical Cockcroft-Walton Voltage Multipliers," p. 10, 2017.
- [5]. W. L. Araujo and T. P. R. Campos, "Design of A High DC Voltage Generator and D-T Fusor Based on Particle Accelerator," 2011.
- [6]. Nurlailati, "Aplikasi Tegangan Tinggi DC Sebagai Pengendap Debu Elektrostatik," *Tek. elektro Univ. Diponegoro*, 2011.
- [7]. G. Reinhold and R. Gleyvod, "Megawatt HV DC Power Supplies," *IEEE*, vol. 22, pp. 1289–1292, 1975.
- [8]. G. Reinhold, K. Truempy, and J. Bill, "The Symmetrical Cascade Rectifier An Accelerator Power Supply In The Megavolt And Milliamperes," *IEEE*, pp. 288–292, 1965.