

## BAB V

### HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

Setelah melakukan perancangan dan pembuatan rangkaian *Marx Generator*, langkah selanjutnya adalah pengujian rangkaian yang sudah dibuat. Pengujian dan pengambilan data ini dilakukan di Laboratorium Elektronika Proses Universitas Brawijaya. Terdapat dua macam pengujian yang dilakukan pada penelitian ini, yaitu pengujian *Generator* tanpa beban dan pengujian dengan menggunakan beban *storage capacitor*.

#### 5.1 Pengujian Tanpa Beban

Pengujian rangkaian *Marx Generator* tanpa beban dilakukan dua kali. Hal ini dikarenakan terdapat kesalahan perhitungan komponen pada pengujian pertama. Sehingga dilakukan pengujian kedua.

##### 5.1.1 Pengujian Pertama *Marx Generator* Tanpa Beban

Pengujian pertama menggunakan rangkaian seperti pada Gambar 5.1. Pada rangkaian ini, di setiap tingkat *Marx Generator* menggunakan resistor dengan resistansi 10 k $\Omega$  dan daya 5 Watt.



Gambar 5.1. Rangkaian *Marx Generator* Pengujian Pertama Tanpa Beban

#### A. Hasil dan Analisis Pengujian

Pada pengujian pertama yang dilakukan, rangkaian *Marx Generator* pada Gambar 5.1 belum bekerja dengan baik dan sesuai teori. Saat *spark gap* tingkat pertama rangkaian bekerja seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.3, *spark gap* akan terhubung singkat sehingga kapasitor 1 akan bernilai 0 Volt. Hal ini menyebabkan resistor pada tingkat pertama rangkaian tidak mampu menahan arus yang melewatinya sehingga resistor pun

sudah berasap pada saat tegangan *input* baru mencapai 727,27 Volt. Perhitungan arus yang melewati resistor ketika spark gap tingkat pertama bekerja dapat dilihat dibawah ini :

$$V_{in} = i \times (R_1 + R_2)$$

$$727,27 = i \times (10.000 + 10.000)$$

$$i = \frac{727,27}{20.000}$$

$$i = 0,03636 \text{ Ampere}$$

Jadi, daya yang disipasi oleh  $R_1$  yaitu:

$$P = I^2 \times R_1$$

$$P = 0,03636^2 \times 10.000$$

$$P = 13,22 \text{ Watt}$$

Dapat disimpulkan, daya yang diserap oleh  $R_1$  sangat besar sedangkan daya yang dimiliki oleh  $R_1$  hanya 5 Watt. Hal ini yang menjadi penyebab  $R_1$  sudah berasap ketika tegangan *input Marx Generator* baru mencapai 727,27 Volt. Oleh karena itu perlu dilakukan penggantian resistor pada tingkat pertama.

### 5.1.2 Pengujian *Marx Generator* Kedua Tanpa Beban

Karena pada pengujian pertama resistor tingkat awal sudah berasap sebelum berhasil melipatkan tegangan, maka dilakukan pengujian kedua *Marx Generator* tanpa beban. Resistor pada tingkat pertama rangkaian diganti dengan resistor yang memiliki resistansi 1 M $\Omega$  dan daya 1 Watt seperti yang terlihat pada Gambar 5.2. Pengujian dilakukan dengan suhu ruang 26,2 $^{\circ}$  C dan tekanan udara 953 mbar. Rangkaian *Marx Generator* dihubungkan dengan sumber tegangan DC 1500 Volt yang dinaikkan secara bertahap. Kemudian hasil keluaran tegangan dilihat pada osiloskop menggunakan *probe* tegangan tinggi yang sudah dipasang pada elektroda *spark gap* terakhir. Pada saat kondisi tanpa beban, jarak antar elektroda (sela) pada seluruh tingkatnya dibuat berubah. Pengujian dilakukan dengan menggunakan variasi jarak antar elektroda (sela) sebesar 0,2 mm, 0,5 mm, 1 mm, 1,5 mm dan 2 mm. Pengukuran jarak ini menggunakan alat mikrometer sekrup dengan ketelitian 0,01 mm.



Gambar 5.2. Rangkaian Marx Generator Pengujian Kedua Tanpa Beban

### A. Hasil dan Analisis Pengujian

Pada pengujian kedua, resistor pada tingkat pertama rangkaian diganti dengan resistor yang memiliki nilai resistansi 1 M $\Omega$  dan daya 1 Watt dengan pertimbangan agar arus yang melewati resistor tidak terlalu besar. Resistor berfungsi sebagai *current limiter* saat *spark gap* rangkaian tingkat pertama bekerja seperti pada Gambar 5.3.

Dengan menggunakan resistor yang memiliki nilai resistansi 1 M $\Omega$  dan daya 1 Watt pada tingkat pertama maka perhitungan arus yang melewati resistor dengan tegangan input 1500 Volt pada saat tingkat pertama *Marx Generator* bekerja yaitu:

$$V_{in} = i \times (R_1 + R_2)$$

$$1500 = i \times (1.000.000 + 1.000.000)$$

$$i = \frac{1500}{2.000.000}$$

$$i = 0,00075 \text{ Ampere}$$

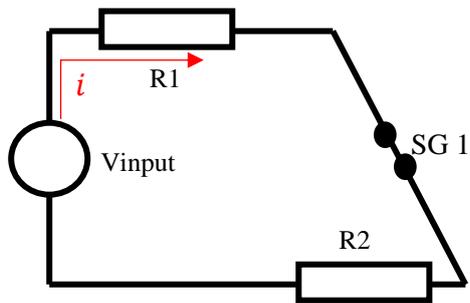
Maka daya yang disipasi oleh  $R_1$  adalah:

$$P = I^2 \times R_1$$

$$P = 0,00075^2 \times 1.000.000$$

$$P = 0,5625 \text{ Watt}$$

Jadi, berdasarkan perhitungan tersebut resistor dengan resistansi 1 M $\Omega$  dan daya 1 Watt dapat digunakan pada tingkat pertama rangkaian *Marx Generator*.



Gambar 5.3. Rangkaian Marx Generator saat Spark Gap Tingkat Pertama Bekerja

Tabel 5.1 menunjukkan hasil tegangan keluaran dan analisis *spark* pada rangkaian Marx Generator tanpa beban. Hasil data dari tabel 5.1 digambarkan pada Grafik 5.1. Berdasarkan Tabel dan Grafik 5.1a ditunjukkan bahwa ketika jarak (sela) pada elektroda *spark gap* dinaikkan, maka tegangan *input* yang dibutuhkan untuk terjadi *spark* pertama kali semakin besar pula. Pada jarak sela 0,2 mm tegangan tembus yang dibutuhkan untuk *spark* pertama kali adalah 318,18 Volt. Begitu pula ketika jarak sela dinaikkan hingga 2 mm, tegangan tembus pertama kalinya semakin besar dan melebihi nilai 1500 Volt. Jadi, pada jarak sela 2 mm tidak terjadi *spark* sama sekali hingga tegangan input yang diberikan 1500 Volt. Grafik 5.1(b) menggambarkan hubungan antara tegangan *input* dan *output* pada rangkaian Marx Generator tanpa beban dengan variasi jarak 0,2 mm, 0,5 mm, 1 mm, 1,5 mm, dan 2 mm. Berdasarkan hasil grafik jarak antar elektroda tidak berpengaruh terhadap nilai tegangan *output*, kecuali pada saat jarak elektroda 2 mm.

Nilai *output* tegangan impuls maksimum Marx Generator tanpa beban sebesar 6,8 kV *peak* diperoleh saat jarak sela 0,5 mm ditunjukkan pada Gambar 5.4. Sebagai catatan, ketika tegangan *input* dinaikkan *spark* yang terjadi juga semakin rapat.

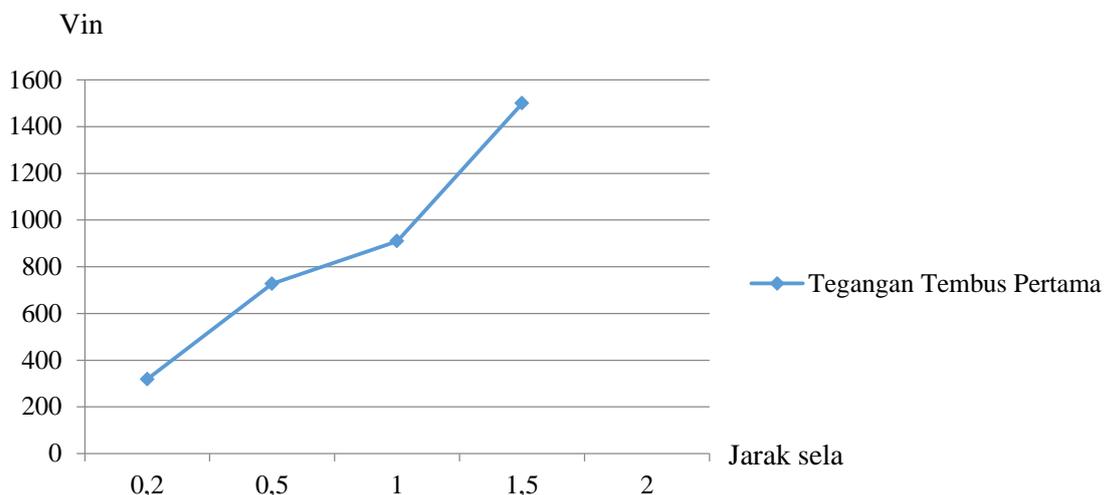
Tabel 5.1  
Tabel Hasil Pengujian Marx Generator Tanpa Beban

No	Sela	V input		V impuls (Volt peak)	Spark
		VR (Volt)	Input Marx (Volt)		
1	0,2 mm	35	318	800	√
		60	545	2200	√
		80	727	3400	√
		100	909	4600	√
		165	1500	5800	√
2	0,5 mm	35	318	600	
		60	545	1600	
		80	727	3800	√
		100	909	4200	√
		165	1500	6800	√

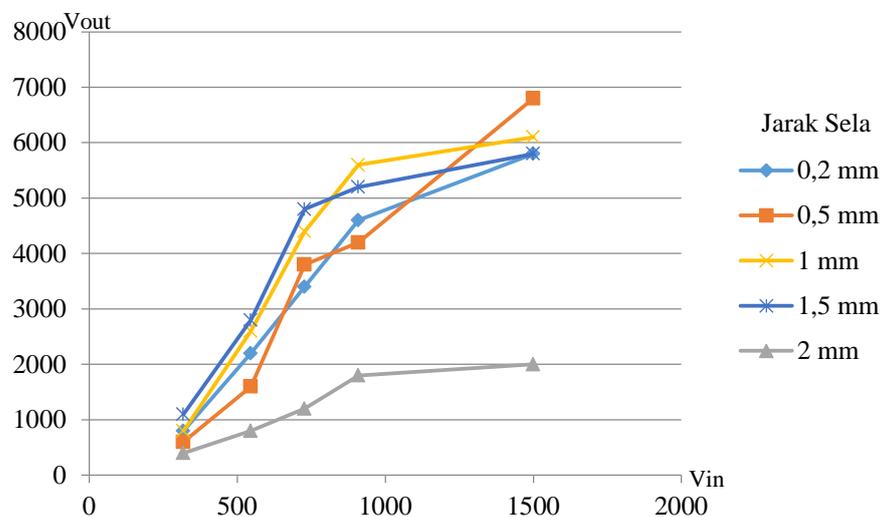
3	1 mm	35	318	800	
		60	545	2600	
		80	727	4400	
		100	909	5600	√
		165	1500	6100	√
4	1,5 mm	35	318	1100	
		60	545	2800	
		80	727	4800	
		100	909	5200	
		165	1500	5800	√
5	2 mm	35	318	400	
		60	545	800	
		80	727	1200	
		100	909	1800	
		165	1500	2000	

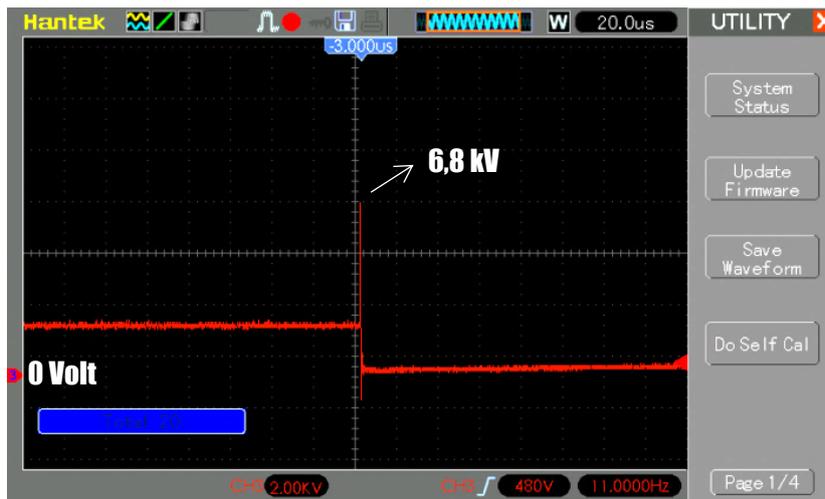
Grafik 5.1

(a) Grafik Tegangan Tembus Pertama pada Marx Generator Tanpa Beban



(b) Grafik Hubungan Tegangan input dan output pada Marx Generator Tanpa Beban





Gambar 5.4. Grafik Hasil Tegangan Impuls Percobaan *Marx Generator* Tanpa Beban

## 5.2 Pengujian *Marx Generator* dengan *Storage Capacitor*

Pengujian rangkaian *Marx Generator* dengan *storage capacitor* dilakukan dua kali. Pada pengujian pertama dan kedua terdapat perbedaan nilai kapasitor yang digunakan.

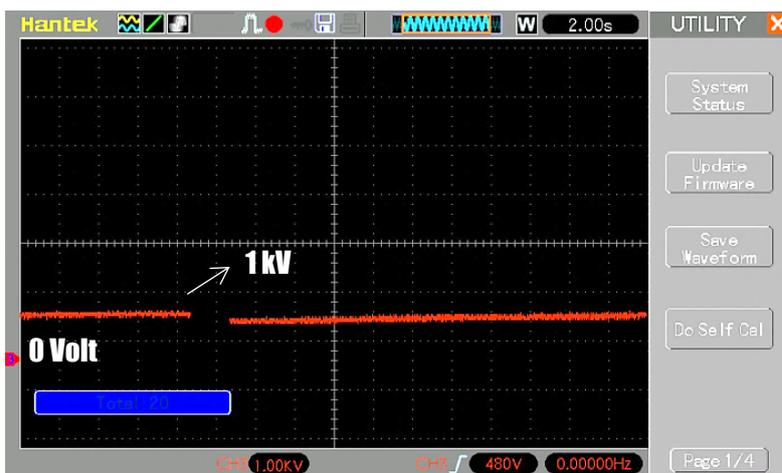
### 5.2.1 Pengujian Pertama *Marx Generator* dengan *Storage Capacitor*

Pengujian pertama *Marx Generator* berbeban dilakukan dengan menghubungkan rangkaian yang sudah diberi dioda tegangan tinggi 20 kV dengan *storage capacitor* yang memiliki kapasitansi 25  $\mu\text{F}$ . Dengan menggunakan rangkaian seperti Gambar 5.2 dimana resistor pada tingkat pertama *Marx Generator* sudah diganti dengan nilai 1 M $\Omega$ /1 Watt pengujian pertama dilakukan. Pada saat pengujian, suhu dan tekanan udara yang terukur adalah 25,5 $^{\circ}$  C dan 955 mbar. Jarak sela yang digunakan pada pengujian ini adalah 0,5 mm. Pengujian dengan *storage capacitor* dilakukan dengan mencatat waktu yang diperlukan untuk mencapai tegangan 4 kV atau hingga sudah tidak terjadi *spark* pada rangkaian *Marx Generator*.

#### A. Hasil dan Analisis Pengujian

Gambar 5.5 menunjukkan hasil tegangan *storage capacitor* ketika dicatu rangkaian pelipat tegangan *Marx Generator* dengan jarak sela 0,5 mm. *Storage capacitor* terisi muatan hingga tegangannya mencapai 1 kV dalam waktu 20 detik.

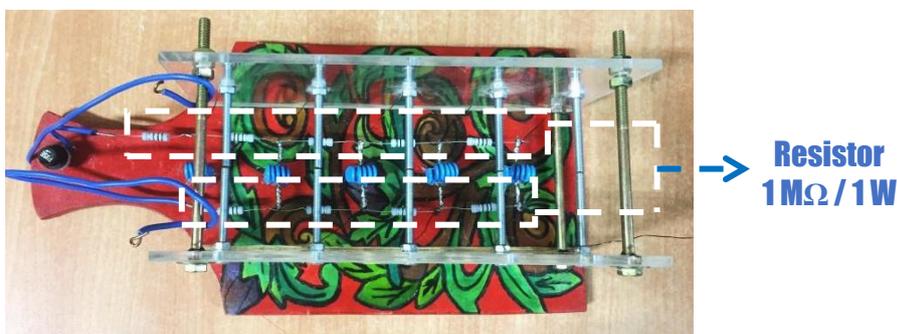
Setelah *storage capacitor* telah mencapai 1 kV dan tidak terjadi *spark* pada rangkaian *Marx Generator*, maka *input* dimatikan agar muatan pada *storage capacitor* dapat dibuang melalui alat pelepas muatan yang sudah ada. Ketika *input* dimatikan, penurunan tegangan sangatlah lambat.



Gambar 5.5. Grafik Pengisian *Storage capacitor* Pengujian Pertama

### 5.2.2 Pengujian Kedua *Marx Generator* dengan *Storage Capacitor*

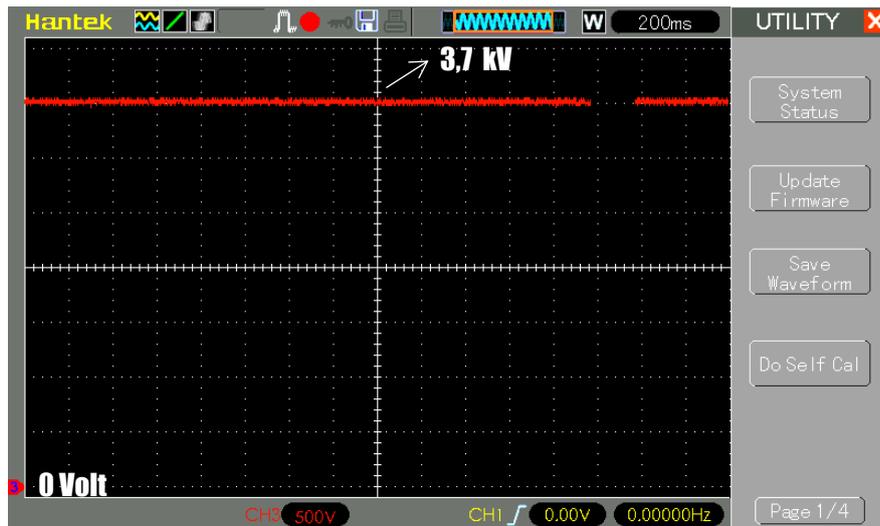
Terdapat perbedaan nilai tegangan yang cukup jauh dari target, sehingga dilakukan penggantian resistor pada semua tingkat dengan resistor yang memiliki resistansi  $1\text{ M}\Omega$  sehingga rangkaian menjadi seperti Gambar 5.6. Rangkaian *Marx Generator* diuji hingga tegangan *storage capacitor* mencapai  $4\text{ kV}$  atau ketika tidak terjadi *spark* lagi pada *Marx Generator*. Pengujian kedua *Marx Generator* dengan *storage capacitor* ini dilakukan pada ruangan dengan suhu  $26,1^{\circ}\text{C}$  dan tekanan udara  $953\text{ mbar}$ . Jarak sela yang digunakan dalam pengujian ini adalah  $0,5\text{ mm}$ .



Gambar 5.6. Rangkaian *Marx Generator* Pengujian Kedua dengan *Storage Capacitor*

#### A. Hasil dan Analisis Pengujian

Hasil dari penggantian resistor pada semua tingkat rangkaian *Marx Generator* mengakibatkan perubahan tegangan *storage capacitor* menjadi seperti Gambar 5.7. Pada Gambar 5.7 terlihat bahwa *storage capacitor* terisi muatan hingga tegangannya mencapai  $3,7\text{ kV}$ . Tegangan yang mengisi *storage capacitor* naik secara sangat perlahan. Pada menit ke 98 pengisian, sudah tidak terjadi *spark* pada setiap tingkat *Marx Generator*. Sehingga, tegangan maksimum yang berhasil disimpan oleh *storage capacitor* adalah  $3,7\text{ kV}$ .



Gambar 5.7. Grafik Pengisian *Storage Capacitor* Pengujian Kedua

### 5.3 Pembahasan Perbedaan Hasil Target dan Pengujian

Berdasarkan pengujian yang dilakukan, hasil perhitungan dan pengujian memiliki perbedaan nilai yang akan dibahas penyebabnya. Hasil pengujian ini yaitu ketika pengoperasian *Marx Generator* tanpa beban dan dengan beban *storage capacitor*.

#### 5.3.1 Pengujian *Marx Generator* Tanpa Beban

Setelah melakukan perhitungan dan pengujian tegangan keluaran rangkaian *Marx Generator* sebelum dihubungkan *storage capacitor*, maka hasil perhitungan dan pengujian tersebut dicatat seperti pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2.

Hasil Perhitungan dan Pengujian Tegangan Keluaran Rangkaian *Marx Generator* Tanpa Beban.

Hasil Data	Target	Pengujian
Output <i>Marx Generator</i>	6kV	6,8kV

Pengujian *Marx Generator* tanpa beban berhasil dilakukan. Rangkaian marx generator sudah mampu menghasilkan tegangan *output* berbentuk impuls sebesar 6,8 kV *peak*.

#### 5.3.2 Pengujian *Marx Generator* dengan *Storage Capacitor*

Setelah melakukan perhitungan dan pengujian tegangan keluaran rangkaian *Marx Generator* setelah dihubungkan *storage capacitor*, maka hasil perhitungan dan pengujian tersebut dicatat seperti pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3.

Hasil Perhitungan dan Pengujian *Marx Generator* dengan *Storage Capacitor*

Hasil Data	Target	Pengujian	
		1	2
Pengisian Muatan SC	4 kV	1 kV	3,7 kV
Waktu Pengisian Muatan	10s	20s	98 menit

Terlihat pada Tabel 5.3 terdapat perbedaan nilai tegangan dan waktu antara target dan hasil pengujian. Pada pengujian pertama rangkaian *Marx Generator* hanya mampu mengisi *storage capacitor* hingga 1 kV. Ini karena adanya perbedaan nilai resistor pada setiap tingkatnya sehingga pada kondisi berbeban ini, tidak terjadi *spark* di semua tingkat *Marx Generator*.

Pada pengujian kedua, *Generator* ini berhasil mengisi *storage capacitor* hingga tegangannya mencapai 3,7 kV. Akan tetapi waktu yang diperlukan untuk pengisian ini masih jauh dari target yaitu 98 menit. Hal ini disebabkan oleh tegangan keluaran yang dihasilkan oleh *Generator* adalah berbentuk impuls yang sangat sempit. Sehingga nilai tegangan rata-rata yang digunakan untuk pengisian *storage capacitor* sangat kecil. Selain itu, nilai kapasitansi dari *storage capacitor* sangat besar yaitu 25 $\mu$ F, sehingga energi yang dibutuhkan oleh *Generator* seharusnya juga lebih besar pula.