

ANALISIS INVERTER DUAL RESONAN SEBAGAI CATU DAYA LAMPU LED

Dionisius Vidi Nugraha^{*)}, Mochammad Facta, and Agung Warsito

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

^{*)}E-mail : *Dionisiusvidi@yahoo.com*

Abstrak

Perkembangan teknologi mengharuskan topologi rangkaian yang lebih sederhana, berdimensi lebih kecil dan dihasilkan dengan biaya produksi yang rendah, namun tidak mengesampingkan nilai efisiensi. Banyak penelitian menunjukkan dengan memanfaatkan frekuensi tinggi, nilai induktor (L) dan kapasitor (C) yang digunakan dapat dikurangi. Nilai L dan C yang semakin kecil, membuat topologi rangkaian bisa lebih sederhana secara ukuran dan biaya yang dibutuhkan untuk memperoleh nilai tersebut bisa ditekan. Salah satu metode bisa digunakan adalah menggunakan metode resonan konverter. Metode ini memanfaatkan peristiwa resonansi pada rangkaian RLC. Impedansi yang minimal saat resonansi pada rangkaian RLC dapat meningkatkan efisiensi dan menguatkan tegangan keluaran konverter. Penelitian ini menggunakan topologi rangkaian dual resonan. Tujuan penggunaan rangkaian dual resonan agar bisa diperoleh penguatan tegangan yang lebih tinggi dan sebisa mungkin meminimalkan penggunaan nilai L dan C. Hasil pengujian menunjukkan ketika inverter dual resonan ini dioperasikan pada frekuensi resonansinya yakni 21kHz, duty cycle sebesar 50% dengan tegangan masukan sebesar 12 Volt AC alat ini mampu menghasilkan tegangan keluaran mencapai 220 Volt AC. Lampu LED yang dicatu dengan tegangan 220 Volt ini mampu menghasilkan intensitas cahaya sebesar 33 lx dan besar energi yang mampu dipancarkan mencapai 0,7 W/m².

Kata kunci: Penguat tegangan, inverter dual resonan, lampu LED,

Abstract

In line with the development of technology, it is expected to produce a simpler circuit topology, with smaller dimensions, low cost production, and good efficiency. Many research are show if that the use of high frequency can reduce the value and dimension of inductor and capacitor inside the converter. The smaller inductor and capacitor value makes the converter topology simpler and it could minimize the production cost. One method that could be used is the application of resonant converter method. It utilize the resonance process at RLC circuit. The low impedance at resonance could increase the converter efficiency and amplify the output voltage. This research applies topology of dual resonant. The purpose of the use of dual resonant circuits is to obtained the higher voltage gain and to minimize the value of L and C. The experimental result shows, that the dual resonant converter was succesfully to be operated as its resonance frequency, 21kHz, duty cycle 50% with the input voltage 12 Volt AC. At this condition the converter could produce the output voltage 220 Volt AC. LED lamp which supplied by this 220 Volt output could produce light intensy 33 lx and irradiance the energy 0,7 W/m².

Keywords : voltage amplifier, dual resonant inverter, LED lamp,

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi konverter yang semakin pesat mengharuskan perkembangan topologi rangkaian yang lebih sederhana, berukuran lebih kecil, dan dihasilkan dengan biaya produksi yang rendah (*low budget*) namun memiliki kemampuan yang sama dengan topologi sebelumnya yang memiliki volume ukuran lebih besar.

Banyak penelitian menyebutkan dengan memanfaatkan frekuensi tinggi, nilai induktor (L) dan kapasitor (C) yang digunakan dapat dikurangi sehingga volume induktor dan kapasitor dapat diperkecil. Dengan semakin kecil nilai L dan C yang digunakan, topologi rangkaian bisa menjadi lebih sederhana secara ukuran, selain itu dengan semakin kecil nilai L dan C yang digunakan, biaya yang dibutuhkan untuk memperoleh nilai tersebut juga bisa semakin ditekan. Penekanan terhadap biaya produksi

membuat peralatan konverter bisa menjadi lebih ekonomis^[1].

Salah satu metode yang dapat digunakan agar dapat diperoleh peralatan konverter yang sederhana, dengan ukuran semakin padat (*compact*) namun memiliki ekonomis dan efisiensi yang baik adalah dengan menggunakan teknologi resonan converter^[1].

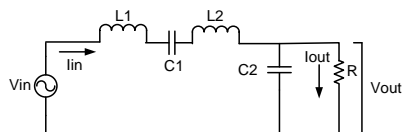
Resonansi sendiri merupakan suatu peristiwa dimana nilai reaktansi induktif dan kapasitif memiliki nilai yang sama dan kemudian saling mengkompensasi sehingga impedansi pada suatu rangkaian RLC bisa menjadi sangat kecil^{[2][3][4][6]}. Apabila impedansi suatu rangkaian dapat dibuat menjadi begitu kecil, tidak hanya peningkatan efisiensi rangkaian yang mampu diberikan namun juga kemampuan penguatan tegangan dari rangkaian RLC^{[3][4]}.

Kemampuan penguatan tegangan yang dapat berikan oleh resonan konverter bisa menjadi salah satu alternatif pengganti transformator penaik tegangan. Resonansi konverter memungkinkan penggunaan frekuensi tinggi sebagai frekuensi kerjanya, sehingga nilai komponen L dan C yang digunakan dapat dikurangi^[1]. Melalui nilai L dan C yang lebih kecil memberikan peluang untuk mewujudkan peralatan konverter yang sederhana, namun memiliki nilai ekonomis dan efisiensi yang lebih baik^[1]. Keunikan dari resonan konverter inilah yang menjadi dasar alasan mengapa dipilih sebagai topik Tugas Akhir yang dikerjakan.

2. Metode

2.1 Persamaan Penguat Tegangan Rangkaian Dual Resonan

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



Gambar 1 Rangkaian Dual Resonan

Dari Gambar 1 dan menggunakan hukum kirchoff tegangan dapat diperoleh persamaan penguatan tegangan rangkaian dual resonan yang dituliskan oleh persamaan (1)

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{1 - \omega^2(L_1 C_2 + L_2 C_2) + \frac{j\omega(L_1 + L_2) + C_2}{C_1} - \frac{j}{\omega C_1 R}} \quad (1)$$

Diinginkan frekuensi resonansi yang bekerja pada rangkaian dual resonan adalah sebesar 21kHz dan kapasitor yang digunakan bernilai 100 nF. Menggunakan Persamaan (2) dapat dihitung besar nilai induktor yang akan digunakan pada rangkaian dual resonan.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2)$$

$$L_1 = \frac{1}{2\pi f_0^2 C_1}$$

$$L_1 = \frac{1}{(2\pi \times 21 \times 10^3)^2 \times 100 \times 10^{-9}} = 0,56 \text{ mH}$$

Setelah menentukan besar frekuensi, induktor dan kapasitor yang akan digunakan dapat dilakukan perhitungan besar penguatan tegangan pada rangkaian dual resonan. Menggunakan Persamaan (1)

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{1 - 1,739 \times 10^{10} (112 \times 10^{-12}) + 0,0147j + 1 - \frac{j}{131,88}}$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{0,0528} = 18,93 \text{ maka } V_o = V_i \times 18,93$$

Dari hasil perhitungan diketahui pada saat resonansi penguatan tegangan yang mampu dihasilkan adalah 18,93 x dari V_{input} . Apabila tegangan output yang dibutuhkan untuk mencatu lampu LED adalah sebesar 220 Volt AC, maka tegangan masukan yang dibutuhkan rangkaian ini adalah:

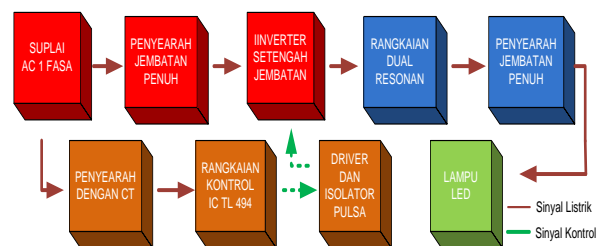
$$V_{input} = V_{output} / \text{Gain}$$

$$V_{input} = 220 / 18,93 = 11,62 \text{ V dibulatkan } 12 \text{ V.}$$

Setelah diketahui tegangan masukan rangkaian dual resonan yang diinginkan serta frekuensi kerja yang diharapkan, dilakukan perancangan *inverter halfbridge* sebagai masukan rangkaian dual resonan.

2.2 Perancangan Power Supply untuk Inverter

Perancangan *inverter* frekuensi tinggi ini tersusun dari beberapa blok utama yaitu sumber tegangan AC, sumber tegangan DC, rangkaian kontrol dan *driver*, rangkaian daya *inverter*. Blok diagram keseluruhan dari inverter jembatan penuh dan plan dapat dilihat pada Gambar 2 berikut ini.



Gambar 2 Blok diagram perancangan alat

2.3 Suplai AC Satu Fasa

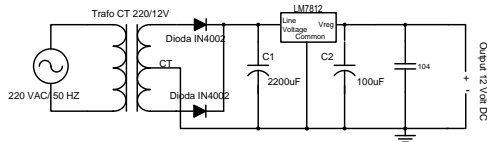
Sumber tegangan yang digunakan yaitu tegangan yang bersumber pada jala-jala PLN atau sering dikatakan sebagai tegangan bolak-balik dengan tegangan 220 Volt dan frekuensi 50 Hz. Dan diturunkan menjadi 18 volt dengan trafo CT *step down*.

2.4 Perancangan Penyearah (Rectifier)

Penyearah (*Rectifier*) berfungsi untuk mengubah tegangan bolak-balik (AC) menjadi tegangan searah (DC). Pada tugas akhir ini, penyearah ini berfungsi sebagai penyedia suplai tegangan DC untuk rangkaian *inverter half bridge* dan untuk rangkaian kontrol. Untuk suplai rangkaian kontrol, diperlukan +12 Vdc tetapi sebagai inputan *inverter half bridge* tegangan jala-jala dari PLN 220 Volt diturunkan menjadi 18 Vac dengan trafo CT dan disearahkan menggunakan dioda *full-bridge* dengan tapis kapasitor

2.4.1 Perancangan Penyearah Rangkaian Kontrol

Penyearah rangkaian kontrol digunakan penyearah gelombang penuh dengan trafo *center tap*. Pada penyearah ini digunakan dua diode untuk menyerahkan hasil keluaran dari trafo *center tap*^[7]

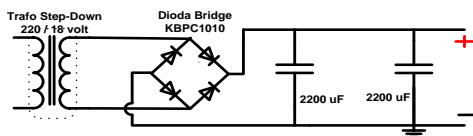


Gambar 3 Penyearah menggunakan 2 buah dioda dengan *center tap*

Tegangan 12 Vac ketika disearahkan akan menjadi lebih besar yaitu 16,97 Vdc. tetapi rangkaian kontrol membutuhkan tegangan masukan sebesar 12 V untuk power suplai IC TL494 dan sebagai input MOSFET *driver*. Untuk menjaga tegangan VDC tetap stabil ± 12 Volt maka hasil keluaran dioda diberikan regulator LM7812 untuk meregulasi tegangan dari 16,97 V menjadi 12 V.

2.4.2 Perancangan Penyearah Rangkaian Daya

Pada penyearah rangkaian daya digunakan dioda *fullbridge* yang diberi tapis kapasitor. Rangkaian ini ditunjukkan oleh Gambar 4



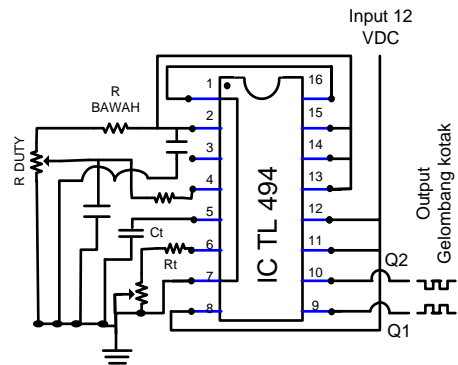
Gambar 4 Penyearah rangkaian daya

Sumber tegangan AC langsung dari jala-jala PLN 220VAC/50Hz diturunkan menjadi 18 VAC maka agar gelombang DC memiliki keluaran DC sempurna tapis gelombang keluaran digunakan kapasitor. Kapasitor ini diperlukan untuk menghaluskan/meratakan gelombang keluaran DC^[8].

2.5 Perancangan Rangkaian Kontrol dan Rangkaian Driver

2.5.1 Rangkaian Kontrol

Rangkaian kontrol diperlukan 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 TL 494.



Gambar 5 Skema rangkaian kontrol

Inverter yang dibuat dapat dioperasikan pada *range* frekuensi 10 kHz – 40 kHz. Hal ini didasarkan oleh hasil simulasi Pspice yang telah dilakukan, oleh sebab itu perlu ditentukan nilai resistor (R_t) dan kapasitor (C_t) yang akan digunakan sebagai pengatur besar frekuensi keluaran. Persamaan untuk mencari frekuensi kerja yang ada pada *datasheet* IC TL 494 dituliskan oleh Persamaan (3)

$$f = \frac{1,1}{R_t C_t} \quad (3)$$

Kapasitor yang digunakan sebesar 10 nF sehingga nilai resistor adalah

$$R_t = \frac{1,1}{C_t \cdot f_{osc}} \quad (4)$$

Pada frekuensi maksimal 40 kHz

$$R_t = \frac{1,1}{10 \cdot 10^{-9} \cdot 40 \cdot 10^3} = 2750 : 2 = 1375 \Omega$$

Pada frekuensi minimal 10 kHz

$$R_t = \frac{1,1}{10 \cdot 10^{-9} \cdot 10 \cdot 10^3} = 11.000 : 2 = 5500 \Omega$$

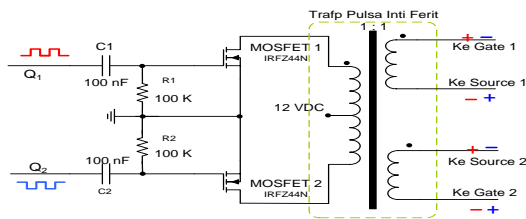
Kemudian dengan menyesuaikan komponen yang tersedia dipasaran yaitu :

- CT : 10 nF
- RT : 1000 Ohm
- V_R : 5 KOhm

Output gelombang kotak dari rangkaian IC TL494 ini dapat dilihat pada kaki 9 dan 10. Karena kaki 13 dan 14 dihubungkan, maka ic ini bekerja dengan sistem operasi *push-pull*. Q₁ dan Q₂ sebagai output IC bersifat *complement* atau saling berkebalikan.

2.5.2 Rangkaian Driver dan Trafo Isolator

Rangkaian driver dan trafo isolator pulsa berfungsi untuk mengendalikan MOSFET pada rangkaian daya *inverter*.

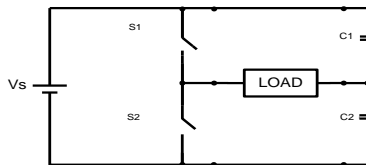


Gambar 6 Rangkaian Driver dan Trafo isolator

Rangkaian driver dan trafo isolator pulsa ini mendapat sinyal masukan dari kaki 9 dan kaki 10 IC TL 494 yang berupa gelombang kotak namun berkebalikan (*complement*). Sinyal masukan bernilai positif 12 Volt kemudian dengan rangkaian C dan R sinyal dirubah menjadi +6V dan -6V. Rangkaian RC ini juga berfungsi untuk menguatkan gelombang keluaran IC TL494 agar MOSFET driver dapat bekerja.

Trafo isolator pulsa yang digunakan memiliki perbandingan lilitan 1 : 1. Tujuan rasio trafo isolator pulsa yang digunakan sebesar 1:1 agar nilai sinyal masukan trafo dan sinyal keluaran trafo yang digunakan untuk memicu *Gate* pada MOSFET daya bernilai sama.

2.6 Perancangan Inverter Half-Bridge



Gambar 7 Skema inverter half-bridge

Skema rangkaian *inverter Half-Bridge* ditunjukkan oleh Gambar 7. Rangkaian ini terdiri atas 2 buah MOSFET sebagai komponen pensaklaran dan 2 buah kapasitor sebagai DC blocking.^[9]

$$V_0 = \left(\frac{2}{T_0} \int_0^{T_0/2} \frac{V_s^2}{4} dt \right)^{1/2} = \frac{V_s}{2} \quad (5)$$

Inverter half-bridge atau *inverter* setengah jembatan memiliki karakteristik, tegangan keluaran yang dihasilkan adalah separuh dari tegangan masukannya. Hal ini ditunjukkan oleh Persamaan (5)

2.7 Rangkaian Dual Resonan

Rangkaian dual resonan terdiri atas 2 buah induktor, 2 buah kapasitor dan 1 resistor. Nilai untuk setiap komponen disesuaikan dengan perancangan awal.

2.7.1 Induktor

Induktor dibuat menggunakan 4 buah kawat tembaga berdiameter 0,5 mm yang dipilin menjadi satu dan inti *ferite* yang digunakan adalah milik trafo *switching*. Inti *ferite* ini memiliki panjang 3 cm dan berdiameter 1,5 cm. Inti *ferite* ini tergolong tipe ETD-44^[5].

Dengan mengetahui tipe *ferite*, dapat diketahui indeks induktansi (A_L) dan kemudian dapat dihitung berapa jumlah belitan yang diberikan pada inti ferrit agar diperoleh induktor dengan induktansi 0,56 mH.

$$N = 1000 \sqrt{\frac{L}{A_L}} \quad (6)$$

Dimana ;

N = Jumlah lilitan

L = nilai induktansi (mH)

A_L = indeks induktansi (mH/1K)

2.7.2 Kapasitor

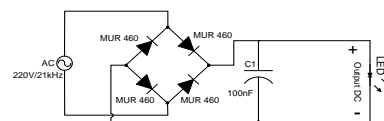
Kapasitor yang dibutuhkan untuk rangkaian dual resonan ini bernilai 100nF. Agar diperoleh nilai 100 nF dilakukan penggabungan 2 buah kapasitor secara paralel agar diperoleh nilai yang mendekati 100 nF.

2.7.3 Resistor

Berdasarkan perhitungan dan simulasi untuk memperoleh tegangan keluaran sebesar 220 Volt, nilai resistor yang diperlukan adalah 10 kOhm dan berjumlah 1 buah

2.8 Rangkaian Suplai Lampu LED

Lampu LED membutuhkan suplai DC agar dapat menyala, karena inverter dioperasikan pada frekuensi tinggi, maka diperlukan dioda penyearah yang mampu menyearahkan tegangan berfrekuensi tinggi tersebut.



Gambar 8 Rangkaian suplai LED

Rangkaian ini terdiri atas 4 dioda yang dirangkai membentuk konfigurasi penyearah jembatan penuh dan dilengkapi dengan kapasitor perata. Mengingat hasil penyearahan masih mengandung *ripple*.

2.9 Lampu LED^[10]

Lampu yang digunakan terdiri atas 36 LED^[10] yang disusun secara seri menyerupai lampu LED. Tegangan yang dibutuhkan lampu ini untuk menyala adalah sebesar 220 Volt DC.



Gambar 9 Rangkaian LED

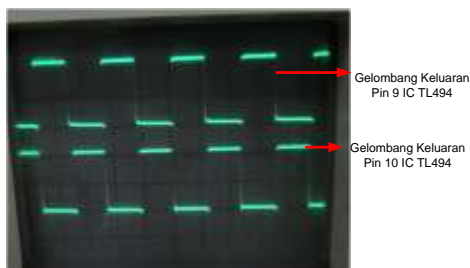
3. Hasil dan Analisa

Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian rangkaian penyusun perangkat keras, juga pengujian terhadap sistem keseluruhan.

3.1 Pengujian Gelombang Keluaran

A. IC TL 494

Gelombang keluaran hasil pengujian rangkaian kontrol IC TL494 dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 10 Gelombang keluaran IC TL494

Terlihat pada Gambar 10, terdapat 2 buah gelombang. Sisi atas menunjukkan gelombang keluaran IC TL494 yang diukur pada pin 9 dan sisi bawah diukur pada pin 10. Terlihat kedua gelombang berkebalikan (complement). Gelombang pada Gambar 9 memiliki tinggi sebesar 2,2 div dan diukur pada skala 5V/div, maka amplitudo gelombang tersebut adalah 11 Volt.

B. Driver dan Isolator Pulsa

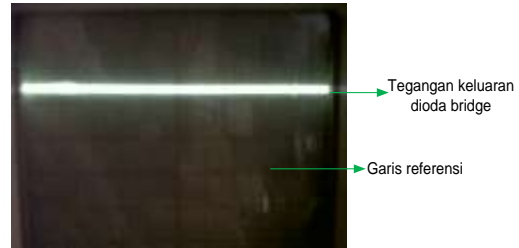


Gambar 11 Gelombang keluaran driver dan isolator pulsa

Gambar 11 menunjukkan gelombang keluaran rangkaian driver dan isolator pulsa. Terlihat pada Gambar 11 amplitudo gelombang bernilai 10Volt. Gelombang ini yang digunakan untuk memicu MOSFET pada rangkaian inverter. Batas tegangan pemicuan MOSFET IRFZ44N

adalah ± 20 V. Tegangan keluaran *driver* ini sudah cukup untuk memicu MOSFET pada rangkaian daya.

C. Penyearah Rangkaian Daya



Gambar 12 Gelombang DC masukan *Inverter Half Bridge*

Gambar 12 merupakan gelombang hasil pengujian penyearah pada rangkaian daya. Dari Gambar 12 diketahui amplitudo gelombang masukan *inverter half bridge* tersebut adalah sebesar $2,4 \text{ div} \times 1 \text{ Volt/div} \times 10 = 24$ Volt.

D. Inverter Half-Bridge

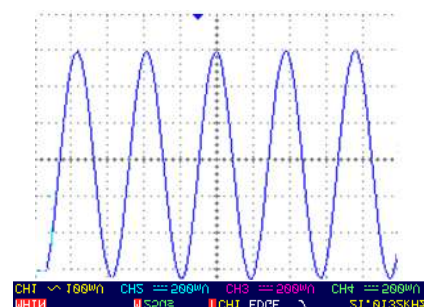


Gambar 13 Gelombang keluaran *inverter half-bridge*

Gambar 13 menunjukkan gelombang keluaran *inverter half-bridge*. Terlihat pula pada Gambar 12 amplitudo gelombang bernilai ± 12 Volt. Hal ini sudah sesuai dengan perancangan.

E. Rangkaian Dual Resonan

Pengujian ini dilakukan pada 3 titik frekuensi kerja yang berbeda, yakni sebelum resonan, saat resonan dan setelah resonan.



Gambar 14 Gelombang keluaran rangkaian dual resonan ketika dioperasikan pada frekuensi resonan

Dengan melihat Gambar 14 dapat diketahui nilai amplitudo gelombang tegangan keluaran saat resonan.

Dengan skala 100mV/div, besar tegangan keluaran :

$$V_{out\ maks} = 3,2 \times 100mV/div \times 1000 = 320\ Volt.$$

$$V_{rms} = 320/\sqrt{2} = 226,9\ Volt.$$

Untuk mengetahui kesesuaian dengan teori yang digunakan, dilakukan perhitungan untuk memperoleh besar tegangan keluaran saat resonansi menggunakan

Persamaan (1)

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{1 - \omega^2(L_1C_2 + L_2C_2) + j\omega(L_1 + L_2)/R + \frac{C_2}{C_1} - \frac{j}{\omega C_1 R}}$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{1 - 1,739 \times 10^{10}(112 \times 10^{-12}) + 0,0147j + 1 - \frac{j}{131,88}}$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{0,0528} = 18,93$$

$$V_o = V_i \times 18,93$$

$$V_{out} = 12 \times 18,93\ Volt = 227,16\ Volt$$

Tabel 1 Menunjukkan perbandingan tegangan keluaran rangkain dual resonan pada 3 titik operasi kerja yang berbeda.

Tabel 1. Perbandingan keluaran dual resonan pada frekuensi kerja berbeda.

Frekuensi	Perhitungan	Simulasi	Pengukuran
14 kHz	10,56 V	10,73 V	11,34 V
21 kHz	227,16 V	373,3 V	226,9 V
30 kHz	6,108 V	5,94 V	8,15 V

Dari tabel 3.1 diketahui, rangkaian dual resonan memberikan respon yang berbeda untuk setiap frekuensi kerja yang berikan. Penguatan tegangan terbesar terjadi pada frekuensi 21kHz. Terlihat pada frekuensi kerja 21kHz hasil simulasi berbeda dengan pengukuran dan perhitungan, hal ini disebabkan pada simulasi software Pspice tegangan masukan yang digunakan adalah gelombang sinus, sedang pada kenyataannya yang digunakan adalah gelombang kotak. Pada frekuensi 30kHz terdapat ketidaksesuaian data antar perhitungan, simulasi dan pengukuran. Hal ini bisa disebabkan adanya efek parasitik pada rangkaian yang menyebabkan perbedaan nilai kapasitansi dan induktansi antara perhitungan, simulasi dan kondisi real.

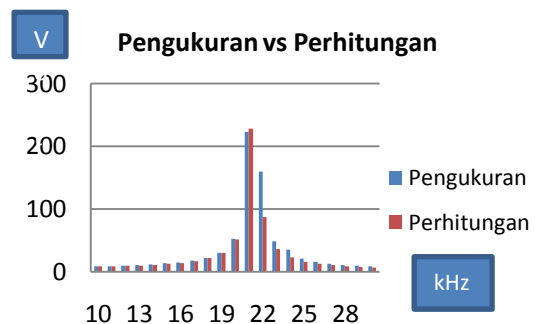
3.2 Pengujian Rangkaian Dual Resonan terhadap Variasi Frekuensi

Tabel 2. Perbandingan tegangan keluaran terhadap variasi frekuensi

Frekuensi Kerja (Hz)	Tegangan Pengukuran (V)	Tegangan Perhitungan (V)
10	8,29	7,70
11	8,7	8,18
12	9,3	8,79
13	10,2	9,57
14	11,2	10,57
15	12,9	11,9
16	14,6	13,8
17	17,4	16,58

18	22	21,09
19	30,2	29,59
20	52	51,44
21	223	228,34
22	160	86,87
23	48,3	35,63
24	35	22,04
25	20,3	15,77
26	15	12,16
27	12,7	9,83
28	10,7	8,20
29	9,59	6,99
30	8,3	6,07

Dari Tabel 2 diketahui Tegangan keluaran rangkaian dual resonan berubah seiring dengan perubahan frekuensi kerja yang diberikan. Tegangan keluaran mulai naik mulai dari frekuensi 15kHz dan berhenti pada frekuensi 21kHz. Tegangan keluaran turun setelah frekuensi 21kHz.



Gambar 15 Grafik perbandingan tegangan keluaran dual resonan antara pengukuran dan perhitungan

Gambar 15 disajikan untuk melihat kesesuaian antara hasil pengukuran dan perhitungan. Terlihat antara perhitungan dan pengukuran memiliki tren yang sama. Tegangan keluaran naik hingga frekuensi 21kHz dan kemudian turun. Perbedaan nilai tegangan antara pengukuran dan perhitungan ada pada frekuensi 22kHz, hal ini bisa disebabkan perbedaan nilai induktansi dan kapasitansi antara yang digunakan pada perhitungan dan saat kondisi nyata.

3.3 Pengujian Rangkaian Dual Resonan terhadap Variasi Duty Cycle

Tabel 3. Pengaruh perubahan duty cycle terhadap tegangan keluaran

Duty Cycle (%)	Vout (Volt)
20	40,7
25	62
30	86,6
35	91,5
40	93,7
45	201,41
50	222,69

Tabel 3 menunjukkan pengaruh perubahan *duty cycle* pada rangkaian kontrol terhadap nilai tegangan keluaran

rangkaian resonan. Perubahan *duty cycle* berbanding lurus dengan tegangan keluaran rangkaian resonan. Makin besar *duty cycle* yang digunakan pada rangkaian kontrol, tegangan keluaran resonan juga makin besar.

3.4 Pengujian Lampu LED

Pengujian ini dilakukan dengan cara memvariasikan frekuensi kerja kemudian *duty cycle* saat rangkaian dual resonan digunakan sebagai catu daya lampu LED. Pengujian dilakukan di Laboratorium Konversi Energi B.101 pada Malam hari dengan kondisi ruangan gelap. Penerangan ruangan hanya berasal dari lampu LED yang akan diuji. Pengujian ini dilakukan bertujuan untuk melihat pengaruh frekuensi kerja dan *duty cycle* pada intensitas cahaya dan energi yang dapat dipancarkan oleh lampu LED.

Tabel 4. Variasi frekuensi terhadap lux dan energi lampu LED

Frekuensi (kHz)	Tegangan LED (V)	Intensitas Cahaya (lx)	Iradian (W/m ²)
20	112	4	0
21,4	168	18	0,3
21,6	205	26	0,3
21,8	220	33	0,7
22	200	24	0,3
22,5	130	6	0,1
23	125	4	0,1

Tabel 5. Variasi *duty cycle* terhadap lux dan energi lampu LED

Duty cycle (%)	Tegangan LED (V)	Intensitas Cahaya (lx)	Iradian (W/m)
25	130	11	0,1
30	163	22	0,2
35	180	28	0,2
40	190	31	0,3
50	220	33	0,7

Dari Tabel 4 terlihat, semakin dekat dengan frekuensi resonansi lampu LED menyala makin terang, dikarenakan tegangan yang diberikan makin besar. Semakin terang nyala lampu intensitas cahaya juga semakin besar, begitu pula dengan energi yang mampu dipancarkan.

Dari Tabel 5 diketahui, makin besar *duty cycle* yang diberikan makin terang nyala lampu LED. Hal ini dikarenakan tegangan masukan yang diberikan pada lampu LED juga makin besar, sehingga intensitas cahaya dan energi yang mampu dipancarkan juga makin besar. Dari hasil analisa Tabel 4 dan 5 ada hal yang harus diperhatikan, yakni ada batas maksimal tegangan yang boleh diberikan pada lampu LED ini, agar lampu LED ini tidak rusak.

3.5 Perhitungan Efisiensi

Perhitungan efisiensi dapat dilakukan jika diketahui daya pada sisi input *inverter* dual resonan, dan daya output

pada sisi lampu LED. Untuk itu dilakukan pengukuran pada kedua sisi tersebut. Pengukuran dilakukan saat inverter dual resonan dibebani oleh lampu LED.

Tabel 6. Data tegangan dan arus masukan serta keluaran

F(kHz)	V _{IN} (V)	I _{IN} (A)	P _{IN} (W)	V _{out} (V)	I _{Out} (A)	P _{Out} (W)	Efisiensi(%)
20,5	22,6	0,08	1,808	72	0,02	1,44	79,64%
21	19,5	0,59	11,56	220	0,05	11	95,12%
22,5	21,9	0,22	4,818	100	0,05	4	83,02%

Tabel 6 menunjukkan data hasil pengukuran arus dan tegangan pada 3 titik frekuensi kerja yang berbeda, yakni sebelum resonan, saat resonan, dan setelah resonan. Diketahui daya yang paling besar dihasilkan saat resonan yakni 11 Watt. Dari Tabel 6 juga diketahui pada saat efisiensi yang paling baik diperoleh saat frekuensi resonan. Hal ini dikarenakan pada kondisi ini reaktansi induktif dan kapasitif pada rangkaian RLC saling mengkompensasi, sehingga impedansi rangkaian RLC menjadi minimal. Impedansi minimal ini yang dapat meningkatkan efisiensi dari kerja inverter dual resonan.

4. Kesimpulan

Rangkaian dual resonan memiliki dua rangkaian resonansi, yakni rangkaian resonansi seri dan rangkaian resonansi seri beban paralel. Namun ketika kedua rangkaian tersebut digabungkan diperoleh hanya satu titik puncak penguatan tegangan. Nilai puncak tersebut diperoleh ketika rangkaian dual dioperasikan tepat saat frekuensi resonansinya yakni 21kHz. Bentuk gelombang tegangan yang dihasilkan adalah sinus, dengan amplitudo tegangan sebesar 226,9 Volt. Pada frekuensi ini terjadi penguatan tegangan tertinggi yakni $18,9 \times V_{input}$. Rangkaian dual resonan ketika dioperasikan jauh sebelum frekuensi resonansinya yakni 14kHz menghasilkan gelombang tegangan dengan bentuk tidak sinus. Amplitudo tegangan yang dihasilkan pada frekuensi ini adalah sebesar 11,34 Volt. Rangkaian dual resonan ketika dioperasikan jauh setelah frekuensi resonansinya yakni 30kHz menghasilkan tegangan dengan bentuk gelombang sinus. Namun pada frekuensi kerja ini tidak terjadi penguatan tegangan karena amplitudo tegangan yang terukur sebesar 8,15 Volt. Pada frekuensi kerja ini pula terjadi perbedaan antar hasil pengukuran dengan perhitungan serta simulasi. Hasil perhitungan menunjukkan nilai 6,108 V sedang hasil simulasi bernilai 5,94 V. Perbedaan ini bisa disebabkan karena adanya efek parasitik pada rangkaian keseluruhan. Efek parasitik dapat ditimbulkan karena hasil penyolderan yang tidak sempurna sehingga menambah nilai kapasitansi, induktansi dan resistansi pada rangkaian.

Semakin besar *duty cycle* yang diaplikasikan pada rangkaian kontrol *inverter half-bridge*, maka semakin besar tegangan keluaran yang dapat diperoleh dari rangkaian dual resonan. Tegangan terbesar dihasilkan ketika *duty cycle* 50% Penggunaan rangkaian dual

resonan ini ternyata dapat membuat Lampu LED menyala dengan intensitas cahaya yang cukup terang yakni 33 lx namun tentunya harus dengan pasokan tegangan yang cukup, yakni sebesar 220 Volt DC.

Referensi

Texbooks:

- [1]. Mammano, Bob, "*Resonant Mode Topologies*" Texas Instrument Incorporated, 2001
- [2]. Edminister. Joseph A, Mahmood navi, "*Rangkaian Listrik Edisi keempat*", Jakarta, Erlangga, 191-192, 7-8
- [3]. Rashid M, *Power Electronics Circuit, Device, and Application 2nd*, Prentice-Hall International Inc, 1988.
- [4]. Kazimierczuk Marian K, Czarkowski Darius, *Resonant Power Converter*, John Wiley and Sons, Inc.
- [5]. McLyman, Colonel Wm. Transformer and Inductor Design Handbook Third Edition, Revised and Expanded. United States of America. 2004.

Journal:

- [6]. Margaranu, Fitria Panji, "*Simulasi Dan Analisis Load Resonant & Quasi Resonant Dc-Dc Converters Dengan Psim Versi 4.1*" Universitas diponegoro, 2008
- [7]. Pratama, Sandi Pandu, "Perancangan Inverter Resonan Seri Frekuensi Tinggi Untuk Suplai Pemanas Induksi Pada Alat Pemanas *Bearing*" Universitas Diponegoro, 2010
- [8]. Budiman, Rezon A, "*Perancangan Half Bridge Inverter Untuk Catu Daya Pemanas Induksi Pada Alat Extruder Plastik*" Universitas Diponegoro, 2012
- [9]. Facta, Mochammad, Zainal Salam, Zolkafle Bin Buntat, "Application of Resonant Converter in Ozone Generator Model" University of Technology Malaysia, 2008
- [10]. Harto, Saputro Jimy, "*Analisa Penggunaan Lampu Led Pada Penerangan Dalam Ruang*" Universitas Diponegoro, 2012