

PERANCANGAN PEMBANGKIT TEGANGAN TINGGI DC 7,90 KV – 58,70 KV MENGGUNAKAN KONVERTER FLYBACK

Dessy, Syamsir Abduh, Maula Sukmawidjaja dan Tyas Kartika Sari

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti

Jalan Kyai Tapa No. 1, Jakarta Barat, 11440, Indonesia

E-mail:dessy062001600012@std.trisakti.ac.id

ABSTRACT

It requires a tool in a high voltage laboratory to convert the voltage from a PLN of 220 VAC to a DC high voltage. The study aimed to evoke DC high voltage using the flyback method of coils with the Pulse Width Modulation (PWM) technique raised by microcontrollers within the Arduino system and observed the effect of frequency on spark gaps posed by voltage output from flyback transformers. In this study it has been successfully at a 7.90 kV–58.70 kV DC output voltage using Flyback transformer converters and using PWM techniques. The results of the study showed that with frequencies of 100 Hz, 200 Hz, 300 Hz, 400 Hz, 500 Hz, 600 Hz, 700 Hz, 800 Hz, 900 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 3000 Hz, and 4000 Hz, yielded output voltages according to Ritz's spark gap theory of 7.9 kV, 17.00 kV, 17.00 kV, 24.00 kV, 24.00 kV, 24.00 kV, 31.35 kV, 31.35 kV, 39.20 kV, 39.20 kV, 48.35 kV, 48.35 kV, 58.70 kV, 58.70 kV. This test showed that with duty cycles of 50% organized using Arduino the higher the frequency the higher the output voltage generated as the above is listed.

Keyword: Flyback Transformer, High Voltage, Pulse Width Modulation (PWM).

ABSTRAK

Diperlukan suatu alat di laboratorium tegangan tinggi untuk mengubah tegangan dari PLN sebesar 220V AC menjadi tegangan tinggi DC. Penelitian ini bertujuan untuk membangkitkan tegangan tinggi DC menggunakan metode flyback dari kumparan dengan teknik Pulse Width Modulation (PWM) yang dibangkitkan oleh mikrokontroler di dalam sistem Arduino dan mengamati pengaruh frekuensi terhadap spark gap yang ditimbulkan oleh keluaran tegangan dari transformator flyback. Pada penelitian ini telah berhasil di dapatkan tegangan keluaran sebesar 7.90 kV – 58,70 kV DC dengan menggunakan konverter transformator Flyback dan memakai teknik PWM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan frekuensi sebesar 100 Hz, 200 Hz, 300 Hz, 400 Hz, 500 Hz, 600 Hz, 700 Hz, 800 Hz, 900 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 3000 Hz, dan 4000 Hz, menghasilkan tegangan keluaran menurut teori spark gap Ritz sebesar 7.9 kV, 17.00 kV, 17.00 kV, 24.00 kV, 24.00 kV, 31.35 kV, 31.35 kV, 39.20 kV, 39.20 kV, 48.35 kV, 48.35 kV, 58.70 kV, 58,70 kV. Pengujian ini menunjukkan bahwa dengan duty cycle

sebesar 50 % yang diatur menggunakan Arduino semakin tinggi frekuensi semakin tinggi tegangan keluaran yang dihasilkan seperti yang tertera di atas.

Kata Kunci: *Transformator Flyback, High Voltage, Pulse Width Modulation (PWM).*

1. Pendahuluan

Diperlukan suatu alat di laboratorium tegangan tinggi untuk mengubah tegangan dari PLN sebesar 220V AC menjadi tegangan tinggi DC. Sumber tegangan tinggi yang diperlukan dalam suatu laboratorium adalah sumber tegangan tinggi arus bolak-balik. Sumber tegangan ini dapat diubah menjadi sumber tegangan tinggi arus searah, sumber tegangan tinggi *impulse* dan sumber tegangan tinggi bolak-balik dengan frekuensi tinggi. [1]

Dalam teknologi tegangan tinggi, desain pembangkitan tegangan tinggi DC dapat dilakukan dengan beberapa metode seperti konstruksi pembangkit multiplikasi tegangan tinggi *Cockroft-Walton*, rangkaian pengumpul dan pengalihan muatan *Van Der Graff*, dan lain-lain. Rangkaian *Cockroft-Walton* dan *Van Der Graff* sering digunakan karena kedua rangkaian ini merupakan rangkaian sederhana. Namun, kedua metode ini memiliki efisiensi yang rendah dalam beberapa kondisi pengoperasian rangkaian. Selain itu kedua metode ini juga cukup mahal dan membutuhkan ruang yang besar. Dengan beberapa kelemahan tersebut, *switching circuit* merupakan alternatif yang menarik karena memiliki keuntungan yaitu biaya yang rendah dan menggunakan lebih sedikit ruang. Untuk menyediakan *switching circuit*, harus dirancang suatu pengontrol sirkuit elektronik. Selain itu, sirkuit ini juga dapat menghasilkan tegangan yang cukup tinggi untuk mempelajari efek tegangan tinggi. [2]

Konverter *flyback* dapat dibuat sebagai sambungan dari konverter *Buck-Boost*. Konverter *Buck-Boost* bekerja dengan menyimpan energinya di induktor ketika fasa nyala dan melepaskan energinya ketika fasa mati. Dengan transformator, penyimpanan energi berada dalam magnetisasi inti transformator. Konverter *flyback* memiliki *ripple* yang tinggi pada tegangan keluarannya dan sering dijumpai pada aplikasi daya rendah, dan juga pada aplikasi yang membutuhkan keluaran banyak (*multiple outputs*).[2]

Metode *switching circuit* sudah pernah dilakukan pada penelitian [2] yang diterapkan pada konverter *flyback* yang menghasilkan tegangan 30 kV DC. Konverter *flyback* terdiri dari trafo *step up* tegangan tinggi dan transistor *switching*. Konverter ini menghasilkan tegangan *switching* dengan menggunakan *switching* MOSFET.

Tegangan *switching* yang dimasukkan ke transformator *flyback* primer untuk meningkatkan level tegangan di gulungan sekunder transformator sesuai dengan rasio $N1:N2$. Tegangan sekunder dari transformator *flyback* digunakan untuk membangkitkan tegangan tinggi DC dengan menggunakan penyearah setengah gelombang. Keuntungan dari penggunaan konverter *flyback* adalah dapat mengisolasi bagian kendali pensaklaran dan bagian keluaran.[3]

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat membuat rangkaian pembangkitan tegangan tinggi yang mampu menghasilkan energi listrik tegangan tinggi DC 7.90 kV – 58.70 kV yang dapat digunakan untuk kebutuhan studi dan penelitian.

2. Kajian Pustaka

Penyearah Gelombang Penuh dengan menggunakan 4 Dioda adalah jenis *rectifier* yang paling sering digunakan dalam rangkaian *Power Supply* karena memberikan kinerja yang lebih baik dari jenis penyearah lainnya. Penyearah Gelombang Penuh 4 Dioda ini juga sering disebut dengan *Bridge Rectifier* atau Penyearah Jembatan. Fungsi kapasitor pada rangkaian penyearah gelombang penuh untuk menekan *ripple* yang terjadi dari proses penyearahan gelombang AC. Setelah dipasang filter kapasitor maka *output* dari rangkaian penyearah gelombang penuh ini akan menjadi tegangan DC (*Direct Current*).[4]

Rangkaian *driver* digunakan untuk *switching* tegangan menggunakan teknik PWM yang berasal dari Arduino. Rangkaian *driver* terdiri dari 1 buah *rectifier* kotak, 1 MOSFET IRFP260N, dan dioda 2200 μ F.

Pemakaian MOSFET ini lebih baik daripada transistor. Dalam blok dipakai MOSFET IRFP260N yang mempunyai arus maksimal 30A dan tegangan maksimal 150V. MOSFET lebih efisien dan mudah untuk mengkalkulasi matematikanya. Dan dalam pemakaian PWM, MOSFET lebih optimal. Jadi untuk mengoperasikannya dengan menyulut gerbang *gate* dengan tegangan (bisa dari mikrokontroler).[5]

PWM yang dihasilkan Arduino menggerakkan MOSFET dan menjadikannya sebagai saklar (*switch*) yang dapat memutuskan dan menghubungkan tegangan dengan

sangat cepat. *Switching* tersebut menghasilkan frekuensi pada tegangan DC yang memungkinkan arus mengalir dan menginduksi lilitan primer. MOSFET IRFP260N harus diberikan pendingin berupa *heatsink* dan kipas DC untuk mencegah panas berlebih selama waktu operasi.

Transformator Flyback yang digunakan adalah transformator flyback yang berasal dari TV tabung. Topologi sirkuit *flyback single-ended* adalah sumber daya sederhana dan berbiaya rendah. Tegangan positif 15 VDC akan diumpankan langsung ke lilitan primer TFB. Perubahan medan magnet di lilitan primer (karena arus yang berdenyut) akan menghasilkan arus induksi pada lilitan sekunder yang memiliki lebih banyak lilitan untuk meningkatkan tegangan. Pada bagian ini tegangan akan dinaikkan dari 15V DC menjadi tegangan dalam orde kV. Tegangan keluaran untuk TFB dapat mencapai tegangan DC 7.90 kV – 58.70 kV.

Arduino berfungsi sebagai pembangkit pulsa PWM (*duty cycle* dan frekuensi). PWM akan diteruskan ke MOSFET IRFP260N untuk mengontrol tegangan keluaran. *Rotary Encoder* berfungsi untuk mengatur frekuensi yang dikeluarkan dari Arduino Nano. LCD 16 x 2 akan menampilkan nilai frekuensi yang diatur melalui *rotary encoder*.

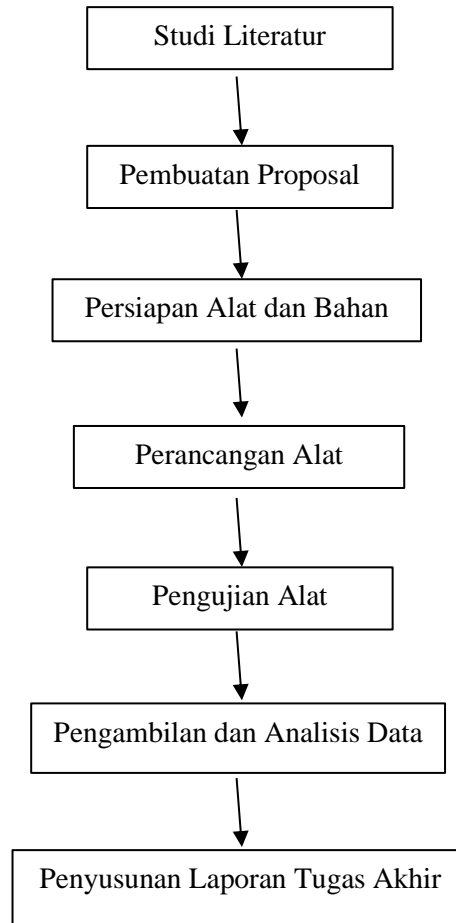
Tampilan LCD Karakter sangat umum digunakan untuk proyek Arduino, untuk menampilkan sejumlah kecil informasi tekstual. Jenis yang paling umum adalah display dasar yang terhubung langsung dan yang dengan adaptor I2C. Versi I2C lebih mahal tetapi hanya membutuhkan 4 kabel untuk terhubung ke Arduino, yang membuatnya sangat menarik dan pilihan yang mudah digunakan untuk proyek Arduino.

3. Metode Penelitian

Dalam proses untuk mencapai tujuan dari penelitian ini dilakukan beberapa tahapan mulai dari membaca beberapa penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian ini, kemudian mempelajari perancangan pembangkit tegangan tinggi arus searah beserta komponen yang dibutuhkan.

Tahapan selanjutnya adalah melakukan pengumpulan data yang akan digunakan beserta teori penunjang untuk melakukan perancangan pembangkit tegangan tinggi arus searah menggunakan konverter *flyback*. Pengumpulan data dilakukan dengan tiga cara, pertama adalah dengan mencari literasi yang dapat digunakan untuk menunjang penelitian, kedua adalah melakukan persiapan alat dan bahan, dan ketiga dengan melakukan perancangan alat serta pengujian alat.

Tahap pertama adalah mencari literasi yang dapat digunakan untuk menunjang penelitian. Literasi tersebut berupa penelitian terdahulu mengenai perancangan pembangkit tegangan tinggi arus searah serta teori tentang komponen-komponen alat yang akan digunakan. Tahap kedua adalah melakukan persiapan alat dan bahan. Persiapan alat dan bahan berupa pembelian komponen yang akan digunakan. Tahap terakhir adalah melakukan perancangan alat pembangkit tegangan tinggi arus searah serta melakukan pengujian dengan metode spark gap. Metode spark gap yang dipakai adalah celah batang karena keterbatasan alat pengujian tegangan tinggi, maka pengujian dilakukan dengan melihat spark gap di antara dua paku besi yang berfungsi sebagai positif dan negatif dari tegangan keluaran pembangkit tegangan tinggi.



Gambar 3. 1 Diagram Alir

Penelitian dimulai dengan melakukan studi literatur pada buku, jurnal, internet dan literatur lainnya. Literatur tersebut digunakan sebagai dasar dalam perancangan sistem dan ditulis dalam bentuk proposal penelitian. Penelitian ini dilakukan untuk membuat sebuah alat yang dapat menjadi sumber tegangan tinggi sebesar 30 kV menggunakan konverter *Flyback*. Tahap-tahap penyelesaian penelitian ini secara umum ditunjukkan pada Gambar 3.1.

Tahap selanjutnya mempersiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan untuk merealisasikan alat. Perancangan alat dilakukan dengan mempersiapkan sumber daya

15V DC, rangkaian *driver*, serta melakukan pengujian terhadap *hardware* yang sudah disiapkan.



Gambar 3. 2 Diagram Rencana Perancangan Alat

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Pengujian Tegangan *Input*

Pada pengujian ini dilakukan dengan mengukur tegangan masuk dari PLN yang akan masuk ke trafo 15 V. Berdasarkan pengukuran menggunakan multimeter didapatkan data tegangan masuk dari PLN sebesar 225 VAC.



Gambar 4. 1 Hasil Pengukuran Tegangan PLN

4.2 Pengujian Rangkaian LCD

Pada pengujian rangkaian LCD bertujuan untuk mengetahui apakah LCD dapat berjalan dengan baik. LCD dihubungkan langsung dari Arduino yang berfungsi mengirimkan data hasil pengolahan untuk ditampilkan dalam bentuk alfabet dan numerik pada LCD. Untuk melihat tampilan pada LCD dapat dilihat pada gambar 4.() dengan *Listing Program* yang terdapat pada bagian Pengujian PWM.



Gambar 4. 2 Tampilan LCD

4.3 Pengujian Rangkaian Keseluruhan

Pengujian keseluruhan ini dilakukan untuk mengetahui apakah fungsi tiap blok rangkaian dapat berjalan dengan baik atau tidak. Prinsip kerja dari sistem ini adalah menaikkan tegangan yang berasal dari PLN sampai menjadi tegangan tinggi. Dimulai dengan pengaturan tegangan dari PLN masuk ke trafo 15 V dan disearahkan menggunakan *bridge rectifier* dan akan diteruskan ke MOSFET IRFP260N. Frekuensi masukan akan di program dari Arduino dan dapat diatur pada *rotary encoder* yang selanjutnya frekuensi tersebut akan masuk ke MOSFET IRFP260N. Frekuensi masukan akan diteruskan ke Transformator *Flyback* sebagai alat utama untuk menaikkan tegangan menjadi tegangan tinggi. Transformator *Flyback* juga harus

diberi lilitan luar sebanyak 8 lilitan untuk memicu terjadinya induksi di dalam lilitan dalam transformator *flyback*, lilitan yang digunakan adalah kawat tembaga AWG 16.

Alat pembangkit tegangan tinggi ini menggunakan satu buah *heatsink* dan satu buah kipas DC. *Heat sink* berfungsi sebagai peredam panas pada *fast switching* MOSFET. Kipas DC berfungsi untuk mendinginkan MOSFET dan *heatsink*.



Gambar 4. 3 Pengujian Rangkaian Keseluruhan

4.4 Pengukuran Tegangan *Output Flyback* Menggunakan *Spark Gap*

Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui nilai *output* tegangan tinggi arus searah dari transformator *flyback* yang digunakan. Pengukuran dilakukan dengan cara mengubah frekuensi masukan dan mengukur tegangan yang dihasilkan dengan teori *spark gap* pada celah batang paku besi. Pengukuran dilakukan dengan *duty cycle* sebesar 50% yang diatur menggunakan Arduino Nano.

Tabel 4. 1 Pengukuran Spark Gap pada Tiap Perubahan Frekuensi

Pengambilan data ke-	Frekuensi (Hz)	Spark gap (cm)
1	100	0,2
2	200	0,5
3	300	0,5
4	400	0,7
5	500	0,7
6	600	1
7	700	1
8	800	1,2
9	900	1,2
10	1000	1,5
11	2000	1,5
12	3000	2
13	4000	2

Setelah melakukan pengukuran pada Tabel 4.1, mengacu pada Tabel 3.5 maka akan didapatkan data seperti pada Tabel 4.2 dengan $t = 20^{\circ}\text{C}$ dan $p = 760$ torr.

Tabel 4. 2 Tegangan Hasil Pengukuran

Pengambilan data ke-	Frekuensi (Hz)	Spark gap (cm)	Tegangan Sparkover Celah Bidang Seragam Berdasarkan Pengukuran dari		
			Ritz (kV)	Bruce (kV)	Schumann (kV)
1	100	0,2	7,90	7,56	8,00
2	200	0,5	17,00	16,41	17,40
3	300	0,5	17,00	16,41	17,40
4	400	0,7	24,00	23,50	24,70
5	500	0,7	24,00	23,50	24,70
6	600	1	31,35	30,30	31,70
7	700	1	31,35	30,30	31,70
8	800	1,2	39,20	38,10	39,50
9	900	1,2	39,20	38,10	39,50
10	1000	1,5	48,35	46,70	49,40
11	2000	1,5	48,35	46,70	49,40
12	3000	2	58,70	57,04	59,60
13	4000	2	58,70	57,04	59,60

Terlepas dari kinerja yang unggul dan akurasi, *spark gap* biasanya tidak digunakan untuk tujuan pengukuran, sebagai akhir yang sangat akurat dari batang paku yang seragam. Dikarenakan tidak ada elektroda yang dapat digunakan untuk pengukuran dengan tingkat akurasi yang lebih tinggi maka dipilihlah metode *spark*

gap untuk mengukur perkiraan tegangan keluaran dari pembangkit tegangan tinggi arus searah.

$$P_1 = 15 \text{ V} \times 5 \text{ A} = 75 \text{ VA}$$

Tegangan Ritz (kV) sebagai V_2 .

Tabel 4.3 Arus Keluaran pada Tegangan Sparkover berdasarkan Pengukuran Tegangan Ritz

Pengambilan data ke-	Frekuensi (Hz)	Spark gap (cm)	Ritz (kV)	$I_2 = \frac{P}{V_2}$
1	100	0,2	7,90	9,49 mA
2	200	0,5	17,00	4,41 mA
3	300	0,5	17,00	4,41 mA
4	400	0,7	24,00	3,12 mA
5	500	0,7	24,00	3,12 mA
6	600	1	31,35	2,39 mA
7	700	1	31,35	2,39 mA
8	800	1,2	39,20	1,91 mA
9	900	1,2	39,20	1,91 mA
10	1000	1,5	48,35	1,55 mA
11	2000	1,5	48,35	1,55 mA
12	3000	2	58,70	1,28 mA
13	4000	2	58,70	1,28 mA

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengukuran, pengamatan, dan pengujian pada penelitian ini diambil kesimpulan, telah direalisasikan pembangkitkan tegangan tinggi DC 7.9 kV – 58.70 kV menggunakan metode konverter *Flyback* dengan teknik PWM Arduino. Dari hasil pengukuran didapatkan frekuensi sebesar 100 Hz, 200 Hz, 300 Hz, 400 Hz, 500 Hz, 600 Hz, 700 Hz, 800 Hz, 900 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 3000 Hz, dan 4000 Hz, menghasilkan tegangan keluaran menurut teori *spark gap* Ritz sebesar 7.9 kV, 17.00 kV, 17.00 kV, 24.00 kV, 24.00 kV, 31.35 kV, 31.35 kV, 39.20 kV, 39.20 kV, 48.35 kV, 48.35 kV, 58.70 kV, 58,70 kV. Pengujian ini menunjukkan bahwa dengan duty cycle sebesar 50 % yang diatur menggunakan Arduino semakin tinggi frekuensi semakin tinggi tegangan keluaran yang dihasilkan seperti yang tertera di atas. Saran yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya adalah dalam proses pengukuran tegangan tinggi yang keluar dari trafo *flyback* dapat menggunakan elektroda yang lebih akurat hasilnya dan lebih banyak menggunakan trafo *flyback* dan driver untuk meningkatkan keluaran tegangan tinggi.

Daftar Pustaka

- [1] S. Abduh, *Dasar Pembangkitan dan Pengukuran Teknik Tegangan Tinggi*, Edisi 1. Jakarta: Salemba Teknika, 2001.
- [2] A. Singhasathein *et al.*, “Design and Construction of 30 kV High Voltage Generator Using Fly-Back Converter,” *Appl. Mech. Mater.*, vol. 781, no. July, pp. 361–365, 2015, doi: 10.4028/www.scientific.net/amm.781.361.
- [3] S. K. Salman, *Introduction to the smart grid*, vol. 2. 2017.
- [4] S. Chowdhury, S. P. Chowdhury, and P. Crossley, *Microgrids and active distribution networks*. 2009.
- [5] H. Pranoto, “Perancangan sistem pengendalian posisi linier motor DC dengan algoritma,” 2018.