

INVERTER JEMBATAN PENUH RESONAN LCC SEBAGAI CATU DAYA LAMPU HPL-N

Muhammad Ikilil^{*}), Mochammad Facta, and Karnoto

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

Email : muhammadikilil1991@gmail.com

Abstrak

Penggunaan Lampu HPL-N biasanya sebagai penerangan diluar ruangan dan industri. Lampu jenis ini menghasilkan cahaya tampak warna putih. Lampu jenis ini membutuhkan beberapa rangkaian dan komponen tambahan, seperti ballast, untuk membatasi arus yang melewati lampu. Ballast elektromagnetik beroperasi pada frekuensi 50-60 Hz. Intensitas penerangan lampu HPL-N tidak dapat diatur jika menggunakan ballast elektromagnetik. Oleh karena itu, sistem ballast elektromagnetik diganti inverter dengan resonan. Pada penelitian ini dibuat inverter jembatan penuh dengan resonan LCC. Inverter tersebut menggunakan MOSFET yang dipicu oleh rangkaian kontrol IC TL494. Tegangan DC akan diubah menjadi tegangan AC frekuensi tinggi melalui inverter. Inverter yang dikombinasikan dengan rangkaian resonan LCC akan mensuplai beban berupa lampu HPL-N. Berdasarkan pengujian, rangkaian inverter jembatan penuh resonan LCC dapat menaikkan tegangan dari 60 Volt DC menjadi tegangan 123,7 Volt AC pada frekuensi resonan 104,2 kHz. Pengaturan intensitas penerangan lampu dilakukan dengan mengatur frekuensi. Pada frekuensi 104,2 kHz, 109,6 kHz, 89,6 kHz didapat intensitas penerangan 2510 lux, 1463 lux, 1886 lux dengan daya lampu 49,85 W, 31,46 W, 33,33 W. Efisiensi inverter didapat 47,37% pada frekuensi 104,2 kHz dan efisiensi total didapat 19,38% pada frekuensi 104,2 kHz.

Kata kunci: ballast, inverter, resonan LCC

Abstract

A HPL-N lamp usually used as an illumination outside of a room and for industrial. This kind of lamp produces a white radiance. This lamp requires some circuit and additional component, such as ballast for limiting the current that is going through the lamp. Electromagnetic ballast operated at frequency of 50-60 Hz. Luminance of HPL-N lamp was not drive by electromagnetic ballast. Therefore, electromagnetic ballast changed with resonan inverter. This research was high frequency full bridge inverter with LCC resonant. Inverter used MOSFET which driven by IC TL494. DC voltage would be converted to high frequency AC voltage via inverter. Inverter was combined by LCC resonant would supply HPL-N lamp load. Based on the test result LCC resonant circuit with full bridge inverter increased the voltage from 60 volt DC becomes the voltage 123,7 volt AC in operation frequency at 104,2 kHz. Setting illumination was done with frequency setting. The frequency 104,2 kHz, 109,6 kHz, 89,7 kHz be obtained illumination 2510 lux, 1463 lux, 1886 lux with lamp power 49,85 W, 31,46 W, 33,33 W. Inverter efficiency be obtained 47,37% at frequency 104,2 kHz and total efficiency be obtained 19,38% at frequency 104,2 kHz.

Keyword: ballast, inverter, LCC resonant

1. Pendahuluan

Penggunaan Lampu HPL-N biasanya digunakan sebagai penerangan di luar ruangan dan industri. Lampu jenis ini menghasilkan cahaya tampak warna putih[7]. Lampu jenis ini membutuhkan beberapa rangkaian dan komponen tambahan, seperti *ballast*, untuk membatasi arus yang melewati lampu[23]. Jenis lampu tersebut masih memakai *ballast* yang konvensional, yakni *ballast* elektromagnetik. *Ballast* elektromagnetik beroperasi pada frekuensi 50-60

Hz[1]. Intensitas penerangan lampu HPL-N tidak dapat diatur jika menggunakan *ballast* elektromagnetik. Oleh karena itu, sistem *ballast* elektromagnetik diganti catu daya frekuensi tinggi[1].

Catu daya frekuensi tinggi berupa *inverter* dengan resonan tidak dimaksudkan menggantikan *ballast* elektromagnetik, tetapi memberikan kemudahan lampu HPL-N dalam mengatur *range* tegangan tertentu pada intensitas penerangan lampu HPL-N. Frekuensi yang

digunakan diatas frekuensi 20 kHz diatas pendengaran frekuensi manusia.

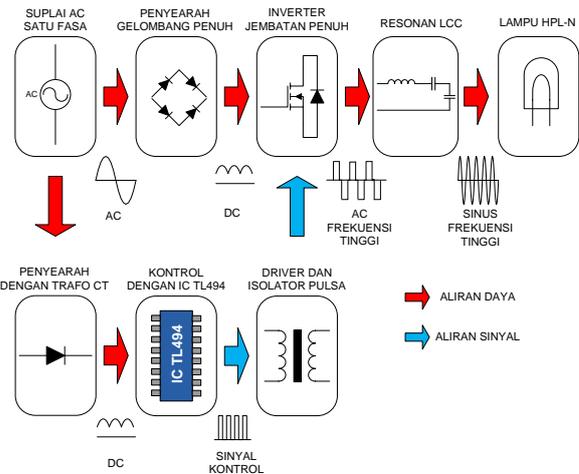
Catu daya frekuensi tinggi sudah dibuat dalam beberapa penelitian. Pada referensi [8] dibuat *Inverter Half Bridge Zero Voltage Switching* dengan beban Lampu *High Pressure Sodium*[8]. Rangkaian kontrol dalam penelitian ini^[8] menggunakan IC TL494. Pada referensi [9] dibuat *Inverter Setengah Jembatan Resonan Seri Frekuensi Tinggi Beban Lampu Jenis High Pressure Sodium (HPS)* dengan Mikrokontroler ATMEGA8535[9]. Kedua penelitian diatas[8][9] membuat *inverter* setengah jembatan resonan seri frekuensi tinggi dengan MOSFET sebagai piranti pensaklaran.

Dalam referensi [14] dibuat *inverter* setengah Jembatan Resonan LCC Frekuensi Tinggi Beban Lampu UV[14]. Dalam penelitian ini[14] membuat *inverter* setengah jembatan menggunakan MOSFET sebagai pensaklarannya. Rangkaian kontrol menggunakan IC 4047. Tegangan keluaran dari *inverter* 155 V diturunkan menggunakan trafo *step down* menjadi 50 V. Selanjutnya sumber 50 V masuk ke resonan LCC dengan penguatan sebesar satu. Resonan LCC menyuplai lampu UV dengan daya 18W.

Penelitian tugas akhir ini, penggunaan MOSFET pada inverter kembali digunakan. MOSFET digunakan untuk rangkaian inverter jembatan penuh frekuensi 100 kHz. Rangkaian kontrol menggunakan IC TL494. IC TL494 dikombinasikan dengan IC 4001N dan IC 4013N menghasilkan empat gelombang pemicuan[12]. Resonan yang digunakan resonan LCC, karena resonan ini bisa digunakan untuk *igniting* dan menyuplai lampu^[1]. Beban yang digunakan lampu HPL-N, karena lampu ini belum digunakan tugas akhir sebelumnya. Daya lampu HPL-N sebesar 125W. Kelebihan penelitian ini menggunakan resonan LCC untuk menghasilkan penguatan tegangan sesuai tegangan kerja lampu dan mengukur besar intensitas penerangan lampu. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui tegangan keluaran resonan LCC dan efisiensi inverter.

2. Metode

Perancangan catu daya frekuensi tinggi dalam tugas akhir ini tersusun dari beberapa blok utama yaitu sumber tegangan AC, sumber tegangan DC, rangkaian daya, rangkaian kontrol, resonan, dan lampu. Blok diagram keseluruhan dari rangkaian dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini.

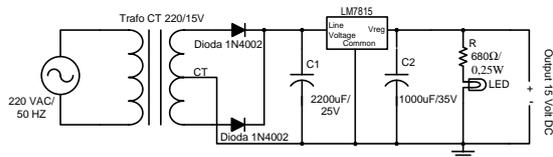


Gambar 1. Blok diagram perancangan inverter secara keseluruhan

2.1. Perancangan Blok Rangkaian Kontrol

2.1.1. Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh Satu Fasa dengan Center Tap

Penyearah satu fasa dengan trafo CT, dioda, regulator tegangan, kapasitor, resistor dan LED seperti yang tertera pada Gambar 2.



Gambar 2. Penyearah Gelombang Penuh Satu Fasa CT

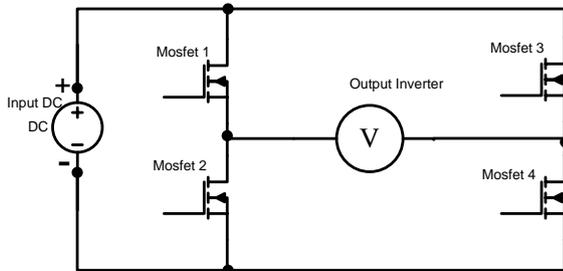
Penyearah ini menggunakan sumber 15V_{AC} yang disearahkan menggunakan 2 dioda 1N4002 menjadi 21,21 Volt, kemudian keluaran tegangan tersebut difilter menggunakan kapasitor 2200µF/50 Volt dan 1000 µF/50 Volt. Untuk menstabilkan teganga 15 V_{DC} digunakan LM7815 meregulasi tegangan 21,21 menjadi 15 V. Rangkaian ini untuk menyuplai rangkaian kontrol dan rangkaian driver dan isolator pulsa.

2.1.2. Rangkaian kontrol dengan IC TL494

Rangkaian kontrol digunakan untuk mengatur kerja mosfet pada rangkaian daya. Rangkaian kontrol juga berfungsi mengatur besar frekuensi tegangan keluaran dari inverter. Rangkaian kontrol pada Tugas Akhir ini menggunakan IC TL494.

2.2.2. Inverter Jembatan Penuh

Inverter yang digunakan adalah tipe jembatan penuh . Inverter menggunakan 4 buah MOSFET sebagai komponen pensaklaran.

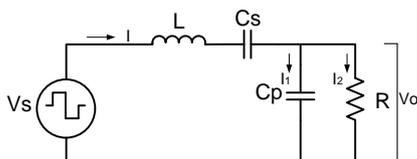


Gambar 6. Rangkaian inverter jembatan penuh

Inverter jembatan penuh memiliki karakteristik tegangan masukan sama dengan tegangan keluaran. Yang perlu diperhatikan dalam pemilihan MOSFET untuk inverter adalah tegangan kerja dan arus kerja. Tegangan masukan inverter sebesar 70,7 Volt dan arus kerja 2,4 Ampere. Maka MOSFET yang digunakan adalah IRFP460.

2.2. Perancangan Resonansi LCC

Rangkaian resonansi LCC terdiri dari L dan dua buah C. L dihubungkan seri dengan Cs dan Cp dihubungkan paralel dengan beban R. Rangkaian ekuivalen resonansi LCC terdapat pada Gambar:



Gambar 7. Rangkaian ekuivalen resonansi LCC

Dengan menggunakan hukum kirchoff, maka dari rangkaian ekuivalen diatas didapat suatu persamaan penguat tegangan sebagai berikut:

$$G(j\omega) = \frac{V_o}{V_i}(j\omega) = \frac{1}{1 + \frac{C_p}{C_s} - \omega^2 L C_p + \frac{j\omega L}{R} - \frac{j}{\omega C_s R}}$$

Beban lampu yang digunakan adalah Lampu HPL-N 125W merk PHILIPS, dimana frekuensi switching yang dipilih 100 kHz. Dipilih nilai $\alpha=0,5$. Data yang diketahui sebagai berikut :

Tegangan input $V_s = 70,7 V$

Tegangan lampu $V_{LA} = 125 V$

Arus Lampu $I_{LA} = 1,15 A$

$$R_{LA} = \frac{V_{LA}^2}{P} = \frac{125^2}{125} = 125$$

Frekuensi switching $f_s = 100 kHz$

Dengan menggunakan persamaan 3.22 maka didapat nilai Z_B sebagai berikut :

$$Z_B = \frac{V_s}{\alpha \cdot I_{LA}}$$

$$Z_B = \frac{70,7}{0,5 \times 1,15} = 123 \Omega$$

Kemudian perancangan pada frekuensi switching 100 kHz dimasukkan ke Persamaan untuk menentukan nilai L, Cs, dan Cp sebagai berikut :

$$L = \frac{Z_B}{2\pi \cdot f_s}$$

$$L = \frac{123}{2,314 \cdot 100^3} = 195 \mu H$$

$$C_s = \frac{1}{2\pi \cdot f_s (1 - \alpha) Z_B}$$

$$C_s = \frac{1}{2,314 \cdot 100^3 (1 - 0,5) \cdot 123} = 25,9 nF$$

$$C_p = \frac{1}{2\pi \cdot f_s \alpha Z_B}$$

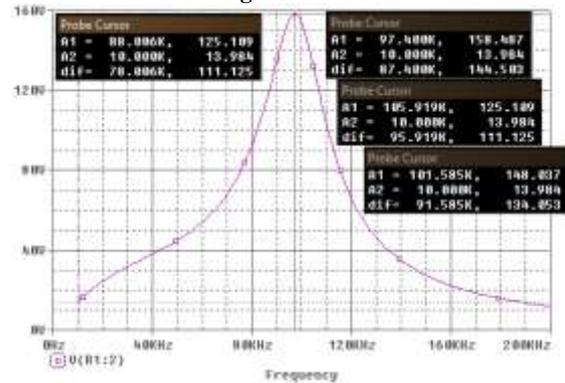
$$C_p = \frac{1}{2,314 \cdot 100^3 \cdot 0,5 \cdot 123} = 25,9 nF$$

Setelah pengukuran nilai Induktor dan kapasitor yang digunakan bernilai L=185 uH, Cs=26,8nF dan Cp=26,4 nF.

Pada saat running nilai tahanan lampu diisi dengan nilai 125 Ohm. Gambar 8 menunjukkan hasil simulasi Pspice



Gambar 8. Simulasi rangkaian resonansi LCC saat running



Gambar 9. Simulasi frekuensi resonansi LCC saat running

Pada Gambar 9 nilai frekuensi resonansi saat running yaitu 97,4 kHz tegangan 158,4 V. Frekuensi diatas resonansi pada frekuensi 105,9 kHz dan frekuensi dibawah resonansi

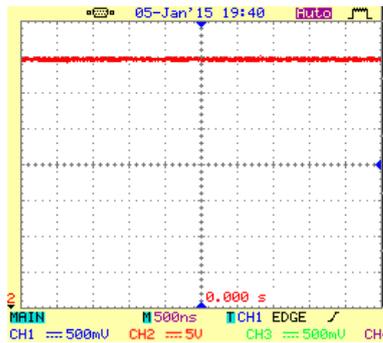
pada frekuensi 88 kHz dengan tegangan keluaran sebesar 125 V. Tegangan 125 V adalah tegangan operasi lampu.

3. Hasil dan Analisa

3.1 Pengujian Blok Rangkaian Kontrol

3.1.1 Penyearah Gelombang Penuh Satu Fasa dengan CT

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai tegangan keluaran penyearah dan bentuk gelombang tegangan keluaran penyearah. Rangkaian pengujian tegangan keluaran penyearah dapat dilihat pada Gambar 10



Gambar 10. Bentuk gelombang tegangan keluaran penyearah gelombang penuh CT

Dari Gambar 10 terlihat besar tegangan adalah 3 div dengan skala ukur 5V/div sehingga dapat dihitung nilai tegangan

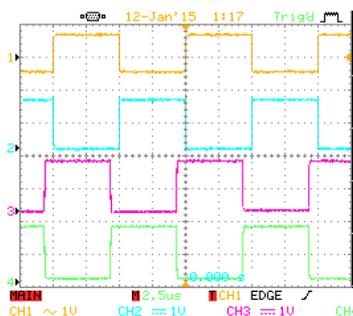
$$V_{DC} = 3 \times 5V / div$$

$$V_{DC} = 15 V$$

Bentuk gelombang penyearah penuh CT berupa tegangan keluaran lurus tanpa ada ripple. Nilai tegangan sudah sesuai dengan perancangan ($V_{DC} = 15 V \approx 15 V$) dan sudah cukup untuk menyuplai rangkaian kontrol IC TL494 dan trafo pulsa.

3.1.2 Pengujian Rangkaian Kontrol IC TL494

Bentuk Gelombang keluaran dari IC TL494 masuk IC 4001 dan IC4013. Berikut keluaran IC 4013



Gambar 11. Bentuk gelombang keluaran pemicuan kontrol

Dari Gambar 11 diatas diambil pada skala 2,5 $\mu s/div$ dan 1 V/ div pengali probe x10 sehingga dapat dihitung besarnya frekuensi dan tegangan sebagai berikut

$$T = 4 \times 2,5 \mu s / div = 10 \mu s$$

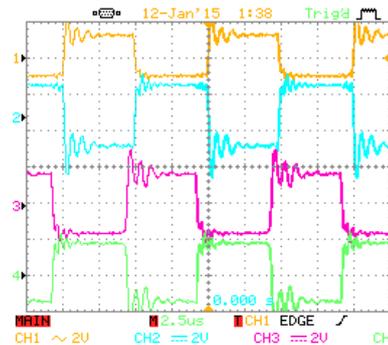
$$f = \frac{1}{T}$$

$$f = \frac{1}{10 \mu s} = 100 kHz$$

$$V_{pp} = 1,45 \times 1V / div \times 10 = 14,5 V$$

Dari Gambar 11 dapat dilihat bentuk gelombang sinyal kontrol pemicuan berupa gelombang kotak dengan *duty cycle* diatur pada 90%. Gelombang kontrol pemicuan A dan B berkebalikan. Sedangkan kontrol pemicuan D dan C berkebalikan. Nilai tegangan keluaran $V_{pp} = 14,5 V$ dengan frekuensi 100 kHz.

3.1.3 Pengujian Rangkaian Driver dan Isolator Pulsa



Gambar 12. Bentuk gelombang rangkaian driver dan trafo isolator pulsa.

Dari Gambar 12 diatas diambil pada skala 2,5 $\mu s/div$ dan 2 V/ div pengali probe x10 sehingga dapat dihitung besarnya frekuensi dan tegangan sebagai berikut

$$T = 4 \times 2,5 \mu s / div = 10 \mu s$$

$$f = \frac{1}{10 \mu s}$$

$$f = 100 kHz$$

$$Amplitudo = 0,8 \times 2V / div \times 10 = 16 V$$

Dari Gambar 12 dapat dilihat Gelombang keluaran trafo isolator pulsa masih terdapat *spike*. Hal ini disebabkan adanya saturasi pada transformator pulsa. *Spike* tidak menjadi masalah karena tidak melebihi tegangan maksimal MOSFET IRFP460 $V_{GS} \pm 20 V$.

3.2. Pengujian Blok Rangkaian Daya

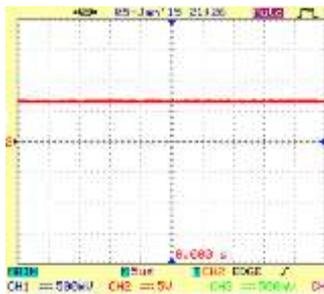
3.2.1. Pengujian Penyearah untuk Suplai Rangkaian Daya

Dari Gambar 13 diatas terlihat besarnya tegangan adalah 1,3 div dengan skala ukur 5V/div probe pengali x10 sehingga dapat dihitung nilai tegangan

$$V_{DC} = 1,3 \times 5V / div \times 10$$

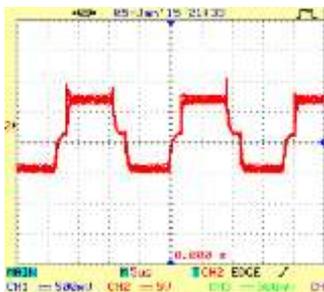
$$V_{DC} = 65 \text{ V}$$

Dari Gambar 13 terlihat bentuk gelombang penyearah berupa tegangan keluaran lurus tanpa ada ripple. Sumber tegangan AC yang digunakan 50V sehingga tegangan AC dikalikan akar dua didapat tegangan DC sebesar 70,7 V. Akan tetapi, pada kenyataannya tegangan output DC sebesar 65 V karena adanya drop tegangan pada penyearah. Pada awal perancangan menggunakan trafo step down tap 50 V dengan kapasitas arus 5A, tetapi trafo step down 50 V diganti dengan regulator karena arus yang mengalir pada lilitan trafo step down 50V terjadi rugi-rugi yang menghasilkan panas pada inti besi.



Gambar 13. Bentuk gelombang hasil pengujian tegangan keluaran penyearah

3.2.2. Pengujian Inverter jembatan Penuh



Gambar 14. Bentuk gelombang hasil pengujian tegangan keluaran inverter

Gambar 14 diatas diambil pada skala 5 V/div dengan probe pengali x10. Sehingga dapat dihitung tegangan sebagai berikut

$$V_{pp} = 2,4 \times 5V / div \times 10 = 120 \text{ V}$$

$$V_{max} = \frac{120}{2} = 60 \text{ V}$$

Dari Gambar 14 terlihat bentuk gelombang tegangan inverter jembatan penuh *phase-shifted*. Tegangan masukan yang terukur pada Gambar 4.10 sebesar 65 V. sedangkan tegangan keluaran sebesar 60V. Ada perbedaan tegangan antara masukan dan keluaran. Hal ini dikarenakan adanya rugi-rugi *switching* yang terjadi pada inverter.

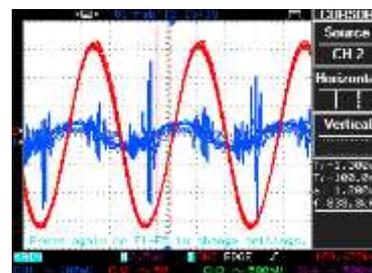
3.3. Pengujian Resonan LCC

Pada rangkaian resonan LCC dilakukan pengujian variasi frekuensi. Pengujian ini untuk melihat penguatan tegangan dan arus yang mengalir pada lampu. Pengujian resonan LCC antara lain :

1. Pengujian frekuensi diatas frekuensi resonan
2. Pengujian frekuensi pada frekuensi resonan
3. Pengujian frekuensi dibawah frekuensi resonan

3.3.1. Pengujian Frekuensi Di atas Frekuensi Resonan

Pengujian diatas frekuensi resonan untuk melihat tegangan keluaran dan arus yang mengalir pada lampu.



Gambar 15. Gelombang tegangan dan arus lampu diatas frekuensi resonan

Pada Gambar 15 dapat dilihat gelombang tegangan, arus, dan delta. Delta adalah selisih waktu antara arus dan tegangan. Arus (warna biru) mendahului tegangan (warna merah) sehingga faktor daya pada beban bersifat *leading*. Gelombang tegangan dan arus berbentuk gelombang sinusoidal.

Pengukuran intensitas penerangan dengan jarak 20 cm dari ujung lampu. Pengujian frekuensi 109,6 kHz didapatkan nilai tegangan, arus, dan faktor daya.

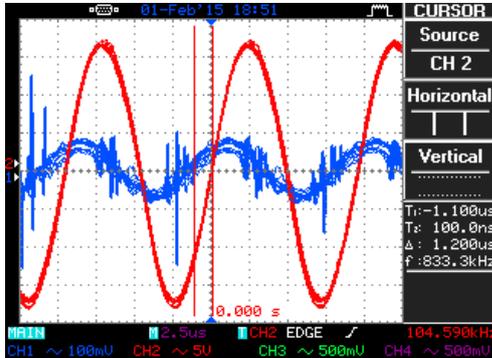
Tabel 1. Pengukuran frekuensi diatas frekuensi resonan

f (kHz)	V (V)	I (A)	Delta (Δ)	Faktor daya	P _L (W)	Lux
109,6	109,6	0,424	1,2μs	Cos 47,37°=0,677	31,46	146
107,2	116,6	0,46	1,2μs	Cos 46,31°=0,69	37	192
105,4	118,4	0,53	1,2μs	Cos 45,53°=0,701	43,9	224
						0

Tabel 1 dapat dilihat dengan variasi frekuensi mendekati resonan, maka tegangan, arus dan daya yang digunakan juga semakin besar. Daya berpengaruh pada intensitas penerangan yang dihasilkan. Bila dibandingkan dengan daya sesuai karakteristik lampu HPL-N adalah 125 W, daya pengukuran sebesar 43,9 W. Hal ini karena *hard switching* pada inverter yang menyebabkan rugi-rugi daya dan faktor daya rendah karena tidak menggunakan *power factor correction*

3.3.2. Pengujian Frekuensi Pada Frekuensi Resonan

Pengujian pada frekuensi resonan untuk melihat tegangan keluaran dan arus yang mengalir pada lampu.



Gambar 16. Gelombang tegangan dan arus lampu pada frekuensi resonan

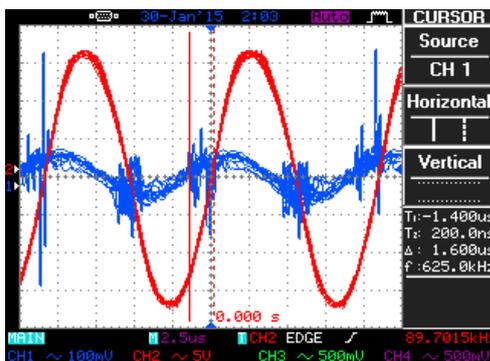
Pengujian frekuensi resonan pada frekuensi 104,2 kHz didapatkan nilai tegangan, arus, dan faktor daya. Berikut data pengujian pada frekuensi resonan

Tabel 2. Pengukuran frekuensi pada frekuensi resonan

f (kHz)	V(V)	I (A)	Delta (Δ)	Faktor daya	PL (W)	Lux
104,2	123,7	0,57	1,2μs	Cos 45,01°=0,707	49,85	2510

Tabel 2 dapat dilihat saat frekuensi resonan tegangan dan arus pengukuran paling besar. Daya lampu sebesar 49,85 W dengan intensitas penerangan lampu 2510 lux.

3.3.3. Pengujian Frekuensi Di bawah Frekuensi Resonan



Gambar 17. Gelombang tegangan dan arus lampu dibawah frekuensi resonan

Pengujian frekuensi 89,7 kHz didapatkan nilai tegangan, arus, dan faktor daya. Berikut data pengujian dibawah frekuensi resonan.

Tabel 3. Pengukuran frekuensi dibawah frekuensi resonan

f (kHz)	V (V)	I (A)	Delta (Δ)	Faktor daya	PL(W)	Lux
103,6	121,9	0,548	1,2μs	Cos 47,43°=0,71	47,43	2250
100,3	120	0,536	1,3μs	Cos 46,94°=0,683	43,93	2160
97,2	118,4	0,53	1,4μs	Cos 48,98°=0,656	41,1	2110
94,8	117	0,518	1,5μs	Cos 51,2°=0,626	37,94	2100
91,7	116,7	0,486	1,5μs	Cos 49,52°=0,649	36,81	1973
89,7	116,7	0,46	1,6μs	Cos 51,66°=0,62	33,33	1886

Tabel 3 dapat dilihat dengan variasi frekuensi dibawah resonan, maka tegangan, arus dan daya yang digunakan juga semakin kecil. Semakin kecil daya lampu, maka intensitas penerangan lampu semakin kecil. Frekuensi semakin turun menyebabkan delta semakin besar. Daya lampu pada frekuensi 103,6 kHz dengan daya 47,43 W. Bila dibandingkan dengan daya sesuai karakteristik lampu HPL-N adalah 125 W. Hal ini karena *hard switching* pada inverter yang menyebabkan rugi-rugi daya dan faktor daya rendah karena tidak menggunakan *power factor correction*

3.3.4. Pengujian Pengaturan Duty Cycle

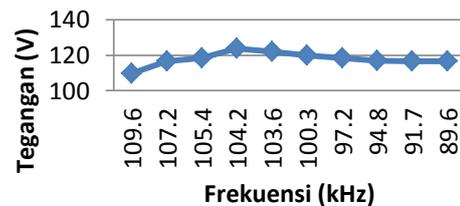
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaturan *duty cycle* terhadap intensitas penerangan lampu atau nyala lampu pada beban lampu HPL-N125 W. Berikut hasil pengujian pengaturan *duty cycle*

Tabel 4. Pengaturan duty cycle

Duty Cycle	f (kHz)	V (V)	I (A)	Delta (Δ)	Faktor daya	PL (W)	lux
90%	104,7	123	0,58	1,2μs	Cos 45,23°=0,704 (lead)	50,2	2420
70%	104,7	129	0,55	1,2μs	Cos 45,23°=0,704 (lead)	49,9	1770

Dari Tabel 4 terlihat *duty cycle* maksimal 90% dan minimal 70%. Duty diturunkan menyebabkan intensitas penerangan lampu dan daya lampu menurun. Duty cycle dibawah 70% menyebabkan lampu padam.

3.3.5. Perhitungan Penguatan Rangkaian Resonan LCC



Gambar 18. Grafik frekuensi terhadap tegangan

Dari grafik diatas frekuensi dari 109,6 kHz, tegangan akan semakin besar mendekati frekuensi resonan pada frekuensi 104,2 kHz. Tegangan akan semakin turun dibawah frekuensi resonan.

3.3.6. Pengujian Efisiensi Frekuensi Tinggi

Tabel 5. Data untuk menghitung efisiensi total

F (kHz)	V _{1φ} (V)	I _{1φ} (A)	Faktor daya	P _{1φ} (W)	V _L (V)	I _L (A)
109,6	218,5	0,87	0,904	171,8	109,6	0,424
104,2	219,6	1,25	0,937	257,2	123,7	0,57
89,6	219,3	1,18	0,922	238,6	116,7	0,46

F (kHz)	Faktor daya	P _L (W)	η _{TOTAL} (%)
109,6	0,677	31,46	18,31
104,2	0,707	49,85	19,38
89,6	0,621	33,33	13,19

Dari tabel 5 menunjukkan pengukuran sumber dan pengukuran lampu pada tiga frekuensi yang berbeda. Pengambilan data bertujuan untuk membandingkan efisiensi total dioperasikan pada kondisi diatas resonan 109,6 kHz, saat resonan 104,2 kHz, dan dibawah resonan 89,6 kHz. Terlihat pada saat frekuensi resonan 104,2 kHz daya sumber dan daya lampu paling besar. Efisiensi total yang didapat rendah sebesar 19,38% pada frekuensi 104,2 kHz. Hal ini disebabkan rugi-rugi arus eddy pada regulator dan hard switching pada inverter.

Tabel 6. Data untuk menghitung efisiensi inverter

f (kHz)	V _{dc} (V)	I _{dc} (A)	P _{dc} (W)	V _L (V)	I _L (A)
109,6	89,1	1,1	98,01	109,6	0,424
104,2	66,6	1,58	105,23	123,7	0,57
89,6	79,7	1,07	85,28	116,7	0,46

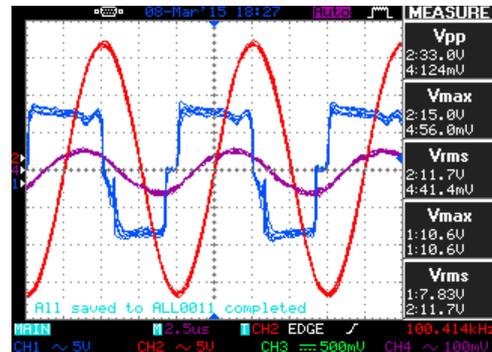
f (kHz)	Faktor daya	P _L (W)	η _{INVERTER} (%)
109,6	0,677	31,46	32,1
104,2	0,707	49,85	47,37
89,6	0,621	33,33	39,1

Dari Tabel 6 menunjukkan pengukuran penyearah dan pengukuran lampu pada tiga frekuensi yang berbeda. Pengambilan data bertujuan untuk membandingkan tiga efisiensi inverter pada frekuensi yang berbeda. Pada saat resonan daya penyearah dan daya lampu paling besar. Efisiensi inverter terbesar pada frekuensi 104,2 kHz sebesar 47,37%. Dilihat dari daya penyearah dengan daya lampu berbeda jauh. Hal ini karena hard switching inverter yang menyebabkan rugi-rugi saat switching.

Hard switching adalah proses pensaklaran pada kondisi komponen bertegangan dan menghantarkan arus. Dari gambar diatas tegangan (warna merah) dan arus (warna ungu) tidak pada titik nol atau ground dari gelombang keluaran inverter yang menyebabkan rugi-rugi

pensaklaran. Apabila digunakan pada lampu yang berdaya besar menyebabkan efisiensi rendah. Efisiensi rendah dikarenakan daya terdisipasi keluar pada komponen pensaklaran besar, yakni berupa panas.

Di bawah ini Gambar hard switching



Gambar 19. Gelombang tegangan dan arus lampu diatas frekuensi resonan

3.3.6. Perbandingan Inverter Jembatan Penuh

Resonan LCC dengan Ballast Elektromagnetik

Tabel 7. Perbandingan daya pada frekuensi 100,3 kHz dengan 50 Hz

Jenis	F (Hz)	V _{1φ} (V)	I _{1φ} (A)	Faktor daya	P _{1φ} (W)	V _L (V)
Inverter Elektromagnetik	100300	219,6	1,25	0,937	257,2	120
	50	218,7	1,15	0,555	139,5	119

Jenis	I _L (A)	Faktor daya	P _L (W)	η _{TOTAL} (%)	Lux
Inverter Elektromagnetik	0,536	0,683	43,34	17,29	2160
	1,15	0,887	121,3	86,9	4400

Pada Tabel 7 dapat dilihat dengan tegangan sumber yang sama 220 V menghasilkan daya sumber satu fasa yang berbeda jauh. Pada frekuensi 100,3 kHz daya sumber satu fasa lebih besar dari pada frekuensi 50 Hz. Hal ini karena frekuensi 100,3 kHz menarik arus yang besar. Faktor daya pada sumber satu fasa frekuensi 100,3 kHz lebih baik dari pada frekuensi 50 Hz. Pada daya lampu frekuensi 100,3 kHz lebih kecil dari pada frekuensi 50 Hz. Hal ini disebabkan terjadi rugi-rugi arus eddy dan rugi tembaga pada regulator yang menyebabkan daya hilang antara regulator dengan penyearah 153,9 W. Hard switching pada inverter yang menyebabkan rugi pensaklaran. Apabila digunakan pada lampu berdaya besar menyebabkan efisiensi rendah. Daya hilang pada inverter 52,8 W. Daya lampu pada frekuensi 100,3 kHz dipengaruhi arus yang mengalir ke lampu kecil sebesar 0,536 A. Dari perhitungan efisiensi total, frekuensi 50 Hz lebih baik dari pada 100,3 kHz. Hal ini karena inverter yang dibuat merupakan rangkaian dasar. Intensitas penerangan yang dihasilkan frekuensi 50 Hz lebih besar dari pada frekuensi 100,3 kHz. Sehingga untuk

mendapatkan intensitas penerangan 4400 lux dengan cara menaikkan sumber tegangan regulator.

Pada pembahasan kali ini, untuk menghasilkan lux mencapai 4400 dengan cara memperbesar sumber tegangan AC sehingga menghasilkan tegangan DC yang besar. Setelah dicoba, tegangan sumber 80 VAC sudah mencapai intensitas penerangan lampu 4400 lux. Dengan cara mengatur sumber 80V pada regulator. Selanjutnya, mengatur frekuensi dari tinggi ke frekuensi resonan sehingga lampu menyala. Berikut adalah pengukuran lampu pada frekuensi 104,9 kHz

Tabel 8. Peningkatan lux

Jenis	F (Hz)	V _{1ϕ} (V)	I _{1ϕ} (A)	Faktor daya	P _{1ϕ} (W)	V _L (V)
Inverter	104900	220,2	1,43	0,929	292,5	126
Elektromagnetik	50	218,7	1,15	0,555	139,5	119
Jenis	I _L (A)	Faktor daya	P _L (W)	η_{TOTAL} (%)	Lux	
Inverter	0,602	0,705	53,5	18,28	4420	
Elektromagnetik	1,15	0,887	121,3	86,9	4400	

Dari Tabel 8 dapat dilihat intensitas penerangan pada lampu mencapai 4420 karena arus yang mengalir ke lampu semakin besar. Dengan cara menaikkan tegangan, maka intensitas penerangan lampu juga semakin besar.

4. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisis penelitian tugas akhir ini dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Inverter jembatan penuh resonan LCC dengan masukan dari penyearah sebesar 65 VDC berhasil dibuat untuk menghasilkan tegangan keluaran inverter 60 VAC. Selanjutnya, tegangan keluaran 60 VAC mensuplai resonan LCC berhasil mengalami penguatan tegangan dua kali sesuai dengan tegangan kerja lampu 125 V.
2. Daya lampu dan intensitas penerangan tertinggi pada frekuensi resonan 104,2 kHz sebesar 49,85 W dengan intensitas penerangan 2510 lux. Sedangkan daya lampu terendah pada frekuensi 109,6 kHz sebesar 31,46 W dengan intensitas penerangan 1463 lux. Perubahan daya berpengaruh pada intensitas penerangan lampu yang dapat *dimmer*
3. Besar intensitas penerangan lampu yang dihasilkan bergantung pada daya lampu. Ketika daya lampu digunakan semakin besar, maka intensitas penerangan lampu juga semakin besar. Besar intensitas penerangan lampu dari 1463 lux sampai dengan 2510 lux
4. Pengujian *duty cycle* maksimal 90% dan *duty cycle* minimal 70%, karena *duty cycle* dibawah 70% menyebabkan lampu padam.
5. Hasil pengukuran penguatan tegangan tertinggi sebesar 123,7 V pada frekuensi resonan 104,2 kHz.

Frekuensi resonan terjadi pergeseran pada pengukuran dengan perhitungan dan simulasi. Hal ini disebabkan adanya efek parasitik.

6. Efisiensi yang didapat ada dua yaitu efisiensi inverter dan efisiensi total dari keseluruhan. Efisiensi inverter pada frekuensi resonan 104,2 kHz sebesar 47,37%. Efisiensi inverter tergolong rendah karena *hard switching* yang menyebabkan rugi-rugi daya saat *switching*. Efisiensi total pada frekuensi resonan 104,2 kHz sebesar 19,38%. Rendahnya efisiensi total disebabkan rugi-rugi arus *eddy* pada regulator dan *hard switching* pada inverter.
7. Hasil perbandingan pada frekuensi tinggi dan frekuensi rendah menghasilkan intensitas penerangan lampu frekuensi tinggi sebesar 2160 lux, sedangkan intensitas penerangan lampu frekuensi rendah sebesar 4400 lux. Untuk mencapai intensitas penerangan 4400 lux pada frekuensi tinggi, maka tegangan sumber AC dinaikkan sebesar 80 V. Selanjutnya, dengan cara mengatur frekuensi tinggi mendekati frekuensi resonan sehingga intensitas penerangan lampu sebesar 4420 lux.

Referensi

- [1]. Alonso, J. Marcos. *Electronic Ballast*, Rashid, Muhammad H. *Power Electronic Handbook : Device, Circuit, and Applications*, 2nd, Elsevier Inc, USA, 2011
- [2]. Rashid, Muhammad H. *Elektronika Daya : Rangkaian, Devais, dan Aplikasinya*, 1nd, PT. Prenhallindo, Jakarta, 1999
- [3]. Rashid, Muhammad H. *Power Electronics : Circuit, Device, and Applications*, Prentice Hall International, USA, 1988
- [4]. Kazimierczuk, Marian K. *Resonant Power Converters*, John Wiley & Sons Inc, Canada, 1995
- [5]. Newnes. *Power Elelctronic Control in Electrical System*, MPG Books Ltd. British, 2002
- [6]. F. Rodriguez, J. Ribas, J.M. Alonso, A.J. Calleja. *Analisisi and Design of the LCC-Paralel Series Inverter with Resonant Current Control as HPS Lamp Ballast*. IEEE. 2001
- [7]. Assafat, Luqman. *Perbandingan Unjuk Kerja Lampu Jenis HPL-N dan SON-T Sebagai Lampu Penerangan Jalan Umum*. Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Semarang.2008
- [8]. Syaifulhaq, Muhammad. *Perancangan Inverter Half Bridge Zero Voltage Switching Pada Aplikasi Ballast Elektronik untuk Lampu High Pressure Sodium*. Teknik Elektro Universitas Diponegoro.2010
- [9]. 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

- [10]. Dwi Praditya, Bagas, *Perancangan Inverter Dual Conversion Full Bridge-Full Bridge pada Aplikasi Fotovoltaik*. Universitas Diponegoro. Semarang. 2011
- [11]. Budiman, Rezon Arif. *Perancangan Half Bridge Inverter untuk Catu Daya Pemanas Induksi Pada alat Extruder Plastik*. Universitas Diponegoro. Semarang. 2012
- [12]. Utomo, Nugroho. *Perancangan Inverter Jembatan Penuh dengan Rangkaian Pasif LC Beban Paralel*. Universitas Diponegoro. Semarang. 2013
- [13]. Mahardika, Tegar. *Perancangan Inverter Full Bridge Resonan Frekuensi Tinggi Untuk Aplikasi Induction Cooker*. Universitas Diponegoro. Semarang. 2013
- [14]. Atmaja, Gilang Surya. *Ballast Elektronik Lampu UV Bertopologi Inverter Setengah Jembatan Resonan LCC Frekuensi Tinggi*. Universitas Diponegoro. Semarang. 2014