

# BALLAST ELEKTRONIK LAMPU UV BERTOPOLOGI INVERTER SETENGAH JEMBATAN RESONAN LCC FREKUENSI TINGGI

Gilang Surya Atmaja<sup>\*)</sup>, Agung Warsito, and Karnoto

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

<sup>\*)</sup>E-mail: [gilangsuryaatmaja@rocketmail.com](mailto:gilangsuryaatmaja@rocketmail.com)

## Abstrak

Sinar ultraviolet dapat dengan efektif membunuh segala jenis mikroorganisme, seperti bakteri, virus, jamur dan protozoa. Hal inilah yang membuat lampu ultraviolet dapat digunakan dalam sistem penjernihan udara dan air, seperti pada rumah sakit, kantor, laboratorium, dan lain – lain. Lampu ultraviolet, yang termasuk dalam jenis lampu discharge, membutuhkan komponen ballast untuk dapat menyala. Jenis ballast yang kini semakin marak digunakan yaitu jenis ballast elektronik. Pada penelitian ini dibuat ballast elektronik dengan topologi inverter half bridge resonan LCC frekuensi tinggi. Inverter half bridge menggunakan MOSFET sebagai komponen pensaklarannya. Pengoperasian lampu dengan frekuensi tinggi dapat memperbaiki kinerja lampu. Pemicuan kontrol frekuensi menggunakan IC 4047 dan pengaturan daya keluaran dilakukan dengan mengatur frekuensi pemicuannya sehingga lampu dapat diatur keredupannya. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa ballast elektronik yang dirancang dapat menyalakan lampu pada frekuensi 26 kHz dengan tegangan heating 35,3 V; tegangan igniting 141,4 V dan tegangan running 54,8 V. Ballast elektronik yang dirancang ini tergolong ballast elektronik tipe rapid start. Efisiensi rata – rata ballast ini yaitu 91,8 %. Daya keluaran ballast dapat diatur dengan mengatur frekuensi kerja sehingga lampu dapat diredupkan. Peredupan dapat dilakukan pada rentang 13,2 W sampai dengan 7,3 W pada frekuensi 25,5 kHz sampai dengan 33,3 kHz.

*Kata kunci : ultraviolet, ballast elektronik, inverter*

## Abstract

Ultraviolet light can kill all types of microorganisms, such as bacteria, viruses, fungi and protozoa effectively. This makes ultraviolet light can be used in air and water purification systems, such as in hospitals, offices, laboratories, and others. Ultraviolet lamp, which is included in the type of discharge lamp, needs ballast components to be lit. Types of ballasts which increasingly widespread use now are electronic ballasts. This paper made an electronic ballast with half-bridge resonant inverter topology LCC high frequency. This inverter use MOSFETs as switching components. Operation lamp with high frequency can improve the performance of the lamp. Frequency control is triggered with IC 4047. The setting of power output is done by adjusting frequency so that the lights can be dimmed. The results of this study indicate that electronic ballast turn on the lights at a frequency of 26 kHz with a heating voltage of 35.3 V, igniting voltage of 141.4 V and running voltage of 54.8 V. It can be classified as a rapid start electronic ballast type. Average efficiency of this ballast is 91.8%. The output power can be set by adjusting the ballast operating frequency so that the lights can be dimmed. Dimming can be performed range of frequency 25.5 kHz up to 33.3 kHz and it consumes power of 7.3 W to 13.2 W.

*Keyword : ultraviolet, electronic ballast, inverter*

## 1. Pendahuluan

Lampu UV merupakan jenis lampu *discharge*. Proses penyalakan lampu *discharge* terdiri dari proses *heating*, *igniting*, dan *running*. Proses *heating* yaitu pemanasan pada kedua elektroda atau filamen agar dapat menghasilkan elektron-elektron bebas yang berguna untuk memicu terjadinya peluahan. Pada proses ini pada

kedua filamen dibutuhkan aliran arus listrik yang cukup sehingga mampu memanaskan filamen tersebut.<sup>[2]</sup>

Proses *igniting* yaitu peluahan listrik antara kedua filamen. Proses ini membutuhkan tegangan yang cukup tinggi untuk bisa meluahkan listrik antar filamen. Proses ini terjadi jika filamen sudah cukup panas dan filamen diberi tegangan cukup tinggi sekitar 2-3 kali tegangan kerja atau tegangan operasi lampu.<sup>[2]</sup>

Proses selanjutnya, proses *running* yaitu ketika lampu sudah menyala (terjadi peluahan / *igniting*) dan tegangan lampu berkurang sampai ke nilai tegangan operasi lampu sesuai besar daya lampu tersebut. Pada proses ini juga dibutuhkan arus lampu yang cukup kecil dan stabil sehingga mampu mempertahankan keadaan nyala lampu.

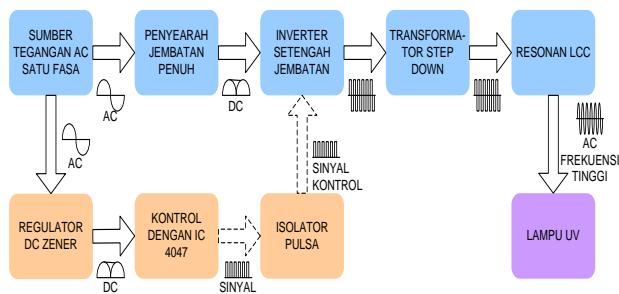
Sistem penyalan dan pengoperasian lampu UV membutuhkan *driver* yang sesuai dengan jenis dan daya lampu. Salah satu *driver* yang dapat digunakan yaitu ballast elektronik. Ballast elektronik frekuensi tinggi dengan *resonantconverter* dapat membangkitkan tegangan yang cukup tinggi untuk peluahan lampu UV saat proses penyalan dan dapat memberikan arus yang cukup untuk lampu beroperasi atau tetap menyala.

Pada penelitian ini dirancang dan dibuat ballast elektronik dengan inverter setengah jembatan untuk lampu UV. Perbedaan dalam penelitian ini dengan penelitian – penelitian sebelumnya adalah dengan menggunakan resonan LCC dan beban berupa lampu UV.

## 2. Metode

Ballast merupakan komponen penting dalam rangkaian lampu *discharge*. Ballast berfungsi untuk membangkitkan tegangan *spike* yang cukup tinggi untuk proses *igniting* dan membatasi arus dan tegangan sehingga nyala cahaya lampu dapat terjaga saat *running*.<sup>[2][3][4]</sup> Pada awalnya ballast terbuat dari kumparan induktor yang sering disebut ballast elektromagnetik atau ballast induktor.

Kini ballast telah berkembang sejak ditemukan komponen semikonduktor yang dapat berfungsi untuk pensaklaran. Komponen pensaklaran yang terjangkau dan memiliki kapasitas yang besar yaitu MOSFET sering diaplikasikan dalam ballast.<sup>[2][3][4]</sup> Ballast tersebut dinamakan ballast elektronik.



Gambar 1. Blok rangkaian ballast elektronik

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 frekuensi tinggi. Tegangan AC frekuensi tinggi masuk ke rangkaian resonan sehingga

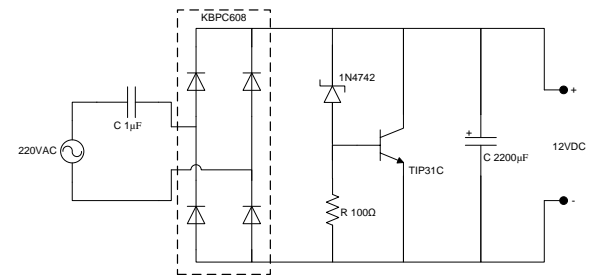
tegangan keluaran berbentuk sinusoidal dengan frekuensi tinggi sebagai suplai lampu discharge.

Ballast elektronik terdiri dua rangkaian utama, yaitu rangkaian kontrol dan rangkaian daya. Rangkaian kontrol terdiri dari sumber tegangan 12 VDC, rangkaian IC 4047, dan rangkaian isolator pulsa. Rangkaian daya terdiri dari penyearah jembatan penuh, inverter setengah jembatan, transformator *step-down*, dan rangkaian resonan LCC. Hubungan antar bagian atau rangkaian dalam ballast elektronik tertera pada Gambar 1.

### 2.1 Perancangan Rangkaian Kontrol

#### 2.1.1 Regulator DC Zener

Pada rangkaian ini terdapat penyearah jembatan penuh atau diode bridge, dioda zener, resistor, transistor, dan kapasitor seperti yang tertera pada Gambar 2.



Gambar 2. Regulator DC Zener

Rangkaian ini merupakan sumber tegangan DC 12 V yang berfungsi sebagai suplai rangkaian kontrol dan isolator pulsa. Tegangan DC 12 V didapatkan dari hasil penyearahan tegangan AC jala – jala dan tegangan *breakdown* dioda zener. Rangkaian ini dirancang tanpa menggunakan transformator *step-down* sehingga ukuran dimensi rangkaian lebih kecil.

#### 2.1.2 Rangkaian IC 4047

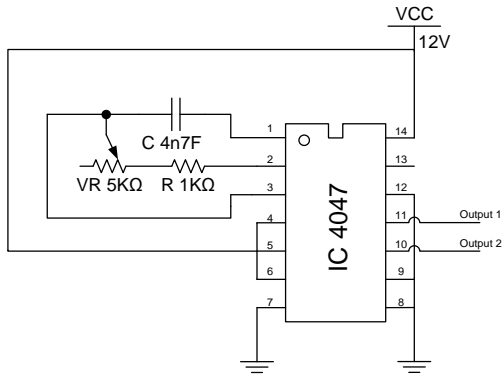
IC 4047 digunakan untuk menghasilkan sinyal gelombang kotak dengan *dutycycle* 50%. Sinyal gelombang kotak ini berfungsi untuk memicu pensaklaran pada rangkaian Inverter Setengah jembatan. IC 4047 dioperasikan dalam mode *astablemultivibrator*. Pada perancangan ini, ballast elektronik bekerja pada frekuensi 10 kHz – 50 kHz. Rangkaian osilator dapat dilihat pada Gambar 3.

#### 2.1.3 Rangkaian Isolator Pulsa

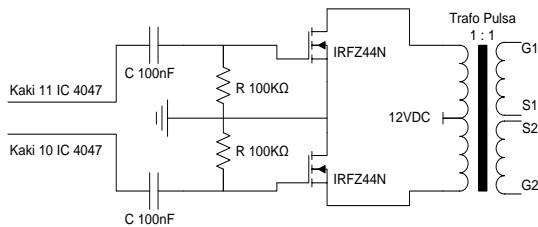
Rangkaian isolator terdiri dari kapasitor, resistor, MOSFET, dan transformator pulsa. Gambar rangkaian dapat dilihat pada Gambar 4. Dua buah MOSFET IRFZ44N dipasang dengan skema *pushpull* pada sisi primer trafo pulsa. MOSFET IRFZ44N memiliki spesifikasi tegangan *breakdown* 60 V dan arus maksimal

50 A serta *threshold voltage* 4 V sehingga dapat digunakan untuk rangkaian isolator pulsa, yang dipicu oleh IC 4047 dengan keluaran sebesar 6 V.

Trafo pulsa dirancang dengan perbandingan lilitan 1 : 1 dengan suplai 12 V. Pada sisi sekunder tegangan keluaran sebesar 12 V sudah mampu untuk memicu pensaklaran pada inverter yang menggunakan MOSFET IRFP460 sebagai komponen saklar.



Gambar 3. Rangkaian IC 4047

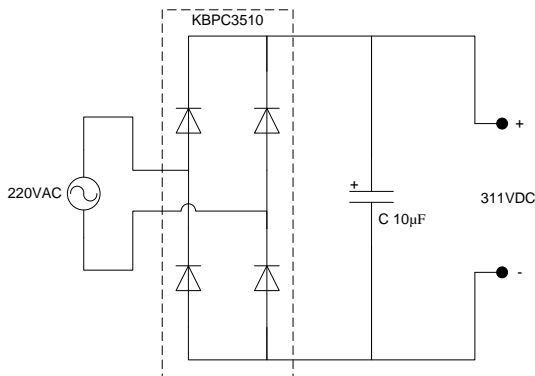


Gambar 4. Rangkaian isolator pulsa

## 2.2 Perancangan Rangkaian Daya

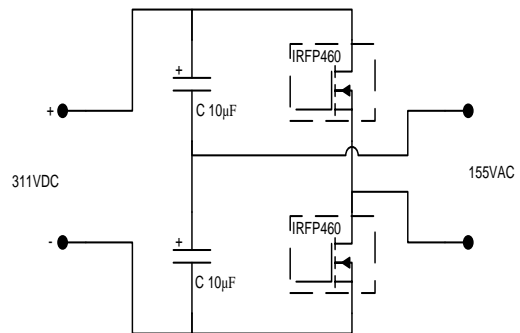
### 2.2.1 Penyearah Jembatan Penuh

Rangkaian penyearah ini jembatan penuh terdiri dari diode bridge KBPC3510 dan kapasitor tapis sebesar 10  $\mu$ F. Dengan adanya pemasangan kapasitor tapis pada keluaran penyearah sehingga tegangan keluaran rata-rata mendekati nilai rms-nya.



### Gambar 5. Penyearah Jembatan Penuh 2.2.2 Inverter Setengah Jembatan<sup>[7]</sup>

Rangkaian inverter setengah jembatan terdiri dari 2 buah MOSFET dan 2 buah kapasitor. MOSFET yang digunakan yaitu IRFP460 yang memiliki spesifikasi arus drain ( $I_D$ ) maksimal 20 A dan tegangan maksimal *drain to source* 500 V sehingga MOSFET ini mampu dipasang sebagai komponen saklar pada inverter setengah jembatan. Kapasitor polar 10  $\mu$ F digunakan untuk membentuk polaritas pada rangkaian inverter ini.



Gambar 6. Inverter setengah jembatan

Nilai keluaran tegangan AC pada inverter setengah jembatan merupakan setengah dari nilai sumber tegangan DC.

$$V_L = \frac{2V_s}{2}$$

$$V_{AC} = \frac{V_{DC}}{2}$$

### 2.2.3 Transformator Step-down

Transformator *step-down* dirancang dengan rasio lilitan primer dan sekunder sebesar 86 : 28. Transformator ini bekerja pada frekuensi tinggi sehingga dalam pembuatan transformator menggunakan inti *ferrite* yang sesuai untuk digunakan dalam frekuensi tinggi. Maka tegangan keluaran pada sisi sekunder transformator *stepdown* dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s}$$

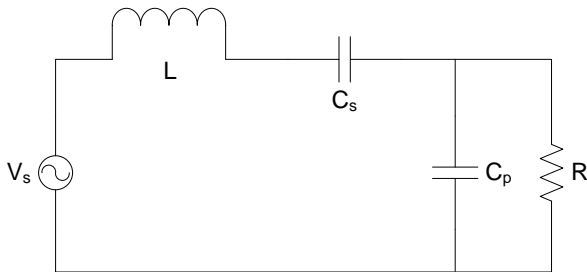
$$V_s = \frac{V_p \times N_s}{N_p} = \frac{155 \times 28}{86} = 50 \text{ V}$$

### 2.2.4 Resonan LCC

Rangkaian resonan LCC terdiri dari L dan dua buah C. L dihubungkan seri dengan  $C_s$  dan  $C_p$  dihubungkan paralel dengan beban (R). Rangkaian ekuivalen resonan LCC tertera pada Gambar 7.

Berdasarkan hukum Kirchoff II, tentang jumlah tegangan setiap komponen pada rangkaian tertutup akan bernilai sama dengan nol, akan didapat persamaan penguat tegangan seperti pada persamaan berikut.<sup>[9]</sup>

$$G(j\omega) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1}{1 + \frac{C_p}{C_s} - \omega^2 LC_p + \frac{j\omega L}{R} - \frac{j}{\omega C_s R}}$$



Gambar 7. Resonansi LCC

Rangkaian ini mengkombinasikan karakteristik dari resonansi beban seri dan resonansi beban paralel. Regulasi yang buruk pada resonansi beban seri dieliminasi dan dikombinasikan dengan sifat resonansi beban paralel yang mampu mengatur arus pada beban dan dapat bekerja pada saat keadaan no-load (tanpa beban). Semakin kecil nilai  $C_p$  karakteristik rangkaian resonansi LCC cenderung menyerupai karakteristik resonansi beban seri. Dengan semakin kecilnya nilai  $C_p$  maka diperlukan frekuensi yang tinggi sehingga tegangan keluaran naik.<sup>[10]</sup>

Langkah-langkah perancangan rangkaian resonansi LCC yaitu :

1. Menghitung impedansi rangkaian ( $Z$ ).
2. Menentukan frekuensi kerja.
3. Menghitung nilai  $L$ ,  $C$  seri ( $C_s$ ), dan  $C$  paralel ( $C_p$ ).

Beban pada rangkaian adalah berupa lampu UV 15 W (Philips TUV 15W) dengan diketahui tegangan operasi sebesar 54 V dan arus operasi 0,335 A. Untuk membuat range variasi frekuensi dari fase *heating* ke *igniting* lebih lebar, nilai  $\alpha$  dipilih mendekati 1 yaitu sebesar  $\alpha = \frac{C_s}{C_s + C_p} = 0,9$ .<sup>[2]</sup> Dengan menggunakan hukum Kirchoff nilai  $Z$  (impedansi rangkaian) dapat dihitung seperti berikut<sup>[2][12]</sup> :

$$Z = \frac{V}{\alpha \times I} = \frac{54}{0,9 \times 0,335} = 179,1 \Omega$$

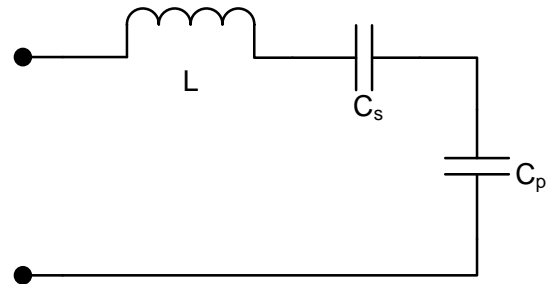
Maka didapatkan impedansi rangkaian ( $Z$ ) = 179,1  $\Omega$ . Kemudian pada perancangan ditentukan frekuensi kerja pada 30 kHz. Maka nilai  $L$ ,  $C_s$ , dan  $C_p$  dapat dihitung seperti berikut<sup>[2][12]</sup> :

$$L = \frac{Z}{2\pi f} = \frac{179,1}{2 \times 3,14 \times 30000} = 0,95 \text{ mH}$$

$$C_s = \frac{1}{2\pi f(1-\alpha)Z} = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 30000 \times (1-0,9) \times 179,1} = 296,3 \text{ nF}$$

$$C_p = \frac{1}{2\pi f\alpha Z} = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 30000 \times 0,9 \times 179,1} = 32,9 \text{ nF}$$

Pengukuran dengan LCRmeter pada realisasi induktor, kapasitor seri dan paralel ini didapatkan  $L = 0,85 \text{ mH}$ ;  $C_s = 281 \text{ nF}$  dan  $C_p = 27,7 \text{ nF}$ . Terjadi perbedaan nilai dari perhitungan dikarenakan toleransi pada bahan.



Gambar 8. Rangkaian ekuivalen resonansi LCC saat *igniting*

Frekuensi kerja sama dengan frekuensi resonansi saat *igniting*. Pada saat *igniting* nilai tahanan lampu mencapai tak hingga sehingga rangkaian ekuivalen resonansi LCC menjadi seperti pada Gambar 8.  $C_s$  menjadi terhubung seri dengan  $C_p$ . Frekuensi kerja dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_e}}$$

Dimana,

$$C_e = \frac{C_s \times C_p}{C_s + C_p}$$

$$C_e = \frac{281 \text{ nF} \times 27,7 \text{ nF}}{281 \text{ nF} + 27,7 \text{ nF}} = 25,2 \text{ nF}$$

Maka,

$$f = \frac{1}{2 \times 3,14 \times \sqrt{0,85 \times 10^{-3} \times 25,2 \times 10^{-9}}} = 34405 \text{ Hz} = 34,405 \text{ kHz}$$

Dari perhitungan di atas didapatkan nilai frekuensi kerja yaitu 34,405 kHz. Tegangan keluaran rangkaian resonansi saat lampu *running* dapat dihitung menggunakan persamaan *Gain* ( $j\omega$ ) seperti berikut :

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1}{1 + \frac{C_p}{C_s} - \omega^2 LC_p + \frac{j\omega L}{R} - \frac{j}{\omega C_s R}}$$

$$V_{out} = \frac{V_{in}}{1 + \frac{C_p}{C_s} - \omega^2 LC_p + \frac{j\omega L}{R} - \frac{j}{\omega C_s R}}$$

$$V_{out} = \frac{50}{\left| 1 + \frac{27,7}{281} - \omega^2 (0,85 \cdot 10^{-3}) (27,7 \cdot 10^{-9}) + j \left( \frac{\omega (0,85 \cdot 10^{-3})}{179,1} - \frac{1}{\omega (281 \cdot 10^{-9}) (179,1)} \right) \right|}$$

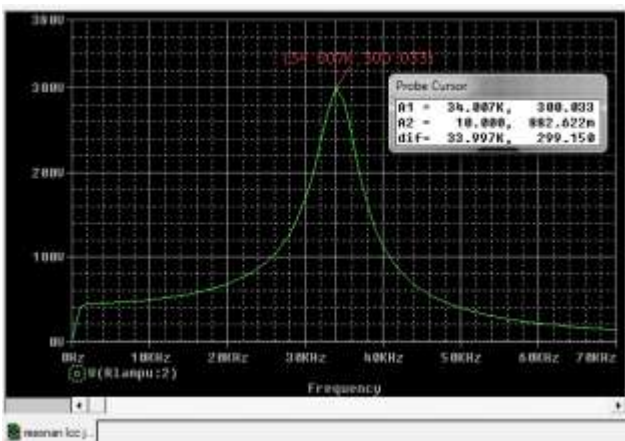
$$V_{out} = \frac{50}{|-0,0006 + j(0,93346)|}$$

$$V_{out} = \frac{50}{0,93346} = 53,56 \text{ V}$$

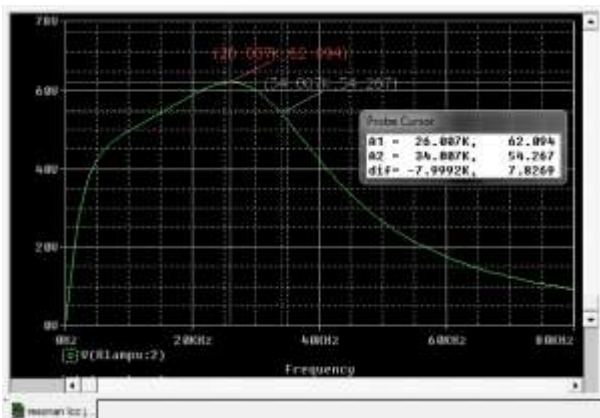
Maka dari perhitungan didapat tegangan keluaran sebesar 53,56 V. Nilai tegangan keluaran ini mendekati nilai tegangan operasi lampu UV yaitu  $53,56 \text{ V} \approx 54 \text{ V}$  sehingga cukup sebagai suplai lampu UV.

Nilai frekuensi resonan saat *igniting* dan tegangan saat *running* juga dapat dicari dengan menggunakan simulasi PSPICE Schematic 9.1.

Dari hasil simulasi, pada Gambar 9 dan 10 dapat dipahami bahwa rangkaian resonan LCC bekerja pada frekuensi 34,007 kHz. Nilai frekuensi ini mendekati hasil perhitungan frekuensi kerja yaitu  $34,007 \text{ kHz} \approx 34,405 \text{ kHz}$  (nilai hasil perhitungan). Pada saat lampu *running* tegangan keluaran rangkaian resonan yaitu 54,267 V.



Gambar 9. Simulasi frekuensi resonan LCC saat *igniting*



Gambar 10. Simulasi frekuensi resonan LCC saat *running*

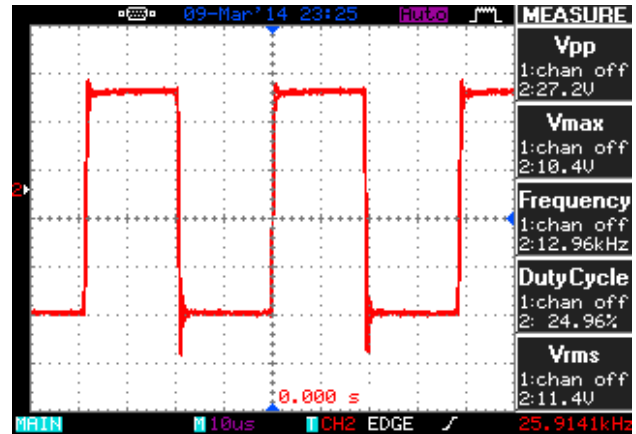
Nilai tegangan ini mendekati nilai tegangan operasi lampu dan hasil perhitungan tegangan keluaran yaitu  $54,267 \text{ V} \approx 54 \text{ V} \approx 53,56 \text{ V}$  dan sudah sesuai dengan kebutuhan lampu UV 15 W yang digunakan sebagai beban.

### 3. Hasil dan Analisis

#### 3.1 Pengujian Sinyal Kontrol

Pada Gambar 11 terlihat bahwa bentuk gelombang sinyal kontrol merupakan gelombang kotak. Pada osiloskop

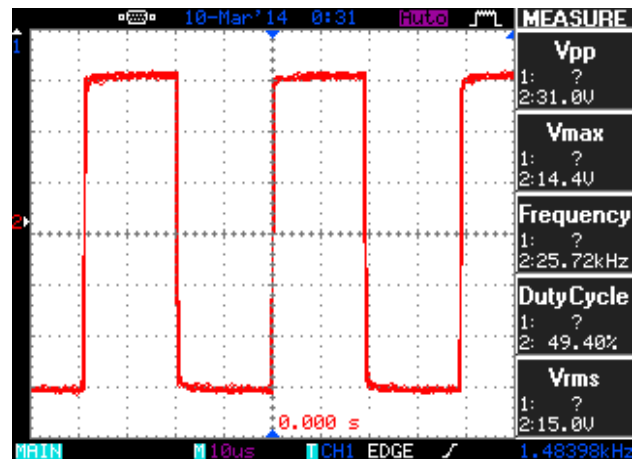
terukur nilai  $V_{rms}$  sebesar 11,4 V dengan frekuensi sebesar 25,9 kHz. Nilai ini sudah sesuai dengan perancangan ( $V_{rms} = 11,4 \text{ V} \approx 12 \text{ V}$ ) dan sudah memenuhi sebagai sinyal pemicuan. Nilai tegangan keluaran sinyal kontrol tidak boleh melebihi tegangan maksimal *gate – source* MOSFET IRFP460 yaitu sebesar 20 V.



Gambar 11. Sinyal keluaran rangkaian kontrol

#### 3.2 Pengujian Inverter

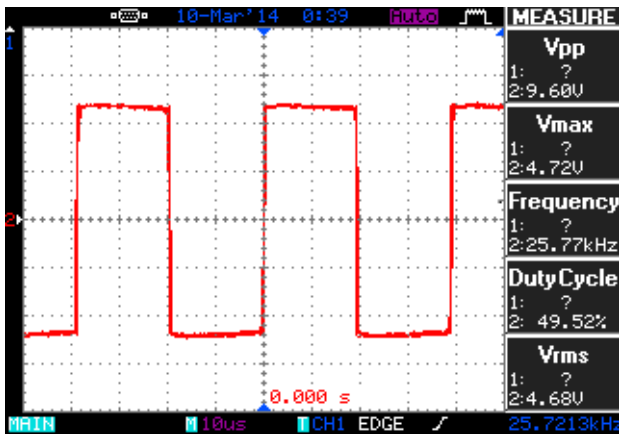
Pada Gambar 12, gelombang tegangan keluaran inverter *halfbridge* adalah gelombang kotak dengan nilai terukur  $V_{rms} = 15 \text{ V}$  dengan menggunakan probe pengali 10x.



Gambar 12. Gelombang tegangan keluaran *Inverter Half Bridge*

Maka nilai  $V_{rms}$  sebesar 150 V. Pada perancangan, nilai tegangan keluaran inverter diharapkan sebesar 155 V sedangkan nilai tegangan yang terukur sebesar 150 V.

Pada Gambar 13, gelombang tegangan keluaran transformator *step-down* merupakan gelombang kotak dengan nilai terukur 4,6 V dengan menggunakan probe pengali 10x. Maka nilai terukur  $V_{rms}$  sebesar 46 V.

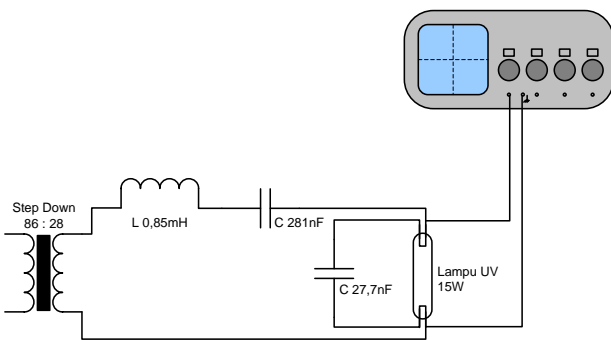


Gambar 13. Gelombang tegangan keluaran Trafo Stepdown

Perbedaan nilai tegangan ini dikarenakan adanya rugi – rugi *switching* pada inverter *halfbridge* dan saturasi transformator *step-down*.

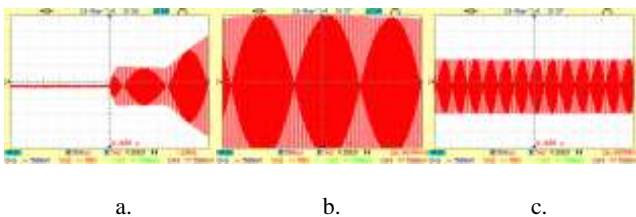
### 3.3 Proses Penyalan Lampu

Penyalan lampu *discharge*, khususnya lampu UV, terdiri dari proses *heating*, *igniting*, dan *running*. Pengujian penyalan lampu dilakukan dengan mengatur perubahan nilai frekuensi kerja dari tinggi kemudian diturunkan secara perlahan dan menguji bentuk gelombang tegangan pada lampu seperti pada Gambar 14.



Gambar 14. Rangkaian pengujian penyalan lampu

Pada pengujian, lampu berhasil dinyalakan pada frekuensi sebesar 26 kHz. Bentuk gelombang tegangan pada lampu saat proses penyalan tertera pada Gambar 15.



Gambar 15. Gelombang tegangan lampu saat proses penyalan

Gambar 15 a. yaitu saat frekuensi telah mendekati frekuensi resonan terjadi proses *heating*. Pada gambar tersebut terlihat muncul tegangan awal yang rendah kemudian mulai meninggi. Gambar 15 b. yaitu saat frekuensi sama dengan frekuensi resonan dan terjadi proses *igniting*. Pada gambar tersebut terlihat tegangan yang tinggi. Gambar 15 c. yaitu saat lampu telah menyala dan terjadi proses *running*. Pada gambar tersebut terlihat bahwa bentuk gelombang tegangan yang konstan.

Berdasarkan pengukuran pada osiloskop digital didapatkan nilai tegangan *heating* 35,3 V; tegangan *igniting* 141,4 V dan tegangan *running* 54,8 V. Menurut Shelli Sedlak dan Mike Smith,<sup>[15]</sup> ballast elektronik ini dapat digolongkan ke ballast elektronik *rapid start*.

### 3.4 Pengujian Pengukuran Daya

Pengujian pengukuran daya dilakukan dengan mengukur daya masukan dan daya keluaran pada beban. Tujuan pengujian pengukuran daya yaitu untuk mengetahui karakteristik alat terhadap variasi frekuensi, besar daya yang digunakan oleh alat dan dapat menghitung efisiensi daya.

Pada pengujian penyalan lampu didapatkan bahwa lampu berhasil dinyalakan pada frekuensi 26 kHz. Maka frekuensi resonan yaitu pada frekuensi 26 kHz.

Pada pengukuran daya masukan menggunakan clampmeter dan didapatkan data pada Tabel 1.

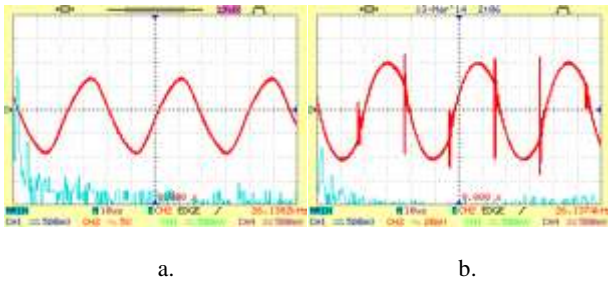
Tabel 1. Data daya masukan  $f = 26,1 \text{ kHz}$

| Parameter   | Nilai Terukur         |
|-------------|-----------------------|
| Daya aktif  | 14 W                  |
| Tegangan    | 217 V                 |
| Arus        | 0,15 A                |
| $\cos \phi$ | 0,430 ( <i>lead</i> ) |

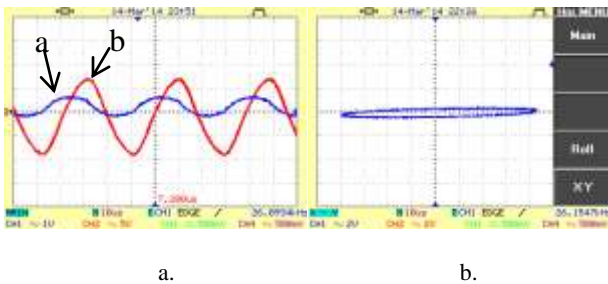
Dari Tabel 1 besar daya yang digunakan oleh alat sebesar 14 W. Tegangan masukan sebesar 217 V dan arus masukan sebesar 0,15 A. Power factor pada masukan terukur sebesar 0,430 leading. Dengan nilai power factor ini menunjukkan bahwa gelombang arus mendahului gelombang tegangan sebesar sudut  $\text{arc cos } 0,430 = 64$  derajat. Nilai power factor yang rendah ini disebabkan karena alat yang dibuat tidak memiliki blok power factor correction.

Pada pengukuran daya keluaran menggunakan osiloskop digital didapatkan gelombang tegangan lampu, arus resonan, dan gelombang lissajous seperti pada Gambar 16 dan Gambar 17.

Gambar 16 adalah gelombang tegangan lampu (a.) dan arus resonan (b.) pada frekuensi 26,1 kHz. Gelombang tegangan lampu dan arus resonan berbentuk sinusoidal.



Gambar 16 a. Gelombang tegangan lampu  $f = 26,1$  kHz  
b. Gelombang arus resonan  $f = 26,1$  kHz



Gambar 17. a. Beda fasa antara gelombang tegangan lampu dan arus resonan  
b. Gelombang lissajous  $f = 26,1$  kHz

Pada Gambar 17 a. terlihat beda fasa antara gelombang tegangan lampu dengan arus resonan. Arus resonan (gelombang “a”) mendahului tegangan lampu (gelombang “b”). Berdasarkan hasil pengukuran dari osiloskop digital didapatkan data pada Tabel 2.

Tabel 2. Data daya keluaran  $f = 26,1$  kHz

| Parameter             | Nilai Terukur                             |
|-----------------------|-------------------------------------------|
| Tegangan lampu (Vrms) | 57 V                                      |
| Arus Resonan (Irms)   | 0,331 A                                   |
| $\cos \phi$           | $\cos (\arcsin (1,6/2,2)) = 0,686$ (lead) |

Dari Tabel 2 dapat dihitung nilai daya aktif keluaran sebagai berikut :

$$P_{out} = V \times I \times \cos \phi \quad P_{out} = 57 \times 0,331 \times 0,686 = 12,9 \text{ W}$$

Maka dari nilai daya masukan dan daya keluaran dapat dihitung efisiensi ballast pada frekuensi 26,1 kHz yaitu :

$$\eta (\%) = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \quad \eta (\%) = \frac{12,9}{14} \times 100 = 92,5 \%$$

Hasil dari variasi frekuensi terhadap daya output dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 3. Efisiensi ballast

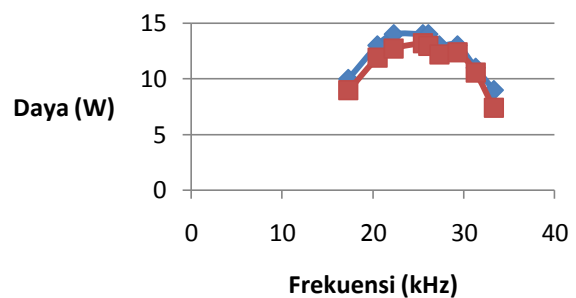
| No. | Frekuensi (kHz) | Daya masukan (W) | Daya keluaran (W) | Efisiensi (%) |
|-----|-----------------|------------------|-------------------|---------------|
| 1.  | 17,3            | 10               | 8,9               | 89,6          |
| 2.  | 20,5            | 13               | 11,9              | 91,5          |

|             |      |    |      |      |
|-------------|------|----|------|------|
| 3.          | 22,3 | 14 | 12,7 | 91,1 |
| 4.          | 25,5 | 14 | 13,2 | 94,3 |
| 5.          | 26,1 | 14 | 12,9 | 92,4 |
| 6.          | 27,3 | 13 | 12,1 | 93,7 |
| 7.          | 29,3 | 13 | 12,4 | 95,4 |
| 8.          | 31,3 | 11 | 10,5 | 96,1 |
| 9.          | 33,3 | 9  | 7,3  | 82,1 |
| Rata - rata |      |    |      | 91,8 |

Dari Tabel 3 didapatkan nilai efisiensi rata – rata yaitu 91,8 % ; nilai efisiensi terendah yaitu 82,1 % saat frekuensi 33,3 kHz dan nilai efisiensi tertinggi yaitu 96,1 % saat frekuensi 31,3 kHz. Hubungan antara frekuensi dengan daya masukan dan keluaran dapat digambarkan seperti Gambar 18.

Puncak daya keluaran terdapat pada frekuensi 25,5 kHz. Ketika frekuensi dinaikkan atau diturunkan dari 25,5 kHz daya keluaran akan menurun. Dengan menurunnya daya masukan dan keluaran, cahaya lampu akan meredup. Hal inilah yang digunakan untuk sistem *dimming* lampu atau peredupan cahaya lampu.

Pengujian ketahanan ballast juga dilakukan untuk mengetahui stabil tidaknya ballast bekerja. Pengujian ketahanan dilakukan dengan menyalakan ballast selama 3 x 12 jam dengan melakukan pengukuran daya masukan setiap 2 jam sekali. Pengukuran dilakukan menggunakan clampmeter dan didapatkan daya masukan rata – rata sebesar 12,38 W.

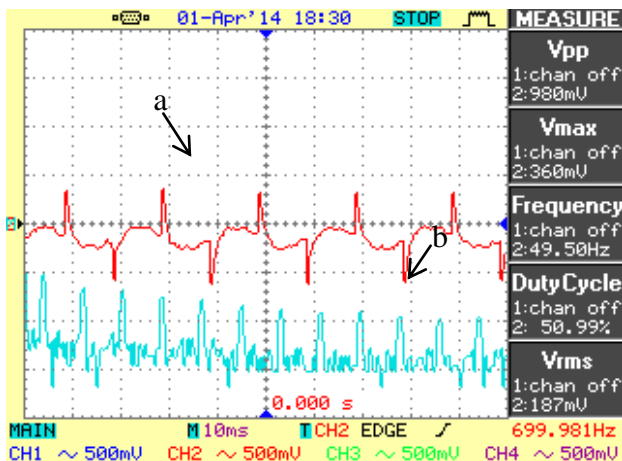


◆ Daya masukan    ■ Daya Keluaran

Gambar 18. Grafik daya masukan dan keluaran terhadap frekuensi

### 3.5 Pengukuran Harmonisa Arus pada sisi masukan

Harmonisa adalah gelombang dengan frekuensi yang merupakan kelipatan dari frekuensi fundamentalnya dan dapat menimbulkan cacat gelombang.<sup>[8][18]</sup> Pengukuran harmonisa arus dilakukan dengan mengukur arus masukan menggunakan osiloskop digital dengan menampilkan gelombang FFT (*Fast Fourier Transformer*) sehingga dapat melihat spektrum harmonisa pada arus masukan.



Gambar 19. Gelombang arus dan gelombang FFT

Pada Gambar 19 gelombang “a” merupakan gelombang arus masukan. Gelombang arus tidak berbentuk menyerupai sinusoidal melainkan memiliki cacat gelombang akibat harmonisa. Pada Gambar 19 gelombang “b” merupakan gelombang FFT arus masukan. Dari gelombang FFT yang terukur oleh osiloskop, arus masukan memiliki banyak spektrum yang merupakan harmonisa urutan dari fundamentalnya.

Dari pengukuran nilai – nilai spektrum maka didapatkan nilai THD (*Total Harmonic Distortion*) arus sebesar 240,08 %. Berdasarkan standar IEEE (*Institute of Electrical And Electronics Engineers*) nilai THD arus maksimal yaitu 5 %.<sup>[18]</sup> Nilai THD arus ballast yang dibuat tidak memenuhi dengan nilai standar IEEE sehingga dibutuhkan unit blok filter harmonisa untuk penelitian selanjutnya.

#### 4. Kesimpulan

Ballast elektronik yang dirancang memiliki tegangan masukan 220V 50Hz mampu menyalakan lampu UV 15W pada frekuensi 26 kHz, yang merupakan frekuensi resonan LCC, dengan tegangan *heating* 35,3 V; tegangan *igniting* 141,4 V dan tegangan *running* 54,8 V. Ballast elektronik yang dirancang tergolong ballast elektronik tipe *rapidstart*.

Daya keluaran ballast dan peredupan lampu dapat diatur dengan mengatur frekuensi kerjanya. Daya keluaran tertinggi terjadi pada frekuensi 25,5 kHz sebesar 13,2 W. Peredupan dapat dilakukan pada rentang 13,2 W pada frekuensi 25,5 kHz sampai dengan 7,3 W pada 33,3 kHz. Berdasarkan hasil pengujian nilai efisiensi rata – rata sebesar 91,8 %; nilai efisiensi terendah yaitu 82,1 % saat frekuensi 33,3 kHz dan nilai efisiensi tertinggi yaitu 96,1 % saat frekuensi 31,3 kHz.

Dari hasil pengujian daya pada frekuensi resonan dan harmonisa arus, ballast yang dibuat memiliki faktor daya sebesar 0,430 dan THD sebesar 240,08 %.

#### Referensi

- [1]. Philips UV Purification Catalog. 2012
- [2]. Alonso, J. Marcos. Electronic Ballasts. University of Oviedo. 2007
- [3]. Syaifulhaq, Muhammad. Perancangan Inverter Half Bridge Zero Voltage Switching Pada Aplikasi Ballast Elektronik untuk Lampu High Pressure Sodium. Teknik Elektro Universitas Diponegoro. 2010
- [4]. Nugraha, Dhika Arya. Ballast Elektronik Lampu Jenis High Pressure Sodium (HPS) Bertopologi Inverter Setengah Jembatan Resonan Seri Frekuensi Tinggi dengan Mikrokontroler ATMEGA8535. Teknik Elektro Universitas Diponegoro. 2012
- [5]. Purba, Irpan Logitra. Perancangan Pembangkit Tegangan Tinggi Impuls untuk Mengurangi Jumlah Bakteri pada Susu Perah. Teknik Elektro Universitas Diponegoro. 2013
- [6]. Fairchild Semiconductor Corporation. CD4047BC Low Power Monostable/Astable Multivibrator. 2002
- [7]. Fewson, Denis. Introduction to Power Electronics. School of Electronic Engineering, Middlesex University. 1998
- [8]. Safarudin, Yanuar Mahfudz. “Perancangan Modul Praktikum Inverter Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM) 2 Level, 3 Level dan Sinusoidal”, Universitas Diponegoro, Semarang . 2013
- [9]. Ramdhani, Mohamad. Rangkaian Listrik.
- [10]. Rashid, Muhammad H. “Power Electronics Circuits, Devices, and Applications”, Prentice Hall International, United States. 1993
- [11]. Ahmad, Jayadin. Eldas. 2007
- [12]. Yijie, Wang, Zhang Xiangjun and Xu Dianguo. Electronic Ballast for 119W UV Lamp Controlled by Microprocessor. IEEE. 2009
- [13]. Mohankumar, D. Transformerless Power Supply.
- [14]. Boylestad, Robert and Louis Nashelsky. Electronic Devices and Circuit Theory. Prentice Hall International Editions. 1996
- [15]. Sedlak, Shelli and Mike Smith. Dimming LFL Systems. GE Lighting.
- [16]. Hendrawan, Alvian Dwi. Analisis Filter Seri-Paralel Dalam Rangkaian Inverter Frekuensi Tinggi Penaik Tegangan. Universitas Diponegoro. 2013
- [17]. Oklilas, Ahmad Fali. Elektronika Dasar. Universitas Sriwijaya. Palembang. 2006
- [18]. Webster, John G. Electrical Measurement, Signal Processing, and Displays. 2004
- [19]. Errede, Steven, American Wire Gauge (AWG) and Metric Gauge Wire Sizes, Department of Physics, University of Illinois at Urbana-Champaign, Illinois, 2008
- [20]. Wolsey, Robert. Lighting Answer Power Quality. Volume 2, Number 2. National Lighting Product Information Program. 1995
- [21]. Lee, Yim-Shu and Martin H. L. Chow. Diode Rectifiers. Department of Electronic and Information Engineering, The Hong Kong Polytechnic, University Hung Hom. Hongkong. 2007
- [22]. ---, Piranti Elektronik Resistor, Kapasitor, Induktor
- [23]. Cosby, Melvin C. Jr. and R. M. Nelms. A Resonant Inverter for Electronic Ballast Applications. IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS VOL. 41. NO. 4. 1994