

ANALISIS PERANCANGAN KONVERTER DC-AC *FULL-BRIDGE* FREKUENSI TINGGI RESONAN LCC BEBAN PARALEL

Suryo Sardi Atmojo^{*)}, Mochammad Facta, Karnoto

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

^{*)}E-mail: suryoatmojo23@gmail.com

Abstrak

Dunia industri belakangan banyak menghadirkan perkembangan dalam berbagai bidang yang memudahkan kehidupan manusia. Dalam perkembangannya menjadikan alat-alat elektronika juga semakin beragam. Salah satu alat elektronika yang kita kenal adalah Inverter, inverter sendiri merupakan sebuah konverter listrik searah (DC) menjadi bolak-balik (AC) dengan nilai voltase dan frekuensi keluaran sesuai kebutuhan. Dalam prakteknya konverter DC-AC terdapat banyak ragam, namun pada tugas akhir ini akan dilakukan analisa tentang konverter DC-AC full-bridge frekuensi tinggi resonan LCC beban paralel. Dengan frekuensi kerja yang tinggi diharapkan rangkaian lebih sederhana. Resonansi LCC sendiri merupakan gabungan dari resonansi seri dan resonansi paralel yang berfungsi sebagai trafo step-up. Konverter DC-AC ini akan digunakan sebagai catu-daya rangkaian LED yang dirangkai secara paralel. Hasil dari penelitian yang didapat menunjukkan rangkaian resonansi LCC beban paralel memiliki interval pita (bandwidth) resonansi yang lebar. Pada percobaan besar gain yang dihasilkan terpengaruhi oleh besarnya nilai tahanan beban. Terbukti saat diberi tahanan $4k7 \Omega$ tegangan yang dihasilkan sebesar 122,8 V dengan intensitas penerangan 604 lx, sementara pada gain $8k2 \Omega$ sebesar 139,7 V dengan intensitas penerangan sebesar 432 lx.

Kata kunci: inverter, konverter, LLC, gain

Abstract

Industrial world nowadays provides a lot of developments in many fields and many kinds of electronics instruments for supporting human lives. One of the common electronics equipment is inverter. Inverter is used to convert a direct current (DC) to alternating current (AC) with certain output voltage and frequency. In fact, DC-AC converter has many types, but in this project was analyzed about an LCC high resonance frequency full bridge DC-AC converter with parallel load. The electronics circuit can be simpler by this high frequency. LCC resonance itself is a combination of series and parallel resonance which the function as a step-up transformer. This DC-AC converter is used as the power supply for LEDs arranged in parallel. The result of this research showed that the parallel load LCC resonance has a wide bandwidth. From the experiment, the resulting gain is affected by the value of load resistance. It was recorded that by giving $4k7 \Omega$ load resistance then 122,8 Volt was produced about put side and it made LED lamp to glow with light intensity of 604 lux. The use of $8k2 \Omega$ load resistance resulted 139,7 Volt at LED lamp terminal and 432 lux was achieved.

Keywords: inverter, converter, LLC, gain

1. Pendahuluan

Belakangan banyak dunia industri yang terus berkembang di berbagai bidang, tentunya hal ini juga mampu membuat kehidupan manusia menjadi lebih mudah. Sejalan dengan kemajuan industri yang sangat pesat, maka perkembangan akan listrik sebagai sumber energi dalam pelaksanaan industri dan perumahan juga semakin berkembang. Dalam perkembangan barang – barang elektronika sendiri sangat pesat, beberapa faktor pendukungnya tentu saja

perkembangan alat – alat elektronika yang semakin beragam. Salah satu alat elektronika yang kita kenal adalah Inverter, Inverter sendiri adalah sebuah konverter listrik yang berfungsi mengkonversi tegangan arus searah (DC) menjadi tegangan arus bolak-balik (AC). AC yang dihasilkan olehnya bisa memiliki voltase dan frekuensi tertentu sesuai kebutuhan.

Dalam praktek konverter DC-AC banyak memiliki topologi dalam pengoperasiannya, seperti *Inverter square*

wave, inverter multilevel, inverter pure sine wave, inverter resonant, inverter grid tie, inverter synchronous, inverter stand-alone, inverter solar^[16]. Pada tugas akhir ini akan dirancang inverter resonan, tidak lain dalam pemilihan inverter jenis resonan ini adalah rangkaian yang sederhana, berukuran kecil namun memiliki kemampuan yang sama dengan topologi yang sebelumnya yang memiliki volume ukuran lebih besar.

Resonansi sendiri merupakan suatu peristiwa dimana nilai reaktansi induktif dan kapasitif memiliki nilai yang sama dan kemudian saling mengkompensasi sehingga impedansi pada suatu rangkaian RLC bisa menjadi sangat kecil^[15]. Apabila impedansi suatu rangkaian dapat dibuat menjadi begitu kecil, maka hal ini tidak hanya meningkatkan efisiensi rangkaian tersebut namun juga kemampuan penguatan tegangan dari rangkaian RLC^[11]. Kemampuan resonan dalam menghasilkan penguatan tegangan menjadi salah satu alternatif pengganti transformator penaik tegangan. Resonan konverter dapat dengan mudah mengatur frekuensi kerjanya, sehingga komponen L dan C yang digunakan bisa semakin kecil. Dengan nilai L dan C yang kecil memberikan peluang untuk mewujudkan peralatan konverter yang sederhana, dengan efisiensi yang baik.

Penelitian ini menggabungkan dua buah rangkaian resonansi yaitu rangkaian seri dan rangkaian seri beban paralel dengan konfigurasi rangkaian LCC dengan tujuan untuk memperoleh penguatan tegangan yang lebih tinggi dan mengurangi nilai L dan C yang digunakan^[17]. Selain itu pada penelitian ini dibahas bagaimana cara memperoleh persamaan untuk mencari penguatan tegangan yang dihasilkan oleh rangkaian resonan LCC. Pada penelitian ini terjadi penguatan tegangan yang cukup besar karena dapat menaikkan tegangan 18 V_{DC} menjadi 139,7 V_{AC} yang nantinya digunakan sebagai catu daya lampu LED.

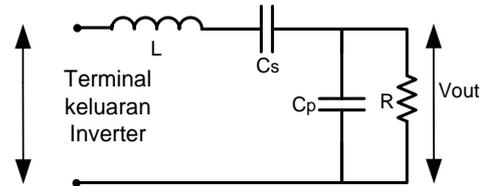
Untuk menyederhanakan permasalahan dari Tugas Akhir ini, maka diberikan batasan-batasan sebagai berikut:

1. Rangkaian pemucuan menggunakan IC TL494 karena pemucuan dengan IC TL494 besar duty cycle dapat di variasi.
2. Perangkat keras yang dibuat adalah berupa modul konverter DC-AC full-bridge frekuensi tinggi resonan LCC beban paralel karena resonan LCC merupakan penggabungan dari resonan seri dan paralel.
3. Inverter yang digunakan jenis jembatan penuh dengan frekuensi tinggi. Inverter ini memiliki efisiensi tegangan yang baik karena tegangan masukan sama dengan tegangan keluaran.
4. Penelitian berfokus pada bahasan dan analisis tentang aplikasi resonan LCC sebagai penaik tegangan karena untuk mendapatkan tegangan yang lebih tinggi bisa dilakukan dengan resonan LCC tanpa adanya trafo penaik tegangan, keluaran rangkaian digunakan sebagai suplai AC dan DC pada beban LED.

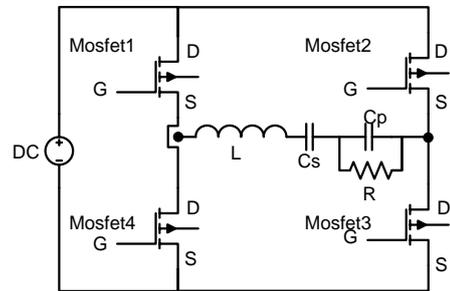
2. Metode

2.1. Resonan LCC

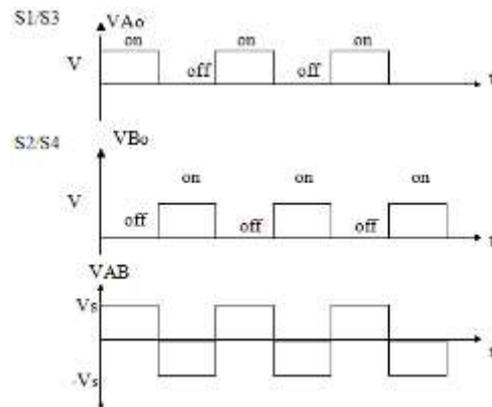
Penelitian ini akan merancang rangkaian dual resonan. Dimana rangkaian ini terdiri atas rangkaian resonan seri dan rangkaian resonan seri beban paralel.



Gambar 1. Rangkaian resonan LCC



Gambar 2. Inverter jembatan penuh resonan LCC beban paralel



Gambar 3. Bentuk gelombang switching Inverter Full-Bridge

Dari Gambar 1 dan menggunakan hukum kirchoff tegangan dapat diperoleh persamaan penguatan tegangan rangkaian resonan LCC yang dituliskan oleh persamaan.

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

Untuk mendapatkan komposisi antara frekuensi resonan, nilai induktor, kapasitor seri dan kapasitor paralel dapat dilakukan dengan menggunakan rumus (2)

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_s}}$$

Dengan rumus (2), tentukan besar frekuensi resonan dan nilai induktor untuk mendapatkan nilai kapasitornya.

2.1. Inverter Full-Bridge Frekuensi Tinggi Resonan LCC Beban Paralel

Rangkaian inverter jembatan penuh dengan rangkaian resonan LCC beban parallel dapat ditunjukkan oleh Gambar 2 (a). Rangkaian tersebut terdiri dari 4 buah MOSFET yang bekerja secara bergantian serta rangkaian resonan LCC beban paralel.

MOSFET dipicu dengan gelombang kotak secara bergantian oleh V_{GS1} , V_{GS3} dan V_{GS2} , V_{GS4} . Saklar S1, S3 dan S2, S4 secara bergantian ON dan OFF, dengan *duty ratio* 96%.

Pada saat dioperasikan pemucuan MOSFET oleh V_{GS1} , V_{GS3} dan V_{GS2} , V_{GS4} dapat diberikan *dead time*. *Dead time* adalah jarak waktu saat saklar dimatikan dengan pemucuan saklar yang lain. Hal ini dilakukan untuk mencegah agar tidak terjadi kondisi dimana keempat MOSFET dipicu secara bersama-sama. Jika ini terjadi, maka akan timbul hubung singkat pada rangkaian karena arus akan langsung mengalir dari positif ke negatif. Tahanan input R adalah beban AC dimana energi akan ditransferkan.

3. Hasil dan Analisa

3.1. Perancangan Rangkaian Kontrol

3.1.1. Suplai AC 1 Fasa

Sumber tegangan yang digunakan adalah tegangan AC 1 fasa yang berasal dari jala-jala PLN dengan tegangan $220V_{AC}$ dan frekuensi 50 Hz.

3.1.2. Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh Satu Fasa dengan Trafo CT

Rangkaian penyearah ini berguna untuk mensuplai tegangan masukan IC 494, driver isolator pulsa, kipas angina sebesar 12 V_{DC} . Gambar 5 adalah gambar rangkaian penyearah gelombang penuh satu fasa dengan trafo *center tap*. Rangkaian ini menggunakan sumber 12 V_{AC} yang disearahkan menggunakan 2 dioda 1N4002 menjadi 16,97 V. Tegangan tersebut kemudian difilter menggunakan kapasitor 2200 $\mu F/35V$ dan 100 $\mu F/35V$. Untuk menstabilkan menjadi 12 V_{DC} digunakan regulator LM7812.

$$V_{DC} = 1,2 \times 10 \text{ v/div}$$

$$V_{DC} = 12V$$

3.1.3. Rangkaian Kontrol IC TL494

Rangkaian kontrol ini berguna untuk memicu gate pada MOSFET inverter. Gambar 7 adalah perancangan rangkaian kontrol IC TL494.

Untuk menentukan nilai frekuensi, resistor, dan kapasitor maka digunakan persamaan berikut:

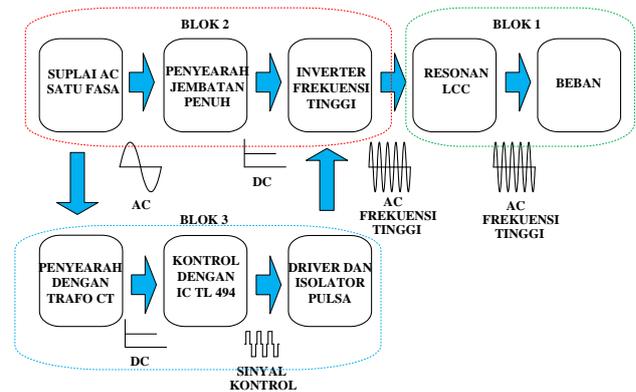
$$f_{osc} = \frac{1,1}{4,4 \times R_T \times C_1}$$

Dari persamaan diatas didapat nilai kerja frekuensi IC ini berkisar 12,5 kHz – 208 kHz, kapasitor 1 nF, resistor 1200 Ω dan resistor variabel 20k Ω .

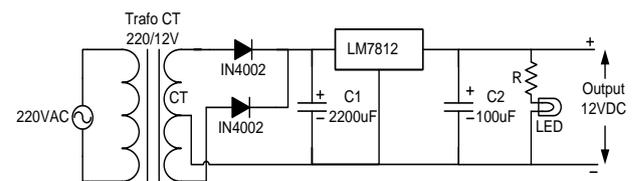
$$T = 3 \times 25 \mu \text{ t/div} = 75 \mu s$$

$$F = \frac{1}{T} = \frac{1}{75 \times 10^{-6}} = 13,33 \text{ kHz}$$

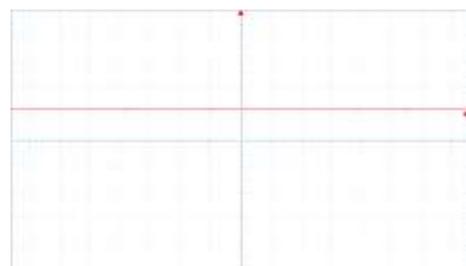
$$V = 1,2 \times 1 \times 10 = 12V$$



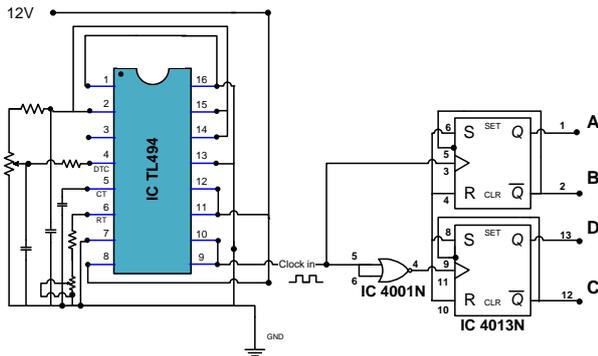
Gambar 4. Blok diagram perancangan alat



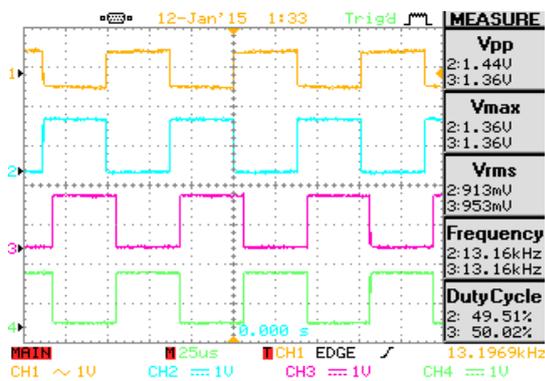
Gambar 5. Rangkaian Penyearah gelombang Penuh dengan CT



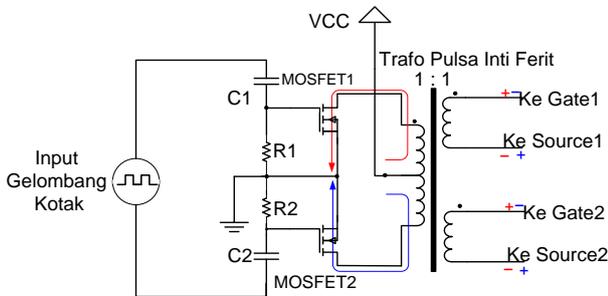
Gambar 6. Bentuk gelombang hasil pengujian tegangan keluaran regulator tegangan (V/div =10)



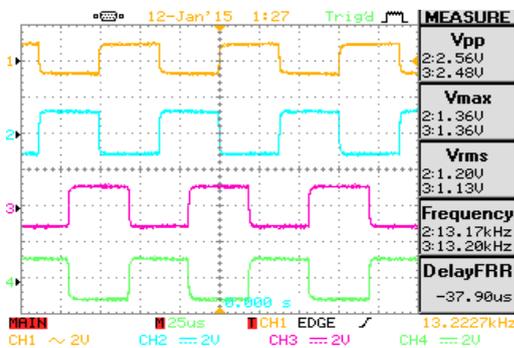
Gambar 7. Rangkaian kontrol IC TL494



Gambar 8. Bentuk gelombang hasil pengujian keluaran IC TL494 (V/div=1,t/div=25µs)



Gambar 9. Rangkaian Driver dan Trafo Pulsa



Gambar 10. Gelombang keluaran rangkaian driver dan trafo isolator pulsa (V/div=2,t/div=25µs)

3.1.4. Rangkaian Driver dan Trafo Isolator Pulsa

Rangkaian ini terdiri dari dua rangkaian, rangkaian *driver* dan trafo isolator pulsa. Rangkaian *driver* digunakan sebagai penguat sinyal keluaran dari IC TL494. Sedangkan rangkaian trafo isolator digunakan sebagai pelindung dari rangkaian kontrol dan rangkaian daya inverter. Gambar 9 adalah perancangan rangkaian *driver* dan trafo isolator pulsa. Rangkaian driver terdiri atas kapasitor 100nF, resistor 100kΩ dan MOSFET IRFZ44N. Trafo isolator pulsa terdiri atas 2 sisi, yaitu sisi primer dan sisi sekunder dengan jumlah lilitan yang sama, sehingga dapat menghasilkan tegangan pemicuan pada sisi sekunder yang sama dengan sisi primer.

$$T = 3 \times 25 \mu s / div = 75 \mu s$$

$$F = \frac{1}{T} = \frac{1}{75 \times 10^{-6}} = 13,33 kHz$$

$$V_{pp} = 1,2 \times 2 v / div \times 10 = 24V$$

3.2. Perancangan Rangkaian Daya

3.2.1. Penyearah Gelombang Penuh

Penyearah (rectifier) berfungsi untuk mengubah besaran AC menjadi besaran DC. Pada tugas akhir ini menggunakan penyearah gelombang penuh dengan menggunakan 4 diode yang dipasang pada sisi siklus positif dan sisi siklus negatif sisi sekunder trafo tap 18 V dan CT. Penyearah ini menggunakan masukan 18 V_{AC} yang kemudian dirubah menjadi 18V_{DC} dengan menggunakan *diode bridge* KBPC3510. Fungsi pemasangan dua buah kapasitor dengan kapasitas 330µF/400V dan 330µF/400V adalah untuk menghilangkan *ripple* sehingga menjadi DC murni.

$$V_{DC} = 2,3 \times 10 v / div = 23V$$

3.2.2. Rangkaian Inverter Full-Bridge Frekuensi Tinggi

Inverter yang digunakan adalah rangkaian inverter *Full-Bridge* frekuensi tinggi seperti pada Gambar 12. Yang perlu diperhatikan dalam pemilihan MOSFET untuk inverter adalah tegangan kerja dan arus kerja. Tegangan masukan inverter sebesar 18 V_{AC} dan arus sebesar kerja 0,36 Ampere. Maka MOSFET yang digunakan adalah IRFP460. Berikut adalah spesifikasi dari MOSFET IRFP460:

- Drain - source breakdown voltage : 500 V
- Gate - source breakdown voltage : ±20 V
- Gate - threshold voltage : 2-4 V
- Continuous Drain Curren (TC=25°C) : 20 A
- Continuous Drain Curren (TC=100°C) : 12 A

$$V_{pp} = 4,6 \times 10 \text{ v/div} = 46V$$

$$V_{maks} = \frac{V_{pp}}{2} = \frac{46}{2} = 23V$$

3.3. Perancangan Rangkaian Resonan LCC Beban Paralel

Dalam buku Power Electronics Circuit, Device, and Application^[2], terdapat pembahasan tentang respon frekuensi terhadap kenaikan tegangan. Gambar 10 adalah rangkaian ekuivalen rangkaian resonan LCC beban paralel.

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

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

Di dalam tugas akhir ini, nilai induktor yang akan digunakan memiliki nilai 0,85 mH. Perencanaan frekuensi maksimal untuk menaikkan tegangan terletak pada titik 50 kHz. Maka didapat nilai kapasitor yang akan digunakan adalah:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_s}}$$

$$50 \times 10^3 = \frac{1}{2\pi\sqrt{0,85 \times 10^{-3} \times C}}$$

Maka didapatkan nilai C sebesar:

$$C = 11,93 \text{ nF}$$

Nilai 11,93 nF ini merupakan rangkaian seri dari C_s dan S_p , jadi nilai masing-masing 23,68 nF. Dengan nilai yang sama dipasaran tidak ditemukan nilai kapasitornya, Oleh karenanya dilakukan modifikasi dari 3 kapasitor 10 nF yang dirangkai seri dan diparalel dengan kapasitor 20 nF, maka didapat kapasitor sebesar 23,3 nF.

Dengan perubahan nilai kapasitor ini menyebabkan pergeseran nilai frekuensi sebesar:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{0,85 \times 10^{-3} \times 11,66 \times 10^{-9}}}$$

$$f_r = 50,5 \text{ kHz}$$

Maka didapat nilai frekuensi penguat tegangan pada titik 50,5 kHz. Sebelum membuat perangkat keras, maka dilakukan simulasi sebagai acuan dalam pembuatan.

3.3.1. Simulasi Perancangan Rangkaian Resonan LCC Beban Paralel

Untuk mengetahui karakteristik dan frekuensi respon dari resonan LCC, dibutuhkan suatu simulasi dengan software PSpice. Gambar 14 adalah hasil dari simulasi dengan

menggunakan software PSpice dengan besar komponen $R=1 \text{ k}\Omega$, $L=0,85 \text{ mH}$, $C_s=23,33 \text{ nF}$, $C_p=23,33 \text{ nF}$. Dari Gambar 11 dapat dilihat, bahwa gelombang rangkaian resonan LCC terjadi puncak penguat tegangan yaitu pada titik frekuensi 50.005 kHz dengan tegangan 164,567 V.

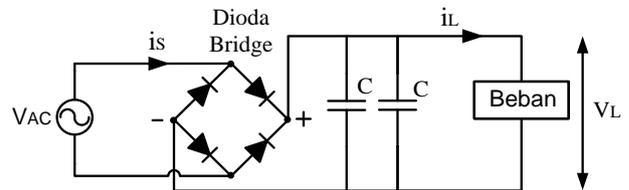
$$V_{pp} = 4,4 \times 10 \text{ v/div} \times 10 = 440V$$

$$V_{maks} = \frac{440}{2} = 220V$$

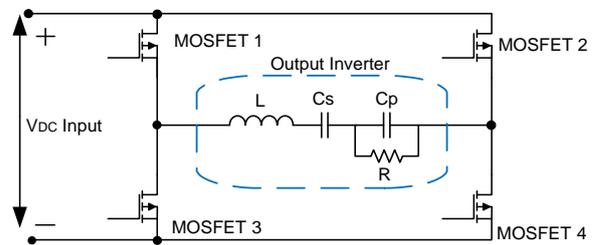
$$V_{rms} = \frac{220}{\sqrt{2}} = 155,56V$$

$$T = 2,3 \times 10 \mu \text{ s/div} = 23 \mu \text{ s}$$

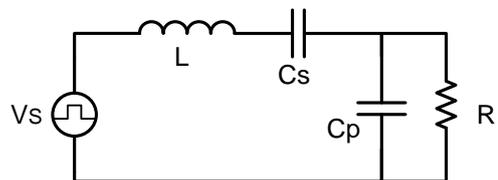
$$F = \frac{1}{T} = \frac{1}{23 \times 10^{-3}} = 43,47 \text{ kHz}$$



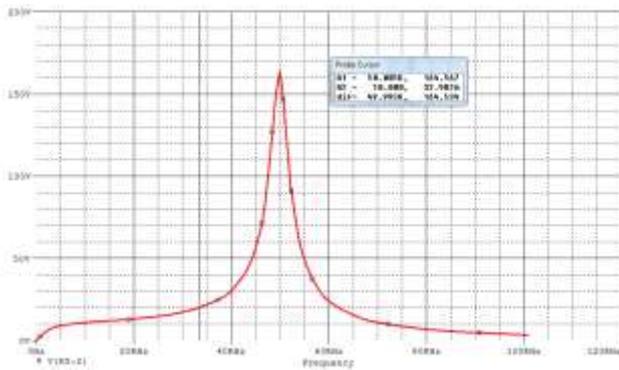
Gambar 11. Rangkaian penyearah gelombang penuh



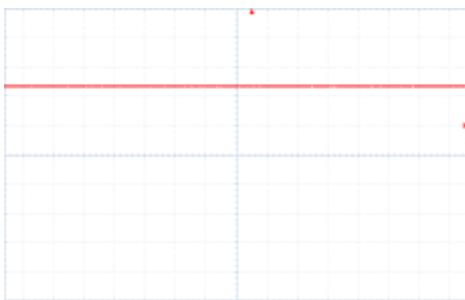
Gambar 12. Rangkaian Inverter Full-Bridge frekuensi tinggi



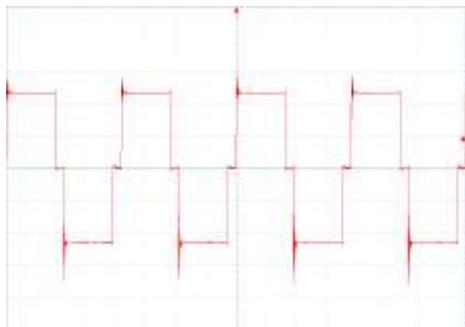
Gambar 13. Rangkaian resonan LCC beban paralel



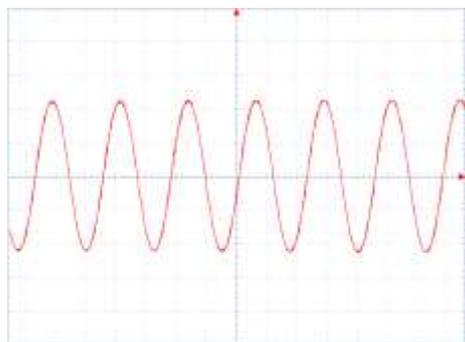
Gambar 14. Grafik hasil simulasi menggunakan PSpice



Gambar 15. Rangkaian pengujian gelombang keluaran 18 V_{AC} Trafo CT



Gambar 16. Gelombang keluaran inverter tipe jembatan penuh (V/div=10)



Gambar 17. Gelombang pengujian tegangan saat $f_o=f_r$ (V/div=10,t/div=10µs)

3.4. Pengujian Perhitungan Tegangan Keluaran Rangkaian Resonansi LCC

Tabel 1. Perhitungan tegangan keluaran rangkaian resonansi LCC beban paralel variasi gain

Frekuensi (Hz)	100Ω	220Ω	470Ω	1000Ω	2k2Ω
30000	15.45	16.78	17.09	17.17	17.17
33000	18.99	19.38	19.46	19.48	19.48
36000	22.78	22.82	22.83	22.84	22.84
39000	25.38	27.45	27.94	28.05	28.06
42000	25.02	33.35	36.35	37.12	37.19
45000	22.12	38.94	51.45	56.23	56.71
48000	18.61	39.61	74.65	112.23	118.91
51000	15.54	33.97	70.66	135.26	154.23
54000	13.10	26.86	45.56	59.31	61.18
57000	11.19	21.15	30.59	35.07	35.56
60000	9.70	16.99	22.32	24.34	24.54

Tabel 1. di dapat dari hasil perhitungan persamaan (1) dengan memasukkan nilai komponen $L= 0,85 \text{ mH}$, $C_S=23,86 \text{ nF}$, $C_P=23,86 \text{ nF}$ dan R variasi masing-masing 100 Ω, 220 Ω, 470 Ω, 1 k Ω, 2k2 Ω.

$$\frac{V_{Out}}{V_{in}} = \frac{1}{1 - \omega^2 LC_P + \frac{C_P}{C_S} + \frac{j\omega L}{R} - \frac{j}{j\omega C_S R}}$$

Dari data Tabel 1 dapat disajikan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 18. Terlihat semakin besar nilai tahanan paralel tegangan keluaran yang dihasilkan akan semakin besar, ditandai pada tahanan 2k2 Ω tegangan yang dihasilkan sebesar 197,86. Sementara pada tahanan 1k Ω dihasilkan tegangan hanya sebesar 164,86.

Tabel 2. Perbandingan Perhitungan dan pengukuran tegangan keluaran

Frek (kHz)	220		470		1000	
	ukur	hitung	ukur	hitung	ukur	hitung
30	18.6	16.77	18.37	17.09	18.97	17.16
33	20.98	19.38	21.52	19.46	21.66	19.48
36	24.64	22.82	25.47	22.83	26.5	22.83
39	28	27.45	33.9	27.94	37.15	28.05
42	27.7	33.35	42.6	36.35	63.81	37.12
45	26.3	38.94	44.9	51.44	69.05	56.22
48	21.51	39.61	34.2	74.64	44.48	112.22
54	14.9	26.86	20.55	45.55	22.54	59.31
57	12.55	21.14	16.1	30.59	17.26	35.07
60	10.33	16.99	12.89	22.32	13.3	24.33

Pada Tabel 2. perbandingan antara perhitungan dan pengukuran tegangan yang dihasilkan terdapat selisih besar tegangan keluaran. Dimana besar tegangan hasil perhitungan lebih besar dibanding hasil pengukuran. Perbedaan ini disebabkan karena adanya efek parasitik, rugi-rugi yang terjadi pada rangkaian, perubahan nilai induktor, kapasitor dan resistor yang dalam simulasi memakai perangkat lunak PSpice tidak memperhitungkan nilai-nilai tersebut.

3.5. Pengujian Tegangan Keluaran Rangkaian Resonan LCC Beban LED

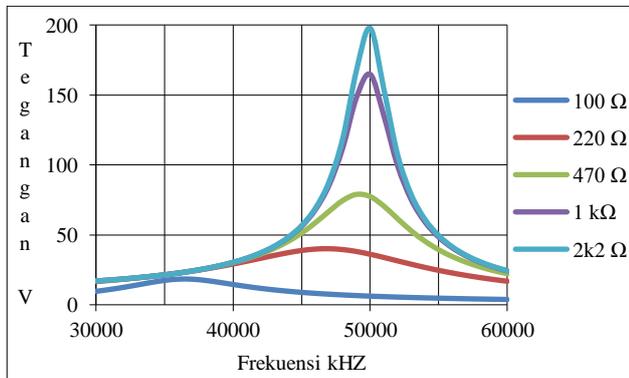
3.5.1. Pengujian Respon Frekuensi Terhadap Tegangan Keluaran Variasi Gain

Pada subbab ini akan dilihat bagaimana respon tegangan keluaran Inverter resonan LCC beban LED dengan variasi gain. Pengujian dilakukan dengan melakukan variasi gain sebesar 4k7 Ω dan 8k2 Ω. Pengukuran intensitas penerangan dilakukan dengan LUX meter dengan jarak objek sebesar 30 cm.

Tabel 3. Perbandingan tegangan keluaran Gain 4k7 Ω dengan 8k2 Ω

Frekuensi (kHz)	Gain 4k7 Ω		Gain 8k2 Ω	
	Vout (V)	Intensitas penerangan (lx)	Vout (V)	Intensitas penerangan (lx)
38	40.2	158	40	83
40	63.3	270	59.2	163
42	104.8	481	118.7	376
43	122.3	542	123.8	416
44	122.8	604	139.7	432
45	99.9	520	116.4	365
46	82.4	426	86.9	317
47	58.3	294	62.2	206
49	45.2	230	43.8	133
51	32.4	114	33.3	73

Dari data Tabel 3 dapat dianalisa dimana tegangan yang dihasilkan gain 8k2 Ω lebih besar daripada tegangan pada gain 4k7 Ω. Tetapi besar intensitas penerangan yang dihasilkan gain 4k7 jauh lebih besar dibanding gain 8k2.



Gambar 18. Grafik perhitungan keluaran antara Frekuensi dan tegangan

3.5.2. Pengujian Respon Duty Cycle Terhadap Tegangan dan Intensitas Penerangan

Tabel 4 merupakan data dari pengukuran rangkaian resonan LCC beban LED variasi gain 4k7 Ω dengan jarak pengukuran antara objek dengan alat ukur sebesar 30 cm.

Tabel 4. Pengujian variasi duty terhadap tegangan keluaran dan nyala LED

Duty cycle (%)	Vout (V)	Iout (A)	Vin (V)	Iin (A)	Intensitas penerangan (lx)
20	42.1	0.0066	22.6	0.08	175
30	58.4	0.0112	22	0.15	270
40	70.1	0.01418	21.4	0.21	375
50	84.4	0.01738	21	0.29	411
60	99.8	0.02032	20.5	0.37	420
70	106.8	0.02207	19.8	0.43	523
80	112.4	0.02378	19.5	0.49	610
90	119.5	0.0257	19.3	0.52	613

3.6. Pengujian Penyearahan Tegangan Keluaran Rangkaian Resonan LCC dengan Beban LED

3.6.1. Pengujian Respon Frekuensi

Tabel 5. Pengujian tegangan penyearahan rangkaian resonan LCC beban LED variasi frekuensi

Frekuensi (kHz)	Vout (V)	Iout (A)	Vin (V)	Iin (A)	Intensitas penerangan (lx)
38	45.7	0.0245	21.6	0.1	1130
40	60.7	0.0434	20.7	0.23	1860
42	70.3	0.0552	20.5	0.33	2220
43	73.4	0.0595	20.2	0.36	2380
44	71.4	0.0566	20.3	0.33	2250
45	66.7	0.0515	20.5	0.29	2030
46	62.8	0.0455	20.8	0.25	1980
47	56.8	0.0387	21.1	0.19	1760
49	45.8	0.0257	21.7	0.12	1360
51	38.5	0.0156	22.2	0.07	940

Dari data Tabel 5 besar tegangan penyearahan keluaran rangkaian resonan LCC sangat berpengaruh pada intensitas penerangan lampu LED. Berdasarkan pengujian, frekuensi resonan terletak pada frekuensi 43 kHz. Pada kondisi ini terlihat tegangan yang dihasilkan adalah yang paling besar yakni 73,4 V dengan arus sebesar 59 mA dengan nyala lampu LED yang paling terang dan dengan intensitas cahaya yang terukur bernilai 2380 lx.

3.6.2. Pengujian Respon Duty Cycle

Tabel 6 Pengujian tegangan penyearahan rangkaian resonan LCC beban LED variasi duty

Duty cycle (kHz)	Vout (V)	Iout (A)	Vin (V)	Iin (A)	Intensitas penerangan (lx)
20	36.3	0.0149	22	0.06	820
30	46.3	0.026	21.7	0.11	1280
40	53.6	0.0342	21.2	0.16	1650
50	60.1	0.0412	20.8	0.22	2040
60	64.4	0.0466	20.4	0.26	2100
70	68.1	0.0525	20.3	0.31	2400
80	70.9	0.0561	20.1	0.34	2510
90	72.6	0.0582	20	0.36	2600

Dari Tabel 6 diatas dapat diketahui, makin besar *duty cycle* makin besar pula tegangan masukan lampu LED. Makin besar tegangan masukan rangkaian LED, nyala lampu juga makin terang. Terlihat dari tabel 6 tegangan masukan lampu LED paling besar adalah pada *duty cycle* 90% yakni sebesar 72,6 V. Begitu pula pada intensitas yang dihasilkan paling besar adalah pada kondisi *duty cycle* 90% yang mencapai nilai 2600 lx. Percobaan ini dilakukan pada frekuensi kerja resonan.

4. Kesimpulan

Rangkaian resonan LCC memiliki interval pita (bandwidth) resonan yang lebar karena sifat dari penggabungan antara resonan seri dan paralel. Besar penguatan tegangan yang dihasilkan terpengaruh oleh besarnya nilai tahanan beban. Tegangan yang dihasilkan berbanding lurus dengan nilai *duty cycle*. Dimana semakin besar nilai *duty cycle* yang diberikan tegangan keluaran semakin maksimal. Pada *duty cycle* 50 % tegangan sebesar 84,4 V, *duty cycle* 80 % sebesar 112,4 V dan pada *duty cycle* 90 % sebesar 119,5 V.

Referensi

- [1]. Tobing, Bonggas L., *Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi*, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 2003.
- [2]. Edminister, Joseph A, Mahmood Navi. *Rangkaian Listrik Edisi keempat*. Jakarta, Erlangga. 191-192, 7-8
- [3]. Mahardika, Tegar. *Perancangan Inverter Fullbridge Resonansi Seri Frekuensi Tinggi untuk Aplikasi Induction Cooker*. Universitas Diponegoro, Semarang 2013.
- [4]. Wardhana, Ibnu Surya. *Perancangan Inverter Push Pull Resonan Paralel pada Aplikasi Fotovoltaik*. Universitas Diponegoro, Semarang 2012.
- [5]. Dwi Praditya, Bagas, *Perancangan Inverter Dual Conversion Full Bridge-Full Bridge pada Aplikasi Fotovoltaik*. Universitas Diponegoro. 2011.
- [6]. Balogh Laszlo, *Design And Application Guide For High Speed MOSFET Gate Drive Circuits*.
- [7]. Pratama. Pandu Sandi, Agung Warsito, Karnoto, *Perancangan Inverter Resonan Seri Frekuensi Tinggi Sebagai Suplai Pemanas Induksi Pada Alat Pemanas Bearing*, Universitas Diponegoro, 2010.
- [8]. Nugraha. Alberth Z, Agung Warsito, Abdul Syakur, *Perancangan Modul Inverter Frekuensi Tinggi Sebagai Pemanas Induksi Untuk Aplikasi Pengereng Pakaian*, Universitas Diponegoro, 2010
- [9]. M. Rashid, *Power Electronics Circuit, Device, and Application 2nd*, Prentice-Hall International Inc, 1988.
- [10]. Safarudin, Yanuar Mahfudz. *Perancangan Modul Praktikum Inverter Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM) 2 Level, 3 Level dan Sinusoidal*, Universitas Diponegoro, Semarang . 2013
- [11]. Ramdhani, Mohamad. Rangkaian Listrik.
- [12]. Saputro, Jimmy Harto. *Analisa Penggunaan Lampu LED Pada Penerangan Dalam Ruangan*. Universitas Diponegoro. 2012.
- [13]. Margaranu, Fitriani Panji. Simulasi Dan Analisis Load Resonan & Quasi Resonant Dc-Dc Converters Dengan Psim Versi 4.1. Universitas diponegoro. 2008
- [14]. Batarseh, Issa. Resonant Converter Topologies with Three and Four Energy Storage Elements. IEEE Transaction On Power Electronics. Vol 9. No. 1. January 1994.
- [15]. Nugraha, Dionnius. *Analisis Inverter Dual Resonan Sebagai Catu Daya Lampu LED*, Universitas Diponegoro, 2012
- [16]. Loo, K. H., Y. M. Lai, and Chi K. Tse. "Design and Analysis of Resonant Network for Quasi-Lossless Current Balancing in Multistring AC-LED Array." *Power Electronics, IEEE Transactions on* 28.2 (2013): 1047-1059.
- [17]. Oklilas, Ahmad Fali. *Elektronika Dasar*. Universitas Sriwijaya. Palembang. 2006
- [18]. Loo, K. H., Y. M. Lai, and C. K. Tse. "Design considerations of a half-bridge LCC inverter with current balancing for AC-LED." *IECON 2012-38th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*. IEEE, 2012.