

# PERANCANGAN INVERTER *FULLBRIDGE* SEBAGAI PENGENDALI KECEPATAN PUTAR MOTOR PENGGERAK *ROTARY SPARK GAP*

Airlangga Avriansyah Akbar<sup>\*)</sup>, Mochammad Facta, and Agung Nugroho

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Sudharto S.H. Tembalang, Semarang, Indonesia

<sup>\*)</sup>*Email : avriliansyah@gmail.com*

## Abstrak

Proses switching yang handal dalam tegangan tinggi adalah dengan menggunakan rotary spark gap.. Pada penelitian tugas akhir ini akan dibuat sebuah inverter full bridge dengan pengaturan frekuensi dan duty cycle. Inverter yang dirancang menggunakan MOSFET sebagai saklar elektronik dan IC TL494 sebagai osilator frekuensi pengontrol pemucuan MOSFET. Inverter full bridge digunakan sebagai suplai terkendali dari motor penggerak rotary spark gap. Sesuai prinsip kerja motor induksi, kecepatan putar dipengaruhi salah satunya oleh frekuensi sumber. Pengujian dilakukan untuk mengetahui pengaruh frekuensi terhadap kecepatan putar rotary spark gap. Hasil pengujian dengan beban motor didapatkan putaran tertinggi 1380 rpm pada frekuensi 50 Hz dengan duty cycle 50 % saat rotary spark gap dihubungkan secara parallel dengan tegangan tinggi DC 6kV.

*Kata Kunci : trafo tesla, tegangan tinggi, inverter, rotary spark gap*

## Abstract

Reliable high voltage switching is carried out by using rotary spark gap. This research would design a full bridge inverters with frequency and duty cycle control. Full bridge inverter used as controllable supply to the motor of the rotary spark gap. According to the principle of the induction motor, rotational speed is influenced by frequency source. Full bridge inverter designed using MOSFET as electronic switches and IC TL494 as the oscillator frequency MOSFET controller triggers. Tests conducted to determine the effect of the frequency of the rotary speed to the rotary spark gap. The test results obtained with the motor load highest rotation frequency 1380 rpm at 50 Hz with 50% duty cycle when the rotary spark gap connected in parallel with the high voltage DC 6kV

*keyword: tesla transformer, high voltage, inverter, rotary spark gap*

## 1. Pendahuluan

Aplikasi kumparan tesla merupakan pembangkitan tegangan tinggi dengan frekuensi tinggi. Kumparan tesla secara konvensional menggunakan spark gap dalam pembangkitannya. Spark gap menghubungkan sesaat kapasitor dengan lilitan primer tesla, sehingga menyediakan jalur bagi kapasitor mengeluarkan muatannya (discharge) ke lilitan primer. Rangkaian trafo tesla menggunakan rotary spark gap sebagai pembangkit frekuensi tinggi mempunyai kekurangan yaitu dibutuhkan putaran rotary spark gap yang terkendali.

Trafo tesla tanpa pengendalian rotary spark gap sering terjadi kerusakan pada salah satu blok, terutama blok kapasitor primer. Kerusakan tersebut diakibatkan kapasitor tidak bekerja pada waktu yang tepat. Kekurangan tersebut dapat dihindari dengan

menambahkan rangkaian yang dapat mengatur putaran spark gap sesuai waktu kerja kapasitor yaitu Inverter

Inverter merupakan sebuah alat listrik yang merubah sebuah masukan arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC) terkendali pada keluarannya. Inverter menggunakan teknik switching yang dikendalikan dengan rangkaian kontrol. Rangkaian ini berfungsi untuk mengatur amplitudo dan frekuensi gelombang pemucuan yang berpengaruh pada gelombang keluaran inverter.

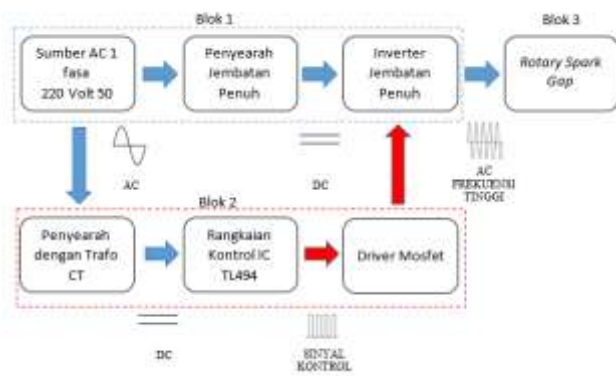
Oleh karena itu, pada penelitian tugas akhir ini akan dibuat sebuah inverter full bridge dengan pengaturan frekuensi dan duty cycle. Inverter digunakan sebagai suplai terkendali dari motor penggerak rotary spark gap. Sesuai prinsip kerja motor induksi, kecepatan putar dipengaruhi salah satunya oleh frekuensi sumber. Inverter jenis full bridge digunakan karena tegangan keluarannya sama dengan tegangan masukannya. Dengan tegangan

masukannya yang sama, topologi full bridge memiliki daya yang besar dengan stress arus yang kecil dibandingkan inverter topologi lainnya

## 2. Metode

Sumber tegangan AC disearahkan oleh penyearah menjadi tegangan DC. Kemudian tegangan DC dihubungkan ke inverter, yang diberi pemicuan untuk pensaklaran oleh rangkaian kontrol, dan dikonversi menjadi tegangan AC. Tegangan ini akan menjadi suplai dari motor penggerak *rotary spark gap*.

Inverter terdiri dua rangkaian utama, yaitu rangkaian kontrol dan rangkaian daya. Rangkaian kontrol terdiri dari sumber tegangan 12, rangkaian IC TL494, dan rangkaian isolator pulsa. Rangkaian daya terdiri dari penyearah jembatan penuh dan inverter *full bridge*. Hubungan antar rangkaian dalam inverter tertera pada Gambar 1.



Gambar 1. Blok diagram perancangan perangkat keras

Inverter adalah alat yang dapat mengubah tegangan masukan DC (searah) menjadi tegangan keluaran AC (bolak-balik) dengan nilai tegangan dan frekuensi yang dapat diatur sesuai yang dikehendaki. Secara sederhana inverter bekerja berdasarkan metode pensaklaran. Saklar ini yang kemudian diatur untuk menentukan bentuk gelombang keluaran.

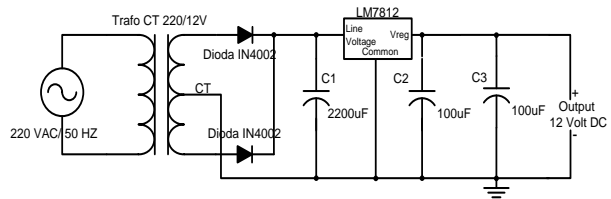
Pengaturan tegangan keluaran pada inverter dapat ditentukan dengan mengubah penguatan inverter yang dapat dilakukan dengan menggunakan kontrol modulasi lebar pulsa atau PWM (Pulse Width Modulation).

### 2.1. Perancangan Rangkaian Kontrol

#### 2.1.1. Penyearah Gelombang Penuh Satu Fasa

Rangkaian ini merupakan sumber tegangan DC 12 V. Tegangan 12 V<sub>DC</sub> berfungsi sebagai suplai untuk kipas, MOSFET driver dan rangkaian kontrol yaitu IC TL 494. Tegangan DC didapatkan dari hasil penyearahan tegangan AC jala – jala yang sebelumnya diturunkan tegangannya

menggunakan trafo *stepdown* dari 220Volt menjadi 12 volt.. Tegangan DC selanjutnya diteruskan ke IC regulator. IC regulator LM 7812 digunakan untuk menstabilkan keluaran 12 V<sub>DC</sub>.



Gambar 2. Penyearah gelombang penuh satu fasa dengan CT

#### 2.1.2. Rangkaian IC TL494

IC TL494 digunakan untuk menghasilkan sinyal gelombang kotak dengan *dutycycle* yang dapat divariasi. Sinyal gelombang kotak ini berfungsi untuk memicu pensaklaran pada rangkaian Inverter *full bridge*.

Persamaan untuk mencari frekuensi kerja yang ada pada *datasheet* IC TL 494 dituliskan oleh Persamaan (1)

$$f = \frac{1,1}{2R_T C_T} \quad (1)$$

Persamaan (1) dapat digunakan untuk menghitung nilai dari kapasitor dan resistor yang dibutuhkan. Kapasitor yang digunakan sebesar 1 uF , maka dengan menggunakan Persamaan (1) didapat nilai resistor sebagai berikut:

Pada frekuensi maksimal 80 Hz

$$R_T = \frac{1,1}{2.10^{-6}.80} = 6875\Omega$$

Pada frekuensi minimal 30 Hz

$$R_T = \frac{1,1}{2.10^{-6}.30} = 18333\Omega$$

Kemudian dengan menyesuaikan komponen yang tersedia dipasaran yaitu :

CT : 1 uF

RT : 6.8 kΩ

V<sub>R</sub> : 20 kΩ

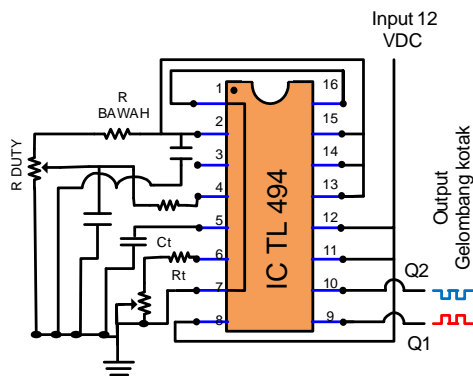
Maka besarnya frekuensi yang dapat dihasilkan adalah :

Pada nilai saat V<sub>R</sub> = 0 Ω

$$f_{\max} = \frac{1,1}{2.6800.10^{-6}} = 80,88 \text{ Hz}$$

Pada nilai V<sub>R</sub> = 20 kΩ

$$f_{\min} = \frac{1,1}{2.26800.10^{-6}} = 20,52 \text{ Hz}$$



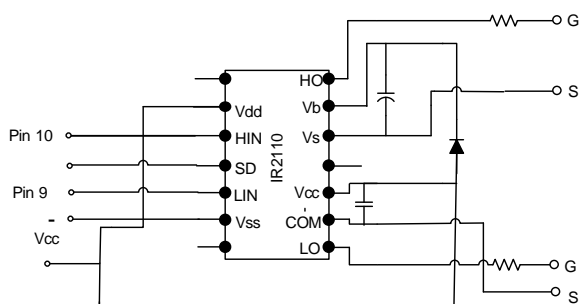
Gambar 3. Rangkaian IC TL494



Gambar 4. Realisasi rangkaian IC TL494

### 2.1.3. MOSFET Driver

Rangkaian driver MOSFET diperlukan untuk memisahkan antara blok rangkaian daya dengan blok rangkaian kontrol. Pemisahan ini bertujuan agar ketika terjadi masalah pada blok rangkaian daya tidak sampai merusak blok rangkaian kontrol. Pada tugas akhir ini, digunakan dua buah driver MOSFET tipe IR2110 untuk memicu keempat MOSFET konfigurasi full bridge.



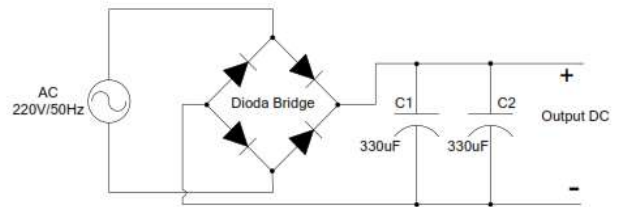
Gambar 5. Rangkaian MOSFET driver

## 2.2. Perancangan Rangkaian Daya

### 2.2.1. Penyearah Jembatan Penuh

Penyearah yang digunakan untuk rangkaian daya adalah rangkaian penyearah jembatan penuh terdiri dari diode

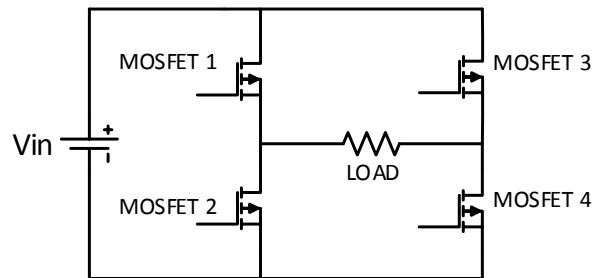
bridge MB3510 dan kapasitor tapis sebanyak 2 buah dengan nilai tiap kapasitor sebesar 330uF. Dengan adanya pemasangan kapasitor tapis pada keluaran penyearah sehingga tegangan keluaran rata-rata mendekati nilai rmsnya. Penyearah gelombang penuh ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 6. Rangkaian penyearah jembatan penuh

### 2.2.2. Inverter Full Bridge

Inverter *full bridge* memiliki kinerja dua kali inverter setengah jembatan, dan baik untuk digunakan pada aplikasi daya yang lebih besar. Dengan masukan DC yang sama, tegangan maksimum keluarannya dua kali lebih besar daripada inverter setengah jembatan [9].

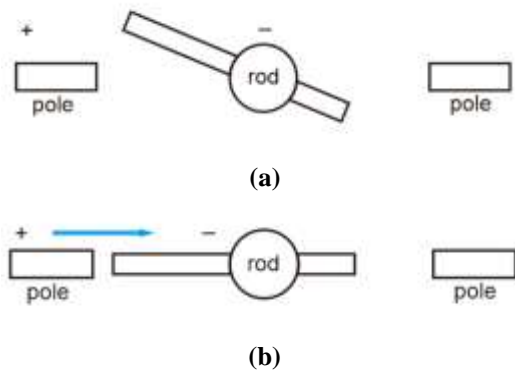


Gambar 7. Inverter full bridge

Rangkaian inverter full bridge terdiri dari 4 buah MOSFET. Keempat MOSFET disusun sedemikian rupa sehingga dapat bekerja berkesinambungan. MOSFET 1 dipicu serempak dengan MOSFET 4, dan MOSFET 2 dipicu bersamaan dengan MOSFET 3. Hal tersebut dilakukan agar aliran arus yang melewati beban saling berkebalikan sehingga beban menerima tegangan bolak-balik. MOSFET yang digunakan yaitu IRFP460 yang memiliki spesifikasi arus drain (ID) maksimal 20 A dan tegangan maksimal drain to source 500 V sehingga MOSFET ini mampu dipasang sebagai komponen saklar pada inverter.

### 2.2.3. Rotary Spark Gap

Desain rotary gap pada tugas akhir ini berupa propeller gap yang terdiri dari 8 buah elektroda statis (pole) yang saling terhubung dan satu batang elektroda (rod) yang dikopel oleh motor



Gambar 8. Cara kerja rotary spark gap



Gambar 9. Realisasi rotary spark gap

Pada tugas akhir ini dirancang sebuah rotary spark gap yang dapat beroperasi antara 1500 rpm hingga 4800 rpm. Dengan menentukan rpm minimal sebesar 1500 rpm dan jumlah kutub motor adalah 2, maka didapatkan nilai frekuensi minimal

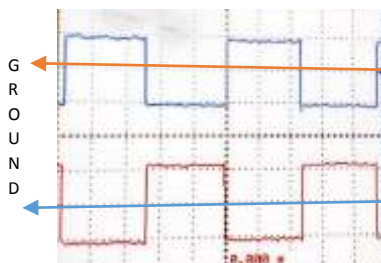
$$f = \frac{1500}{120} = 12.5 \text{ Hz}$$

Sedangkan rpm maksimal sebesar 4800 rpm maka didapat nilai frekuensi maksimal

$$f = \frac{4800}{120} = 40 \text{ Hz}$$

### 3. Hasil dan Analisa

#### 3.1. Pengujian Sinyal Kontrol



Gambar 10. Sinyal keluaran rangkaian kontrol

Pengukuran gelombang yang ditunjukkan Gambar 4.6 diatas diambil pada skala 2,5 ms/div dan 5 V/ div dengan faktor pengali 1x., sehingga dapat dihitung besarnya frekuensi dan tegangan sebagai berikut :

Tegangan

$$V = 2,2 \times 5 \text{ V/div} = 11 \text{ Volt.}$$

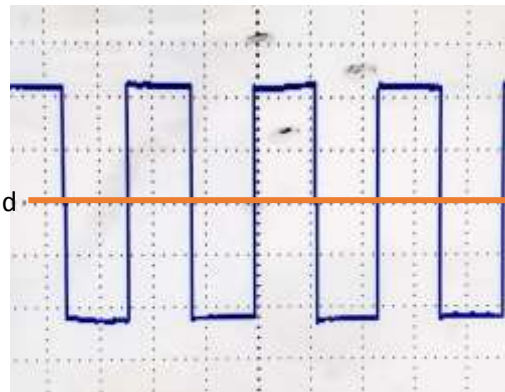
Frekuensi :

$$T = 4.8 \times 2.5 \text{ ms/div} = 12 \text{ ms}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{12 \text{ ms}} = 83,33 \text{ Hz}$$

Didapat frekuensi 83,33 Hz dan tegangan amplitudo (*peak to peak*) 11 Volt. MOSFET IRFP460 memiliki tegangan pemicuan  $V_{GS}$  maksimal  $\pm 20$  Volt maka dengan tegangan 11 Volt (*peak to peak*) MOSFET IRFP 460 dapat dipicu.

#### 3.2. Pengujian Inverter



Gambar 11. Gelombang tegangan keluaran inverter full bridge

Gambar 9 merupakan tegangan keluaran *inverter* tipe *Full Bridge* dengan tinggi 4,4 div pada skala 5 V/div dan 5 ms/div dengan faktor pengali 10 x. Maka tegangan yang terukur adalah

$$V_{pp} = 4,4 \times 5 \text{ V/div} \times 10 = 220 \text{ Volt}$$

$$V_m = \frac{V_{pp}}{2} = \frac{220}{2} = 110 \text{ Volt}$$

Pada subbab 3.2.2 diketahui bahwa tegangan keluaran *inverter* tipe *full bridge* sama dengan tegangan masukan. Tegangan pada Gambar 9 terukur sebesar 110 volt.

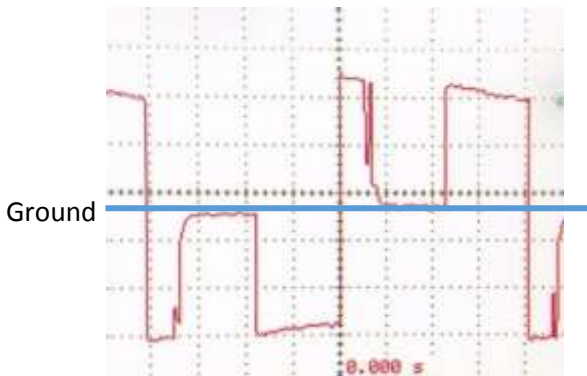
#### 3.3. Pengujian Gelombang Inverter Dengan Beban Motor

Setelah melakukan pengujian pada rangkaian inverter dan rangkaian kontrol pemicuan, selanjutnya menguji gelombang keluaran dari rangkaian inverter saat dihubungkan dengan beban motor universal.

Gelombang keluaran ini memiliki tegangan 5 div, 5V/div dan probe dikali 10. Maka tegangan yang terukur sebagai berikut :

$$V_{pp} = 5 \times \frac{5 \text{ V}}{\text{div}} \times 10 = 250 \text{ Volt}$$

$$V_m = \frac{V_{pp}}{2} = \frac{250}{2} = 125 \text{ Volt}$$



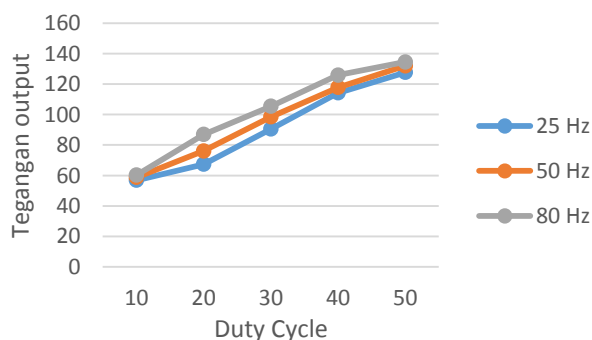
Gambar 12. Gelombang keluaran inverter dengan beban motor

### 3.4. Pengujian Variasi Frekuensi dan Duty Cycle Terhadap Tegangan

Pengujian ini berfungsi untuk dengan mengubah nilai frekuensi dan *duty cycle* pada inverter. Dengan mengubah nilai frekuensi dan *duty cycle* maka akan didapatkan keluaran inverter *fullbridge* yang beragam.

Tabel 1. Data pengujian variasi frekuensi dan duty cycle

Frekuensi (Hz)	Duty Cycle	V <sub>in</sub> (Volt)	V <sub>rms</sub> (Volt)
25	10%	110	56,8
	20%		67,3
	30%		90,4
	40%		114,2
	50%		127,6
50	10%	110	58,7
	20%		76,1
	30%		98,4
	40%		117,8
	50%		131,9
80	10%	110	60,2
	20%		86,9
	30%		105,4
	40%		125,8
	50%		134,5



Gambar 13. Grafik hubungan duty cycle dengan tegangan keluaran inverter

Berdasarkan gambar 10 tegangan keluaran inverter sebanding dengan kenaikan duty cycle. Nilai tegangan akan semakin besar ketika *duty cycle* yang digunakan juga

semakin besar. Nilai tegangan paling tinggi dihasilkan saat inverter beroperasi pada duty cycle 50% saat frekuensi 80 Hz.

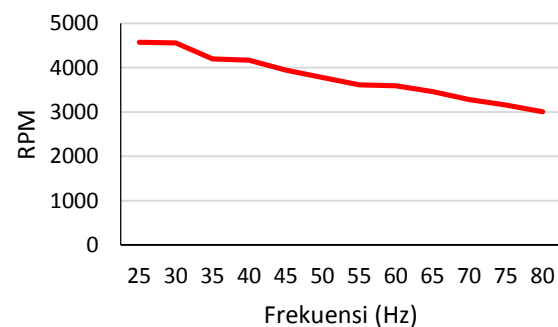
### 3.5. Pengujian Variasi Frekuensi

Pengujian ini berfungsi untuk mendapatkan karakteristik respon frekuensi terhadap kecepatan putar motor universal sebagai penggerak *rotary spark gap*. Pengujian ini dilakukan dengan mengubah nilai frekuensi pada inverter. Perubahan nilai frekuensi mempengaruhi kecepatan putar *rotary spark gap* sehingga dapat divariasikan sesuai dengan kebutuhan.

Tabel 2. Data pengujian variasi frekuensi terhadap kecepatan

No.	Frekuensi (Hz)	Rpm
1	25	4571
2	30	4559
3	35	4197
4	40	4170
5	45	3943
6	50	3776
7	55	3611
8	60	3592
9	65	3461
10	70	3283
11	75	3157
12	80	3004

Dari Gambar11 terlihat bahwa semakin tinggi frekuensi, putaran yang dihasilkan semakin berkurang. Motor berputar paling cepat ketika bekerja pada frekuensi 25 Hz dan sebaliknya pada frekuensi 80 Hz. Hal ini berbanding terbalik dengan prinsip kerja motor induksi dimana  $n=120.f/p$ . Seharusnya semakin tinggi nilai frekuensi (f), maka kecepatan putaran (n) akan semakin besar



Gambar 14. Grafik hubungan antara frekuensi dan kecepatan

Perbedaan ini disebabkan oleh motor yang digunakan memiliki nilai induktansi yang besar yaitu 155,48 mH. Penurunan kecepatan ketika dilakukan peningkatan frekuensi disebabkan oleh impedansi yang bertambah seiring dengan kenaikan nilai frekuensi.

**3.6. Pengujian Variasi Frekuensi dan Duty Cycle Ketika Bertegangan Tinggi**

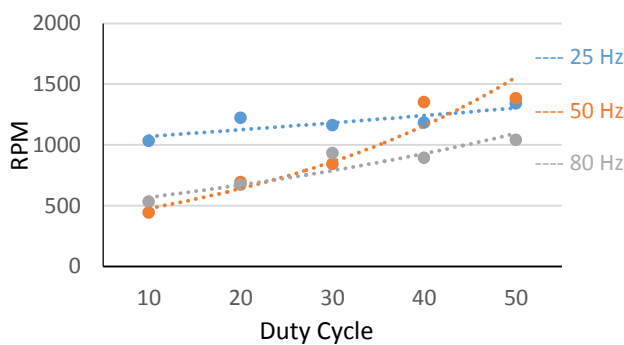
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui respon kecepatan RSG saat elektroda dialiri tegangan tinggi. Tegangan tinggi yang digunakan adalah tegangan tinggi DC sebesar 6kV. Nilai tegangan ini dipilih untuk memastikan terjadinya loncatan listrik dari *pole* ke *rod*.

**Tabel 3. Variasi frekuensi dan duty ketika bertegangan tinggi**

F (Hz)	Duty Cycle	Vin	lin	Kecepatan (rpm)	cos phi input
25	10%	112,76	0,12	1030	0,546
	20%	112,16	0,12	1220	0,550
	30%	112,88	0,10	1160	0,530
	40%	112,86	0,10	1180	0,534
	50%	112,12	0,12	1340	0,543
50	10%	112,86	0,10	440	0,538
	20%	110,98	0,16	690	0,558
	30%	106,72	0,26	840	0,575
	40%	106,78	0,27	1350	0,586
	50%	106,3	0,26	1380	0,591
	10%	112,68	0,12	530	0,538
	20%	111,54	0,14	670	0,553

**Tabel 3. (Lanjutan)**

F (Hz)	Duty Cycle	Vin	lin	Kecepatan (rpm)	cos phi input
80	30%	108,96	0,21	930	0,565
	40%	107	0,25	890	0,579
	50%	106,64	0,25	1040	0,583



**Gambar 15. Grafik hubungan duty cycle dan kecepatan saat elektroda dialiri tegangan tinggi**

Gambar 12 menunjukkan adanya penurunan kecepatan pada pengujian bertegangan tinggi dibandingkan dengan pengujian ketika *pole* tidak dialiri tegangan tinggi. Pada saat pengujian juga terjadi anomali yaitu nilai tegangan keluaran inverter yang naik turun. Ketidakstabilan nilai tegangan keluaran menyebabkan putaran yang tidak stabil pada *rotary spark gap*. Hal ini terjadi karena pada saat terjadi loncatan listrik antara *pole* dan *rod*, terjadi

kecenderungan untuk mempertahankan loncatan tersebut sehingga menambah beban motor. Kecenderungan ini menimbulkan gaya yang berlawanan dengan arah putar motor sehingga membuat kecepatan motor melambat.

**3.7. Perhitungan konsumsi daya**

Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui konsumsi daya yang diperlukan bagi inverter ketika beroperasi. Dari data yang diperoleh dari pengukuran maka dapat dihitung konsumsi daya dari *rotary spark gap*, yaitu

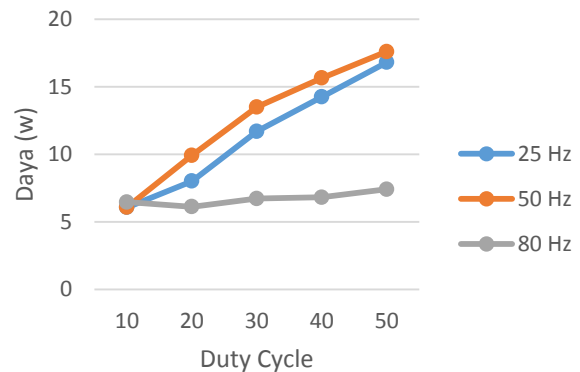
$$P = V.I. \cos \phi$$

$$P = 112,76 \cdot 0,11 \cdot 0,546$$

$$P = 6,07 \text{ W}$$

**Tabel 4. Perhitungan konsumsi daya**

Frekuensi (Hz)	Duty Cycle	Vin (V)	lin (A)	cos phi input	P (Watt)
25	10%	112,76	0,11	0,546	6,07
	20%	112,16	0,1	0,55	8,02
	30%	112,88	0,11	0,530	11,7
	40%	112,86	0,11	0,534	14,24
	50%	112,12	0,12	0,543	16,8
50	10%	112,86	0,1	0,538	6,08
	20%	110,98	0,16	0,558	9,92
	30%	106,72	0,22	0,575	13,50
	40%	106,78	0,25	0,586	15,64
	50%	106,3	0,28	0,591	17,60
	10%	112,68	0,1	0,538	6,74
	20%	111,54	0,13	0,553	6,12
80	30%	108,96	0,19	0,565	6,73
	40%	107	0,23	0,579	6,82
	50%	106,64	0,27	0,583	7,41



**Gambar 16. Grafik hubungan konsumsi daya dengan duty cycle**

Berdasarkan gambar 13 dapat dilihat bahwa konsumsi daya paling tinggi terjadi ketika inverter beroperasi pada frekuensi 50 Hz dengan daya 17,60 W saat kecepatan 1380 rpm. Sedangkan daya terendah terjadi ketika frekuensi 80 Hz dengan daya 6,12 W yaitu pada saat kecepatan 670 rpm.

#### 4. Kesimpulan

1. Inverter *Full Bridge* telah berhasil dibuat dan dapat digunakan untuk mengatur kecepatan putar *rotary spark gap* melalui pengaturan frekuensi dari 25 Hz – 80 Hz dan duty cycle dari 10% - 50%.
2. Variasi frekuensi mempengaruhi kecepatan putar *rotary spark gap*. Semakin tinggi frekuensi maka kecepatan putar motor semakin kecil, hal ini disebabkan nilai induktansi yang tinggi dari motor universal yang digunakan. Putaran tertinggi terjadi pada frekuensi 25 Hz dengan kecepatan 4571 rpm dan terendah pada frekuensi 80 Hz dengan kecepatan 3000 rpm.
3. Kenaikan nilai duty cycle meningkatkan besar tegangan pada keluaran inverter. Meningkatnya tegangan keluaran menyebabkan kecepatan putar motor yang juga meningkat. Semakin tinggi duty cycle, maka kecepatan putar semakin besar. Putaran terendah saat duty cycle 10% yaitu tertinggi terjadi saat duty cycle bernilai 50%
4. Konsumsi daya paling besar terjadi ketika inverter beroperasi pada frekuensi 50 Hz, yaitu 16,89 Watt dengan kecepatan 1350 rpm.

#### Referensi

- [1]. Mujahid, Wildan. Tugas Akhir: *Perancangan Pembangkit Tegangan Tinggi AC Frekuensi Tinggi dengan Kumparan Tesla menggunakan Inverter Jenis Push-Pull*, Universitas Diponegoro, 2010 .
- [2]. Habibi, Ahmad. Tugas Akhir: *Pembangkitan Tegangan Tinggi Bolak-balik Frekuensi Tinggi Menggunakan Kumparan Tesla*, Universitas Diponegoro, 2007.
- [3]. Samuel Muelchek. *Design and Simulation of Interconnected H-Bridge Inverter*, California Polytechnic University, 2012.
- [4]. Anintya Maharani. *Rancang Bangun Rangkaian Full Bridge sebagai Penggerak Mobil Listrik*, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya,
- [5]. Mahardika, Tegar. Tugas Akhir: *Perancangan Inverter Full Bridge Resonansi Seri Frekuensi Tinggi untuk Aplikasi Induction Cooker*. Universitas Diponegoro, 2014.
- [6]. S. Ketkaew, *A Study of Switching Frequency Changing in Full Bridge Inverter of Ozone Gas Generating Quantity*. KMITL, Bangkok, 2007
- [7]. Widyanika Prastiwi, *Perancangan Dan Implementasi Direct Torque Control 2 Level Inverter Pada Motor Induksi*. Jurnal Teknik POMITS, 2012
- [8]. Whardana, Ibnu. Tugas Akhir: *Perancangan Inverter Push Pull Resonan Paralel Pada Aplikasi Fotovoltaik*, Universitas Diponegoro, 2012.
- [9]. Zein, Ridlwan. Tugas Akhir: *Analisis Penguatan Tegangan Rangkaian Resonan LCC pada Frekuensi 30-100Hz*. Universitas Diponegoro, 2015.
- [10]. ---, <http://www.alldatasheet.com/>.