

SEMINAR NASIONAL PENDIDIKAN FISIKA 2017

“Peran Pendidikan, Sains, dan Teknologi untuk Mengembangkan Budaya Ilmiah dan Inovasi terbaru dalam mendukung Sustainable Development Goals (SDGs) 2030“

24 SEPTEMBER 2017

**PERANCANGAN *PROTOTYPE* GENERATOR PULSA MEDAN LISTRIK DC
TEGANGAN MEDIUM DENGAN *OUTPUT* AMPLITUDO, DURASI, *DUTY-CYCLE*
DAN FREKUENSI TERKOMBINASI**

Findi Diansari

Program Studi Pendidikan Fisika, FKIP, Universitas Jember

findiii84@gmail.com

Sudarti

Program Studi Pendidikan Fisika, FKIP, Universitas Jember

dr.sudarti_unej@yahoo.com

Alex Harijanto

Program Studi Pendidikan Fisika, FKIP, Universitas Jember

alexharijanto@yahoo.com.au

Abstrak

Perpaduan frekuensi telah diaplikasikan dalam dunia elektronik dan sistem telekomunikasi terkini. Sebuah penelitian yang telah dipatenkan memaparkan sebuah metode pemaduan frekuensi yang dapat berganti dengan cepat, dapat dijeda, direntangkan dan disela. Perpaduan frekuensi tersebut berpotensi pula untuk dapat memberi banyak manfaat dalam sistem analog khususnya dalam bidang pengolahan makanan, kesehatan dan lingkungan melalui teknologi pulsa medan listrik. Kombinasi dari seluruh spesifikasi pulsa medan listrik yaitu amplitudo, durasi, *duty-cycle* dan frekuensi dapat berperan dalam efisiensi dua buah proses atau lebih yang berkesinambungan. Namun demikian, teknologi pulsa medan listrik konvensional belum dapat menghasilkan spesifikasi *output* yang terkombinasi. Melalui penelitian dan pengembangan ini, didesain sebuah rancangan rangkaian berdasarkan ekspektasi melalui perhitungan matematis, terdiri dari tujuh buah sub-sirkuit penyusun *prototype*, kemudian disimulasikan melalui *software* NI MultisimTM 14.0 dan diperoleh sebuah rancangan rangkaian *prototype* pulsa medan listrik DC tegangan medium dengan *output*terkombinasi, yaitu amplitudo 1,36 kV_{DC}; *duty-cycle* 29,77 %; frekuensi 1,15 Hz dan pulsa medan listrik 1,36 kV_{DC}/cm pada 15,9 detik pertama serta spesifikasi *output* 1,66 kV_{DC}; *duty-cycle* 42,04 %; frekuensi 1,98 Hz dan pulsa medan listrik 1,66 kV_{DC}/cm pada durasi 5 detik berikutnya. Adapun, dalam bidang pendidikan hasil penelitian ini dapat berperan sebagai media pembelajaran materi osilasi gelombang listrik dinamis.

Kata kunci: *Kombinasi, pulsa medan listrik, rancangan rangkaian, dan sistem rangkaian analog*

PENDAHULUAN

Mair & Xiu (2000) memaparkan bahwa perpaduan frekuensi telah banyak diaplikasikan dalam dunia elektronik dan desain sistem telekomunikasi terkini. Sebuah penelitian yang telah dipatenkan memaparkan sebuah metode pemaduan frekuensi (Xiu & You, 2005) dengan memadukan metode PLL dengan *voltage controlled oscillator* (VCO) (Xiu & You, 2008) dimana frekuensi yang dihasilkan dapat berganti dengan cepat (Xiu, 2012: 40), dapat dijeda, direntangkan dan disela (Xiu, 2012: 55). Keunggulan tersebut berpotensi untuk diterapkan tidak hanya terbatas dalam aplikasi *digital* dan sistem telekomunikasi, namun dapat diaplikasikan dan

memberi banyak manfaat dalam sistem analog khususnya dalam kaitannya dengan pengolahan makanan, kesehatan dan lingkungan melalui teknologi pulsa medan listrik atau *pulsed electric fields* (PEF). Generator pulsa medan listrik merupakan suatu peralatan elektronik yang menghasilkan suatu pulsa medan listrik dengan kecepatan pengulangan terkontrol melalui dua buah elektroda yang tersusun secara paralel (Bluhm, 2006; Attwood, 1932)

Grenier (2006) memaparkan bahwa kegunaan dari pulsa medan listrik atau *pulsed electric field* (PEF) telah banyak dimanfaatkan pada aplikasi bioteknologi. Selanjutnya, Vorobiev *et al.* (2008) juga memaparkan bahwa teknik ini memungkinkan peningkatan efisiensi

SEMINAR NASIONAL PENDIDIKAN FISIKA 2017

“Peran Pendidikan, Sains, dan Teknologi untuk Mengembangkan Budaya Ilmiah dan Inovasi terbaru dalam mendukung Sustainable Development Goals (SDGs) 2030“

24 SEPTEMBER 2017

proses ekstraksi dari tanaman pangan, baik ekstraksi intrasel dari mikroalga (Goettel *et al.*, 2013); kalsium tak larut dari tulang (Yin dan He, 2007); fenol (Delsart *et al.*, 2012); polifenol (Luengo *et al.*, 2013); *anthocyanin* (Gachovska *et al.*, 2010); sukrosa (Lopez *et al.*, 2009); *red beetroot pigment* (Chalermchat *et al.*, 2004); polisakarida (Yongguang *et al.*, 2006), serta dehidrasi dari komponen *biosolids*. Metode pulsa medan listrik dapat menjaga sifat gizi, fungsional, struktural, dan sensorik dari produk dengan lebih baik daripada teknologi ekstraksi konvensional. Di samping itu, perlakuan pulsa medan listrik sangat efektif untuk pemisahan bioproduct dan dehidrasi limbah makanan (Vorobiev *et al.*, 2008), reduksi kandungan pestisida pada buah (Zhang *et al.*, 2011), inaktivasi enzim tidak menguntungkan (Giner *et al.*, 2002; Quitao-Teixeira *et al.*, 2008) serta pemurnian minyak nabati (Guderjan *et al.*, 2005).

Perpaduan spesifikasi pulsa medan listrik, diantaranya amplitudo, durasi, *duty-cycle* dan frekuensi pulsa medan listrik dapat memberikan pengaruh yang berbeda terhadap sampel yang dipapar jika dibandingkan dengan pemaparan pulsa medan listrik dengan spesifikasi tunggal. Spesifikasi amplitudo pulsa medan listrik yang berbeda terhadap enzim dapat menyebabkan beberapa perubahan bentuk yang menyebabkan kenaikan atau penurunan aktivitas enzim (Ohshima *et al.*, 2007). Hal tersebut terkait dengan korelasi antara fluktuasi dinamis dan gerakan internal protein penyusun enzim dengan aktivitas enzim yang bersangkutan (Gao, 2003) dan peran medan listrik dalam proses elektroporasi *reversible* maupun *irreversible* (Bluhm, 2006). Durasi pulsa medan listrik yang berbeda dapat memberikan pengaruh yang berbeda terhadap disintegrasi pada jaringan sel (De Vito *et al.*, 2008) dalam kaitannya dengan elektroporasi secara *reversible* untuk penyisipan gen dan obat serta elektroporasi secara *irreversible* untuk proses ekstraksi. *Duty-cycle* pada pulsa medan listrik dapat berperan dalam memberikan jeda pada proses pergantian spesifikasi pulsa medan listrik jika dikondisikan dalam sebuah siklus yang memiliki frekuensi rendah. Perpaduan frekuensi pulsa medan listrik dapat memberi efek dalam proses penggabungan tetes-tetes minyak dan memberikan kondisi konstan lebih besar pada minyak (Peng *et al.*, 2015). Berdasarkan hal tersebut, perpaduan spesifikasi pulsa medan listrik dapat berperan dalam efisiensi proses yang melibatkan

beberapa proses berbeda secara berkelanjutan pada sampel yang sama.

Namun demikian, generator pulsa medan listrik konvensional sulit untuk menghasilkan sebuah *output* pulsa medan listrik dengan amplitudo, durasi, *duty-cycle* dan frekuensi yang terkombinasi (Stahl, 2000). Dengan demikian, penulis melakukan penelitian ini. Amplitudo yang dipilih sebagai *output* untuk menguji kinerja dari rancangan rangkaian *prototype* adalah sebesar 1,5 kV dan 2 kV berdasar pada salah satu penerapan pulsa medan listrik dengan spesifikasi terkombinasi pada sel hewani dengan pertimbangan bahwa perlakuan pulsa medan listrik dengan amplitudo 1,5 kV/cm efektif dalam pelepasan *anthocyanins* pada buah anggur merlot yang berperan sebagai senyawa bioprotektif terhadap oksidasi (Leong *et al.*, 2015), adapun perlakuan pulsa medan listrik dengan amplitudo 2 kV/cm merupakan amplitudo maksimum di dalam rentang elektroporasi efektif pada sel hewani (Nickoloff, 1995: 35-38) dimana kedua peran tersebut dapat diterapkan dalam sebuah perlakuan tunggal yang berkesinambungan pada sel hewani, contoh bidang pangan adalah pada *fillet* tipis ikan laut mentah untuk mengekstrak antioksidan (Leong *et al.*, 2015) kemudian menyisipkan senyawa antioksidan tersebut ke dalam jaringan sel ikan laut yang bertujuan untuk memperpanjang daya simpan dari ikan laut yang terkait, sedangkan pada bidang kesehatan sebagai perlakuan penyisipan ekstrak temulawak ke dalam sel atau jaringan kanker sebagai *growth-inhibitor* (Anand *et al.*, 2008) kemudian berlanjut pada proses apoptosis pada sel yang terkait (Beebe *et al.*, 2003). Diharapkan, melalui penelitian ini dapat merancang dan mengkaji sebuah rancangan rangkaian *prototype* generator pulsa medan listrik yang mampu untuk menghasilkan *output* pulsa medan listrik tegangan medium dengan spesifikasi amplitudo, durasi, *duty-cycle* dan frekuensi terkombinasi. Perumusan masalah dalam penelitian ini adalah: 1) bagaimanakah rancangan rangkaian *prototype* generator pulsa medan listrik DC tegangan medium dengan *output* amplitudo, durasi, *duty-cycle* dan frekuensi terkombinasi, dan 2) bagaimanakah hasil simulasi rancangan rangkaian *prototype* generator pulsa medan listrik DC tegangan medium dengan *output* amplitudo, durasi, *duty-cycle* dan frekuensi terkombinasi. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah: 1) mendesain rancangan rangkaian *prototype* generator pulsa medan listrik DC tegangan medium dengan *output* amplitudo, durasi, *duty-cycle* dan frekuensi

SEMINAR NASIONAL PENDIDIKAN FISIKA 2017

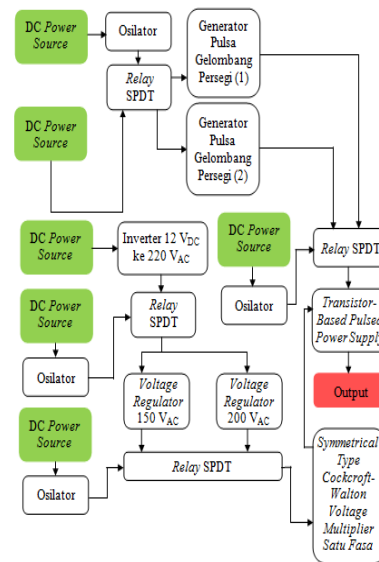
“Peran Pendidikan, Sains, dan Teknologi untuk Mengembangkan Budaya Ilmiah dan Inovasi terbaru dalam mendukung Sustainable Development Goals (SDGs) 2030“

24 SEPTEMBER 2017

terkombinasi, dan 2) memperoleh hasil simulasi rancangan rangkaian *prototype* generator pulsa medan listrik DC tegangan medium dengan *output* amplitudo, durasi, *duty-cycle* dan frekuensi terkombinasi.

METODE PENELITIAN

Jenis penelitian yang dilakukan yaitu penelitian dan pengembangan, sehingga penelitian ini dirancang untuk memperoleh produk. Produk yang dimaksud yaitu rancangan rangkaian dan hasil simulasi dari *prototype* generator pulsa medan listrik DC tegangan medium dengan *output* amplitudo, durasi, *duty-cycle*, dan frekuensi terkombinasi. Rancangan *prototype* generator pulsa medan listrik yang dikembangkan berupa generator pulsa medan listrik dengan spesifikasi *output*, baik amplitudo; durasi; *duty-cycle*; dan frekuensi yang terkombinasi. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Elektronika Dasar Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember. Batasan penelitian terfokus pada perolehan data *output* dari hasil simulasi rancangan rangkaian *prototype* yaitu berupa pulsa medan listrik DC tegangan medium dengan besar amplitudo, durasi, *duty-cycle* dan frekuensi terkombinasi yang dihasilkan melalui *software* NI Multisim™ 14.0 dengan besar tegangan yang diambil dalam penelitian ini adalah berkisar antara 1,5 kV hingga 2 kV. Desain penelitian yang digunakan menerapkan metode penelitian *Research and Development* (R&D) dengan tahapan dari metode penelitian *Research and Development* (R&D) yang dikembangkan oleh Borg dan Gall (1983: 775) hingga pada tahap *operational product revision*. Data bersumber dari hasil validasi logis oleh validator ahli dan hasil simulasi rancangan rangkaian oleh *software* NI Multisim™ 14.0. Variabel kontrol pada penelitian ini adalah rancangan *prototype* dan *input* tegangan yaitu sebesar 9 V_{DC} sebagai *input* bagi masing-masing generator pulsa tegangan rendah dan sebesar 6 V_{DC} sebagai *input* bagi masing-masing osilator *relay*. Sedangkan variabel terikat pada penelitian ini antara lain amplitudo, durasi, *duty-cycle* dan frekuensi dari *output* rancangan *prototype*. Rancangan rangkaian *prototype* disusun berdasarkan tujuan penelitian dan perhitungan matematis untuk menentukan desain rangkaian beserta spesifikasi dan *rating* maksimum dari tiap komponen penyusun *prototype*. Berikut adalah diagram alir perancangan *prototype* pada penelitian ini:



Gambar 1. Diagram alir perancangan *prototype*

Prosedur pengambilan data penelitian terdiri atas tahapan berikut:

- Menyiapkan *software* NI Multisim™ 14.0 beserta seluruh rancangan rangkaian *prototype* dan instrumen visualisasi *output*.
- Memeriksa kembali seluruh rangkaian dan penempatan komponen pada rancangan rangkaian *prototype* dan instrumen visualisasi *output*.
- Membuka *file* sub-sirkuit pertama penyusun rancangan rangkaian *prototype* pada *software* NI Multisim™ 14.0
- Mengaktifkan *run* pada *software*.
- Menonaktifkan *run* pada detik ke-20,9.
- Menyimpan gambar hasil simulasi dalam format JPEG.
- Mengulangi langkah 2 sampai dengan ke-6 untuk seluruh sub-sirkuit penyusun *prototype*.
- Mengulangi langkah 2 sampai dengan ke-6 untuk rancangan rangkaian *prototype* secara menyeluruh.

Berdasarkan hasil simulasi rancangan rangkaian, baik masing-masing sub-sirkuit penyusun *prototype* maupun *prototype* secara keseluruhan, dapat dianalisis secara deskriptif kesesuaian antara *output* yang diharapkan beserta hasil perhitungan matematis dibandingkan dengan *output* yang dihasilkan untuk dikaji faktor yang mempengaruhinya. Kemudian tahap terakhir dirumuskan poin-poin perbaikan berdasarkan hasil analisis terhadap *output* yang dihasilkan oleh rancangan rangkaian *prototype* sehingga diperoleh referensi bagi

SEMINAR NASIONAL PENDIDIKAN FISIKA 2017

“Peran Pendidikan, Sains, dan Teknologi untuk Mengembangkan Budaya Ilmiah dan Inovasi terbaru dalam mendukung Sustainable Development Goals (SDGs) 2030“

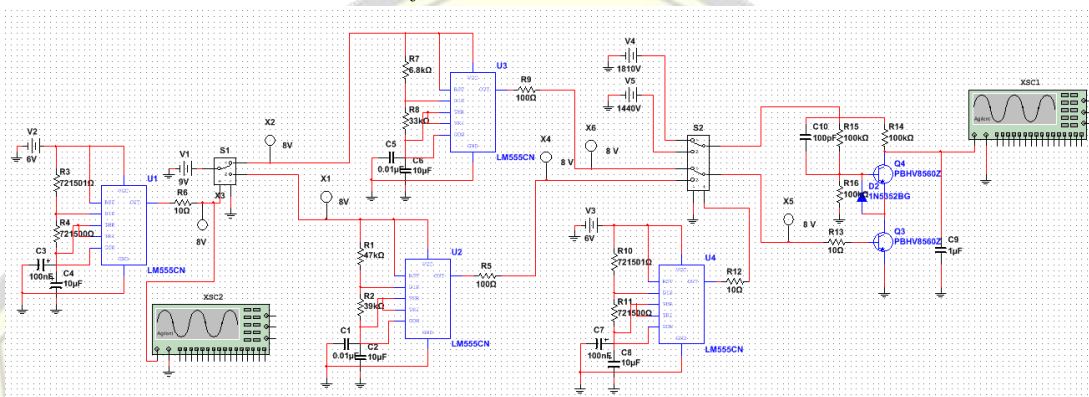
24 SEPTEMBER 2017

pengembangan rancangan rangkaian *prototype* selanjutnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

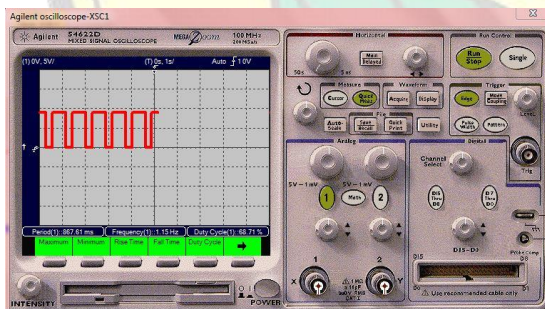
Sebelum dilakukan pengambilan data penelitian, telah dilakukan proses validasi logis oleh seorang validator ahli yang memperoleh hasil kriteria validitas secara deskriptif sebesar 90,90 % dengan tingkat validitas sangat valid atau dapat digunakan tanpa revisi. Adapun rancangan rangkaian *prototype* secara keseluruhan telah dibuat dalam *software* NI

Multisim™ 14.0 dengan berdasar pada perhitungan matematis dan pertimbangan desain untuk perolehan hasil sesuai dengan tujuan penelitian serta disimulasikan untuk memperoleh hasil simulasi sebagai analisis kinerja rancangan rangkaian. Spesifikasi *output* hasil simulasi yang dimaksudkan adalah ketepatan durasi dan bentuk gelombang kombinasi. Adapun rancangan rangkaian *prototype* secara keseluruhan adalah sebagai berikut:

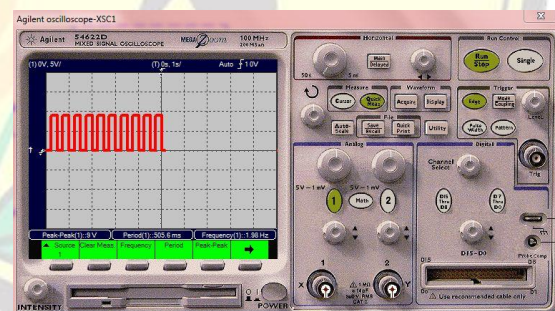


Gambar 2. Rancangan rangkaian *prototype* secara keseluruhan

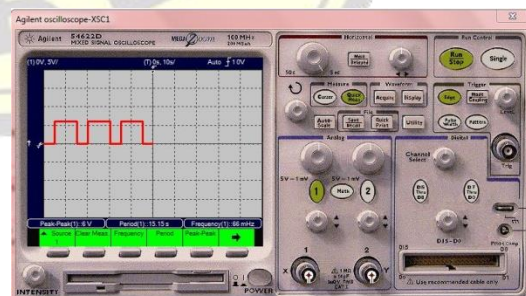
Sedangkan *output* hasil simulasi dari masing-masing rancangan rangkaian sub-sirkuit penyusun *prototype* adalah sebagai berikut:



Gambar 3. *Output* berdasarkan hasil simulasi rancangan rangkaian sub-sirkuit generator pulsa tegangan rendah bagian pertama



Gambar 4. *Output* berdasarkan hasil simulasi rancangan rangkaian sub-sirkuit generator pulsa tegangan rendah bagian kedua

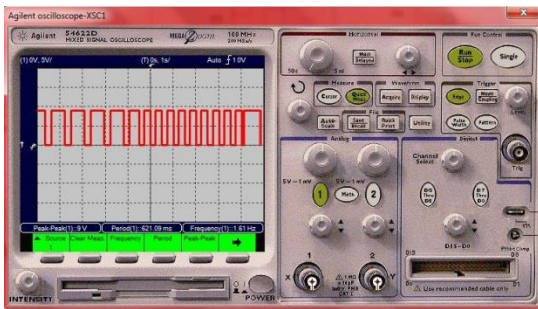


Gambar 5. *Output* berdasarkan hasil simulasi rancangan rangkaian sub-sirkuit osilator relay

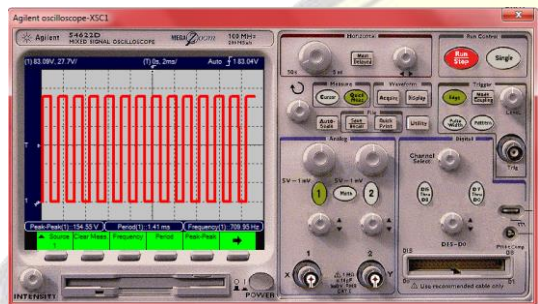
SEMINAR NASIONAL PENDIDIKAN FISIKA 2017

“Peran Pendidikan, Sains, dan Teknologi untuk Mengembangkan Budaya Ilmiah dan Inovasi terbaru dalam mendukung Sustainable Development Goals (SDGs) 2030“

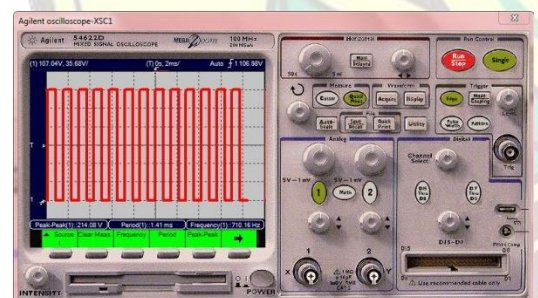
24 SEPTEMBER 2017



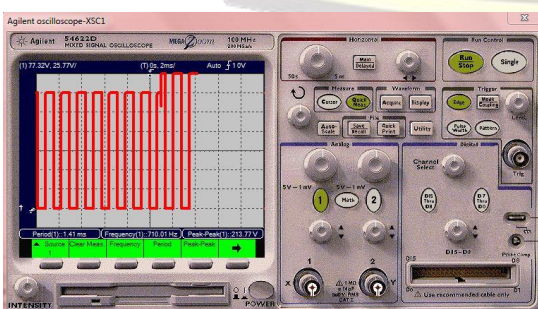
Gambar 6. Output berdasarkan hasil simulasi rancangan rangkaian kombinasi dua buah sub-sirkuit generator pulsa tegangan rendah



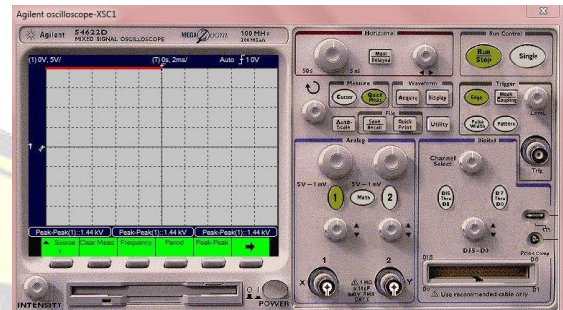
Gambar 7. Output berdasarkan hasil simulasi rancangan rangkaian sub-sirkuit sinusoidal-voltage source yang terhubung dengan AC voltage-regulator 150 V_{AC}



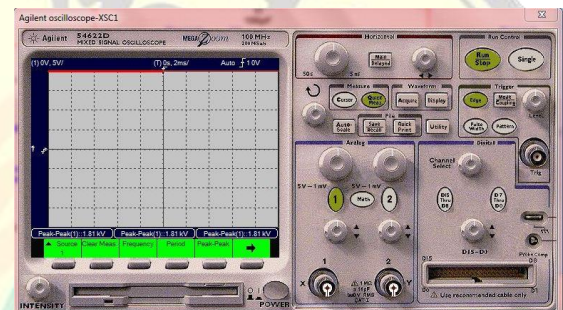
Gambar 8. Output berdasarkan hasil simulasi rancangan rangkaian sub-sirkuit sinusoidal-voltage source yang terhubung dengan AC voltage-regulator 200 V_{AC}



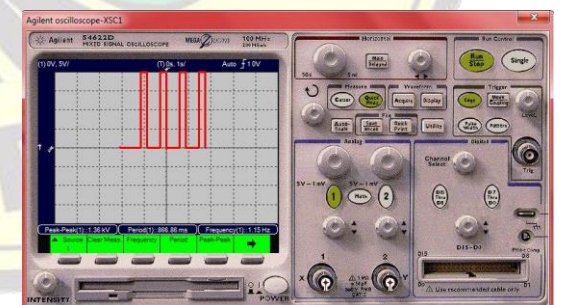
Gambar 9. Output berdasarkan hasil simulasi rancangan rangkaian kombinasi dua buah sub-sirkuit sinusoidal-voltage source yang terhubung dengan AC voltage-regulator



Gambar 10. Output berdasarkan hasil simulasi rancangan rangkaian sub-sirkuit symmetrical type cockroft-walton voltage multiplier satu fasa dengan input 150 V_{AC}



Gambar 11. Output berdasarkan hasil simulasi rancangan rangkaian sub-sirkuit symmetrical type cockroft-walton voltage multiplier satu fasa dengan input 200 V_{AC}

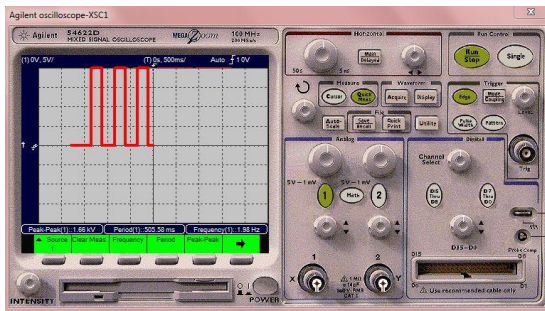


Gambar 12. Output berdasarkan hasil simulasi rancangan rangkaian sub-sirkuit transistor-based pulsed power supply dengan sumber tegangan 1,44 kV_{DC}

SEMINAR NASIONAL PENDIDIKAN FISIKA 2017

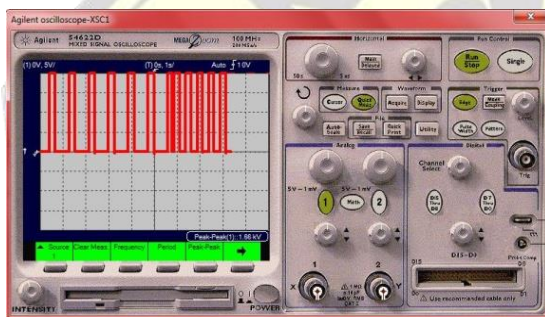
“Peran Pendidikan, Sains, dan Teknologi untuk Mengembangkan Budaya Ilmiah dan Inovasi terbaru dalam mendukung Sustainable Development Goals (SDGs) 2030“

24 SEPTEMBER 2017



Gambar 13. Output berdasarkan hasil simulasi rancangan rangkaian sub-sirkuit transistor-based pulsed power supply dengan sumber tegangan 1,81 kV_{DC}

Sehingga menghasilkan sebuah output akhir dari rancangan rangkaian *prototype* secara keseluruhan sebagai berikut:



Gambar 14. Output berdasarkan hasil simulasi rancangan rangkaian *prototype* secara keseluruhan

Hasil simulasi dan hasil perhitungan matematis untuk durasi pulsa tegangan tinggi bagian kedua telah sesuai. Namun demikian, lamanya durasi pulsa tegangan tinggi bagian pertama memiliki selisih sebesar 5,9 sekon jika dibandingkan dengan hasil perhitungan matematis. Hal ini terjadi karena pulsa pertama yang dihasilkan oleh rangkaian osilator dengan menggunakan IC 555 timer memiliki lebar pulsa lebih besar dibandingkan dengan lebar pulsa pada pulsa kedua dan seterusnya. Pulsa pertama memiliki lebar pulsa lebih besar dibandingkan dengan pulsa berikutnya terjadi karena saat DC-power-supply menyala dan mengaktifkan rangkaian, kapasitor C yang terhubung dengan pin *threshold* dan *trigger* pada IC 555 timer pada saat pertama kali akan terisi dari 0 V_{DC} menjadi $\frac{2V_s}{3}$, sedangkan berikutnya akan terisi dari kondisi $\frac{V_s}{3}$ menjadi $\frac{2V_s}{3}$ (Bridgen, 2017). Dengan

demikian, proses pengisian pertama kali memerlukan durasi waktu yang lebih lama karena besar tegangan pada proses pengisian pertama lebih besar sesuai dengan persamaan t_H pada osilator 555 timer (Digital ElectronicsTM, 2009: 6) berikut:

$$V_C = (V_{Final} - V_{Initial}) \times (1 - e^{-t/RC}) + V_{Initial} \dots (1)$$

Karena berawal dari 0 V, maka $V_{Initial} = 0 V_{CC}$, sehingga:

$$\frac{2}{3} V_{CC} = (V_{CC} - 0 V_{CC}) \times (1 - e^{-t/RC}) + 0 V_{CC}$$

$$\frac{2}{3} V_{CC} = (V_{CC}) \times (1 - e^{-t/RC})$$

$$\frac{\frac{2}{3} V_{CC}}{V_{CC}} = (1 - e^{-t/RC})$$

$$\frac{2}{3} = (1 - e^{-t/RC})$$

$$-\frac{1}{3} = -e^{-t/RC}$$

$$\ln\left(\frac{1}{3}\right) = \ln(e^{-t/RC})$$

$$-1,0986 = -\frac{t}{RC}$$

$$t_H = 1,0986 RC$$

$$t_H = 1,0986 (R_A + R_B) C$$

$$t_H = 1,0986 (727 \text{ k}\Omega + 727 \text{ k}\Omega) 10 \mu\text{F}$$

$t_H = 15,973644 \text{ sekon} = 15,97 \text{ sekon}$, sesuai dengan hasil simulasi.

Dengan demikian, pulsa tegangan rendah bagian pertama pada hasil simulasi memiliki durasi sebesar 15,9 sekon pada saat siklus kombinasi pertama dan akan memiliki durasi sebesar 10 sekon pada siklus kombinasi berikutnya.

Bentuk pulsa sebagai hasil dari simulasi rancangan rangkaian *prototype* secara keseluruhan memiliki bentuk gelombang persegi (*square-wave*) mendekati sempurna karena *output* hasil simulasi memiliki *rise-time* dan *fall-time* yang sangat cepat yaitu dalam rentang mikro sekon, dengan demikian terbentuk gelombang persegi mendekati sempurna dengan acuan sempurna adalah yang paling mendekati nilai nol. Pulsa tegangan tinggi hasil dari generator pulsa tegangan rendah bagian pertama memiliki durasi tepat 15,9 sekon kemudian disambung dengan pulsa tegangan tinggi bersumber dari generator pulsa tegangan rendah bagian kedua selama tepat 5 sekon sehingga terbentuk suatu kombinasi pulsa tegangan tinggi dengan spesifikasi amplitudo, durasi, *duty-cycle*, dan frekuensi terkombinasi seperti pada gambar 2 di atas dan terjabar dalam tabel 1 berikut:

SEMINAR NASIONAL PENDIDIKAN FISIKA 2017

“Peran Pendidikan, Sains, dan Teknologi untuk Mengembangkan Budaya Ilmiah dan Inovasi terbaru dalam mendukung Sustainable Development Goals (SDGs) 2030“

24 SEPTEMBER 2017

Tabel 1 Hasil Simulasi Rancangan Rangkaian Prototype Secara Keseluruhan

No.	Spesifikasi Output	Detik ke-0 Sampai dengan Detik ke-15,9	Detik ke-15,9 Sampai dengan Detik ke-20,9
1.	Amplitudo (V_{pp})	1,36 kV_{DC}	1,66 kV_{DC}
2.	Durasi	15,9 detik	5 detik
3.	<i>Duty-cycle</i>	29,77 %	42,04 %
4.	Frekuensi	1,15 Hz	1,98 Hz
5.	Pulsa medan listrik	1,36 kV_{DC}/cm	1,66 kV_{DC}/cm

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari penelitian ini, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Rancangan rangkaian *prototype* generator pulsa medan listrik DC tegangan medium dengan *output* amplitudo, durasi, *duty-cycle* dan frekuensi terkombinasi terdiri atas tujuh jenis sub-sirkuit penyusun *prototyptpe*.
2. Hasil simulasi rangkaian *prototype* generator pulsa medan listrik DC tegangan medium dengan *output* amplitudo, durasi, *duty-cycle* dan frekuensi terkombinasi adalah sebagai berikut:
 - a. Hasil simulasi sub-sirkuit generator pulsa tegangan rendah bagian pertama dan kedua sesuai dengan hasil perhitungan matematis kecuali pada besar periode yang masing-masing memiliki selisih 1,36 ms dan 1,096 ms karena mekanisme rangkaian osilator 555 *timer* menghasilkan pulsa pertama yang memiliki lebar pulsa 58,528 % - 59,7 % lebih besar dibandingkan dengan pulsa pada siklus periode berikutnya sehingga mempengaruhi besar periode rata-rata.
 - b. Hasil simulasi sub-sirkuit osilator *relay* sesuai dengan hasil perhitungan matematis kecuali pada besar durasi t_H pada periode di siklus pertama lebih lama 5,9 detik dibandingkan pulsa berikutnya karena mekanisme rangkaian osilator 555 *timer* menghasilkan pulsa pertama yang memiliki lebar pulsa 58,528 % - 59,7 % lebih besar dibandingkan dengan pulsa pada siklus periode berikutnya.
 - c. Hasil simulasi sub-sirkuit *sinusoidal voltage source* dengan AC *voltage-regulator* 150 V_{AC} dan

200 V_{AC} sesuai dengan hasil perhitungan matematis kecuali pada besar *duty-cycle* dan frekuensi yang memiliki sedikit selisih akibat penempatan dioda dalam rangkaian osilator 555 *timer* yang mem-*bypass* arus pada resistor R_B .

- d. Hasil simulasi sub-sirkuit *symmetrical type cockroft-walton voltage multilier* satu fasa telah sesuai dengan hasil perhitungan matematis.
- e. Hasil simulasi sub-sirkuit transistor-*based pulsed power supply* telah sesuai dengan hasil perhitungan matematis kecuali pada *duty-cycle* karena rangkaian menghasilkan output pulsa yang bergeser fasa sejauh 180° sebagai akibat dari penempatan kapasitor sebagai beban pada titik *output* rangkaian bersifat menyimpan kemudian melepaskan pulsa DC tegangan tinggi secara berlawanan siklus, dalam artian bahwa pulsa pada saat t_H akan tersimpan kemudian akan terlepas pada saat t_L .
- f. Rancangan rangkaian *prototype* generator pulsa medan listrik DC tegangan medium dengan *output* amplitudo, durasi, *duty-cycle* dan frekuensi terkombinasi menghasilkan spesifikasi output terkombinasi sebagai berikut: amplitudo 1,36 kV_{DC} ; *duty cycle* 29,77 %; frekuensi 1,15 Hz dan pulsa medan listrik 1,36 kV_{DC}/cm pada detik ke-0 sampai dengan detik ke 15,9 serta spesifikasi output 1,66 kV_{DC} ; *duty-cycle* 42,04 %; frekuensi 1,98 Hz dan pulsa medan listrik 1,66 kV_{DC}/cm pada detik ke 15,9 sampai dengan detik ke 20,9.

Kemudian, diperoleh beberapa saran bagi pengembangan penelitian selanjutnya sebagai berikut:

- 1) Mekanisme rangkaian osilator 555 *timer* menghasilkan pulsa pertama yang memiliki lebar pulsa 58,528 % - 59,7 % lebih besar dibandingkan dengan pulsa pada siklus periode berikutnya, dengan demikian sebaiknya mengurangi sebesar 58,528 % sampai dengan 59,7 % pada t_H yang diekspektasikan sebagai pengatur durasi pulsa pada rangkaian osilator *relay* jika memerlukan dua kombinasi spesifikasi terhadap *output* dari *prototype*.
- 2) Rangkaian transistor-*based pulsed power supply* menghasilkan *output* pulsa yang bergeser sebesar 180° , dengan demikian sebaiknya menukar nilai t_H dan t_L (yang diekspektasikan) satu sama lain saat melakukan perhitungan matematis untuk menentukan spesifikasi komponen dari sub-sirkuit generator pulsa tegangan rendah.

SEMINAR NASIONAL PENDIDIKAN FISIKA 2017

“Peran Pendidikan, Sains, dan Teknologi untuk Mengembangkan Budaya Ilmiah dan Inovasi terbaru dalam mendukung Sustainable Development Goals (SDGs) 2030“

24 SEPTEMBER 2017

- 3) Hasil penelitian dapat digunakan dalam bidang pendidikan sebagai media pembelajaran materi osilasi gelombang listrik dinamis.

DAFTAR PUSTAKA

- Anand, P., Sundaram, C., Jhurani, S., Kunnumakkara, A. B., dan Aggarwal, B. B. 2008. *Curcumin and Cancer: An “Old-Age” Disease with An “Age-Old” Solution*. Cancer Letters: Elsevier Ireland Ltd., 267: 133-164.
- Attwood, Stephen S. 1932. *Electric and Magnetic Fields*. New York: Dover Publications, Inc.
- Beebe, Stephen J., Fox, Paula M., Rec, Laura J., Willis, Lauren K., dan Schoenbach, Karl H. 2003. *Nanosecond, High-Intensity Pulsed Electric Fields Induce Apoptosis in Human Cells*. The FASEB Journal: 1-13.
- Borg, W. R., & Gall, M. D. 1983. *Educational Research: An Introduction*. New York: Longman.
- Bluhm, H. 2006. *Pulsed Power Systems: Principles and Applications*. Berlin: Springer.
- Chalermchat, Y., Fincan, M., dan Dejmek, P. 2004. *Pulsed Electric Field Treatment for Solid-Liquid Extraction of Red Beetroot Pigment: Mathematical Modelling of Mass Transfer*. Journal of Food Engineering: Elsevier B. V., 64: 229-236.
- De Vito, F., Ferrari, G., Lebovka, N. I., Shynkaryk, N. V., dan Vorobiev, E. 2008. *Pulse Duration and Efficiency of Soft Cellular Tissue Disintegration by Pulsed Electric Fields*. Food Bioprocess Technology, 1: 307-313.
- Delsart, C., Ghidossi, R., Poupot, C., Cholet, C., Grimi, N., Vorobiev, E., Milisic, V., dan Peuchot, M. M. 2012. *Enhanced Extraction of Phenolic Compounds from Merlot Grapes by Pulsed Electric Field Treatment*. Am. J. Enol. Vitic, 63 (2): 205-211.
- Digital Electronics™. 2009. “Introduction to Analog”. Tidak Dipublikasikan. *Panduan*. New York: Project Lead The Way, Inc.
- Gao, Jiali. 2003. *Catalysis by Enzyme Conformational Change As Illustrated by Orotidine 5'-Monophosphate Decarboxylase*. Current Opinion in Structural Biology: Elsevier B. V., 13: 184-192.
- Gachovska, T., Cassada, D., Subbiah, J., Hanna, M., Thippareddi, H., dan Snow, D. 2010. *Enhanced Anthocyanin Extraction from Red Cabbage Using Pulsed Electric Field Processing*. Journal of Food Science, 75 (6): 323-329.
- Giner, J., Ortega, M., Mesegue, M., Gimeno, V., Barbosa-Canovas, G. V., dan Martin, O. 2002. *Inactivation of Peach Polyphenoloxidase by Exposure to Pulsed Electric Fields*. Journal of Food Science: Food Engineering and Physical Properties, 67 (4): 1467-1472.
- Goettel, M., Eing, C., Gusbeth, C., Straessner, R., dan Frey, W. 2013. *Pulsed Electric Field Assisted Extraction of Intracellular Valuables from Microalgae*. Algal Research: Elsevier B.V., 66: 1-8.
- Grenier, Jason R. 2006. “Design of a MOSFET-Based Pulsed Power Supply for Electroporation”. Tidak Dipublikasikan. *Tesis*. Ontario: Master Program of Applied Science in Electrical and Computer Engineering Waterloo University.
- Guderjan, M., Topfl, S., Angersbach, A., dan Knorr, D. 2005. *Impact of Pulsed Electric Field Treatment on the Recovery and Quality of Plant Oils*. Journal of Food Engineering: Elsevier B. V., 67: 281-287.
- Leong, Sze Y., Burritt, David J. dan Oey, I. 2015. *Effect of Combining Pulsed Electric Fields with Maceration Time on Merlot Grapes in Protecting Caco-2 Cells from Oxidative Stress*. Food Bioprocess Technol: Springer, 1-14.
- Lopez, N., Puertolas, E., Condon, S., Raso, J., dan Alvarez, I. 2009. *Enhancement of the Solid-Liquid Extraction of Sucrose from Sugar Beet (Beta vulgaris) by Pulsed Electric Fields*. LWT – Food Science and Technology: Elsevier B. V., 42: 1674-1680.
- Luengo, E., Alvarez, I., dan Raso J. 2013. *Improving the Pressing Extraction of Polyphenols of Orange Peel by Pulsed Electric Fields*. Innovative Food Science and Emerging Technologies: Elsevier B. V., 17: 79-84.
- Mair, Hugh & Xiu, Liming. 2000. *An Architecture of High-Performance Frequency and Phase Synthesis*. IEEE Journal of Solid-State Circuits, 35 (6): 835-846.
- Nickoloff, Jac A. 1995. *Animal Cell Electroporation and Electrofusion Protocols*. New Jersey: Humana Press.
- Ohshima, T., Tamura, T., dan Sato, M. 2007. *Influence of Pulsed Electric Field on Various Enzyme Activities*. Journal of Electrostatics Elsevier B. V., 65: 156-161.

SEMINAR NASIONAL PENDIDIKAN FISIKA 2017

“Peran Pendidikan, Sains, dan Teknologi untuk Mengembangkan Budaya Ilmiah dan Inovasi terbaru dalam mendukung Sustainable Development Goals (SDGs) 2030“

24 SEPTEMBER 2017

- Peng, Y., Liu, T., Gong, H., Wang, J., dan Zhang, X. 2015. *Effect of Pulsed Electric Field with Variable Frequency on Coalescence of Drops in Oil*. Journal of The Royal Society of Chemistry, 5: 31318-31323.
- Quitao-Teixeira, L. J., Aguilo-Aguayo, I., Ramos, A. M., dan Martin-Belloso, O. 2008. *Inactivation of Oxidative Enzyme by High-Intensity Pulsed Electric Field for Retention of Color in Carrot Juice*. Food Bioprocess Technology: Springer Science, 1: 364-373.
- Stahl, George J. “Repetitive Pulse Generator with Wide Pulse Duration, Amplitude, Frequency and Duty Cycle Characteristics”. United States Patent 6,060,931. 09 Mei 2000.
- Vorobiev, Eugene dan Lebovka, Nikolai. 2008. *Electrotechnologies for Extraction from Food Plants and Biomaterials*. New York: Springer.
- Xiu, Liming & You, Zhihoung. “Scalable High-Speed Precision Frequency and Phase Synthesis”. United States Patent 6,940,937. 06 September, 2005.
- Xiu, Liming & You, Zhihoung. “Precision Frequency and Phase Synthesis with Fewer Voltage-Controlled Oscillator Stages”. United States Patent 7,372,340. 13 Mei, 2008.
- Xiu, Liming. 2012. *Nanometer Frequency Synthesis Beyond the Phase Locked Loop*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Yin, Y., dan He, G. 2007. *A Fast High-Intensity Pulsed Electric Fields (PEF)-Assisted Extraction of Dissoluble Calcium from Bone*. Separation and Purification Technology: Elsevier B.V., 61: 148-152.
- Yongguang, Y., Yuzhu, H., dan Yong, H. 2006. *Pulsed Electric Field Extraction of Polysaccharide from Rana Temporaria Chensinensis David*. International Journal of Pharmaceutics: Elsevier B. V., 312: 33-36.
- Zhang, Y., Hou, Y., Zhang, Y., Chen, J., Chen, F., Liao, X., dan Hu, X. 2011. *Reduction of Diazinon and Dimethoate in Apple Juice by Pulsed Electric Field Treatment*. J. Sci. Food Agric., 92: 743-750.