

KINERJA DC – DC CONVERTER DENGAN RANGKAIAN RESONANSI FREKUENSI TINGGI CLC

Nugraha Luis Heriawan^{*)}, Mochammad Facta, and Karnoto

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

^{*)} Email: luisheriawani@yahoo.com

Abstrak

Perkembangan teknologi mengharapkan topologi rangkaian yang lebih sederhana, namun tidak mengesampingkan nilai efisiensi. Banyak penelitian menunjukkan dengan memanfaatkan frekuensi tinggi, nilai induktor (L) dan kapasitor (C) yang digunakan dapat dikurangi, sehingga volume induktor dan kapasitor dapat diperkecil. Nilai L dan C yang semakin kecil, membuat topologi rangkaian bisa menjadi lebih sederhana secara ukuran dan biaya yang dibutuhkan untuk memperoleh nilai tersebut juga bisa semakin ditekan. Salah satu metode bisa digunakan untuk memperoleh topologi rangkaian yang lebih sederhana adalah menggunakan metode resonan konverter. Konverter resonansi beban dapat diklasifikasikan menjadi resonansi beban seri, dan resonansi beban paralel. Penelitian ini menggunakan topologi DC – DC converter dengan rangkaian resonansi CLC, yakni menggabungkan rangkaian resonan beban seri dan beban paralel. Pengukuran nilai tegangan keluaran dilakukan dengan variasi frekuensi pensaklaran, variasi jenis induktor, dan jenis lilitan induktor. Dari hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan pada topologi resonansi CLC, konverter hanya mampu bertindak sebagai penurunan tegangan. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa tegangan keluaran maksimal yang dapat dicapai oleh konverter sebesar 9,07 Volt DC dengan tegangan masukan 12 Volt DC, pada frekuensi pensaklaran 70 KHz. Rata-rata tegangan keluaran terbesar dicapai pada variasi induktor L4 (inti batang ferit 3 kawat).

Kata kunci: Penguat tegangan, resonansi CLC, variasi induktor.

Abstract

The development of technologies expect simpler circuit topology, on the other hand it does not rule out the value of efficiency. Many studies showed by utilizing high frequency, the value of the inductor (L) and capacitor (C) can be reduced, so the volume of inductors and capacitors can be minimized. By getting smaller of L and C values, both cost and size of the circuit topology can be simpler. Furthermore, those values can be suppressed as well. One method that can be used to obtain simpler circuit topology is using resonant converters. Load resonance converter topology can be classified : series resonance load, parallel resonance load. On this research use DC-DC converter with CLC resonance circuit, which combines the circuit of series and parallel resonance load. The output voltage is measured by switching frequency variation, variation in type of inductor, and type of the inductor coil. According to the results of the testing and analysis performed on CLC resonant topology, the converter is only capable to act as a voltage minimizer. The measurement results showed that the maximum output voltage can be achieved by the DC converter at 9.07 Volts with input voltage of 12 Volts DC, switching frequency at 70 KHz. The largest average of output voltage is on L4 (3 ferrite rod core wire).

Keywords: amplifier voltage, CLC resonant , variations inductor.

1. Pendahuluan

Dewasa ini peran peralatan pengubah daya dibidang elektronika sangatlah luas pemakaiannya. Pengubah daya DC – DC, misalnya, hampir selalu digunakan dalam penyediaan daya untuk menjalankan semua rangkaian-rangkaian elektronika yang menyertai piranti aktif. Namun demikian, kemajuan yang dialami dibidang

elektronika daya masih terus menerus diharapkan untuk dapat menjawab tantangan yang berupa kompleksitas sistem elektronika modern yang semakin tinggi. Sebagai bagian dari jawaban terhadap tantangan tersebut adalah dengan digunakannya metoda resonansi pada peralatan pengubah daya dengan pensaklaran, dengan tujuan untuk menciptakan sistem pengubah daya yang jauh lebih

efisien dan handal dari metoda konvensional (dengan meminimalisir rugi-rugi dan tekanan pensaklaran).^[1]

Banyak penelitian menyebutkan dengan memanfaatkan frekuensi yang tinggi, nilai induktor (L) dan kapasitor (C) yang digunakan dapat dikurangi sehingga volume induktor dan kapasitor dapat diperkecil. 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^[11]. Penekanan terhadap biaya produksi membuat peralatan konverter bisa menjadi lebih ekonomis^[4].

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

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^[1]. 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^[16]. Kemampuan penguatan tegangan yang dapat berikan oleh resonan konverter bisa menjadi salah satu alternatif pengganti transformator penaik tegangan. Resonan konverter memungkinkan penggunaan frekuensi tinggi sebagai frekuensi kerjanya, sehingga komponen L dan C yang digunakan bisa semakin kecil^[4]. Melalui nilai L dan C yang kecil memberikan peluang untuk mewujudkan peralatan konverter yang sederhana, namun memiliki nilai ekonomis dan efisiensi yang baik. Keunikan dari resonan konverter inilah yang menjadi dasar alasan mengapa dipilih sebagai topik Penelitian yang dikerjakan.

Penulis dalam penelitian ini akan menganalisis Kinerja DC – DC *converter* dengan rangkaian resonansi CLC tipe pensaklaran setengah jembatan yang merupakan salah satu topologi rangkaian konverter *soft-switched*. DC – DC *converter* dengan rangkaian resonansi CLC, merupakan gabungan dari Konverter resonansi beban seri dan konverter beban paralel, jadi pada topologi memiliki keuntungan – keuntungan yang dimiliki oleh kedua jenis resonansi beban seri dan beban paralel. Perbedaan dari topologi ini dengan resonansi beban seri dan paralel terletak pada penggunaan kapasitor resonansi seri dan paralel sekaligus. Pada topologi ini memiliki tiga mode operasi : mode operasi konduksi diskontinyu dengan $\omega_s < \frac{1}{2} \omega_0$, mode operasi konduksi kontinyu dengan $\frac{1}{2} \omega_0 < \omega_s < \omega_0$, dan model operasi konduksi kontinyu dengan $\omega_s < \omega_0$. Kinerja perangkat keras konverter ditinjau dari tegangan keluaran konverter hasil pengukuran dengan

variasi jenis dan lilitan induktor pada rangkaian resonan. Pengukuran nilai tegangan keluaran dilakukan dengan empat variasi induktor dengan nilai induktansi yang sama yaitu 0,56mH, jenis induktor yang dipakai adalah inti ferit trafo *flyback*, dan inti ferit batang, dan lilitan yang diaplikasikan yaitu dengan 1 kawat email 1mm², dan 3 kawat email 0,5mm² yang dipilin. Pada topologi jenis ini, pengaturan tegangan keluaran dilakukan dengan mengatur frekuensi pensaklaran yang diterapkan.

Adapun beberapa tujuan yang ingin dicapai pada Penelitian ini adalah :

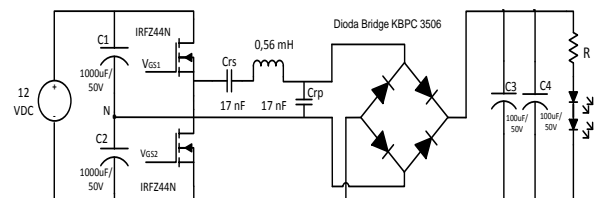
1. Membuat perancangan DC – DC *converter* dengan rangkaian resonansi CLC.
2. Menganalisis karakteristik perubahan tegangan keluaran konverter terhadap perubahan frekuensi pemecuan untuk DC – DC *converter* dengan rangkaian resonansi CLC.
3. Mengetahui tegangan keluaran dan frekuensi *switching* akibat variasi jenis dan lilitan induktor.

2. Metode

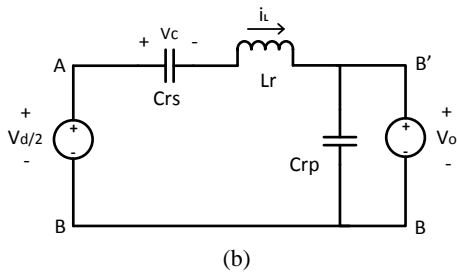
2.1 Prinsip Dasar Rangkaian Resonansi

Rangkaian resonansi merupakan suatu rangkaian yang bekerja dengan memanfaatkan sifat alami dari komponen kapasitor (C) dan induktor (L). Kedua komponen tersebut jika dikombinasikan akan bersifat seperti pendulum atau ayunan. Hal ini karena adanya sifat energi tersimpan dalam kedua komponen tersebut, kapasitor menyimpan dalam bentuk tegangan sedangkan induktor menyimpan dalam bentuk arus. Hasil dari kondisi ayunan adalah osilasi dari tegangan kapasitor dan arus induktor walaupun sumber tegangannya adalah DC tanpa osilasi. Syarat terjadinya osilasi adalah kondisi sistem harus bersifat redaman kurang (*underdamp*).^[5]

2.2 DC – DC Converter dengan Rangkaian Resonansi CLC



(a)



Gambar 1. DC – DC converter resonansi CLC (a) tipe pensaklaran setengah jembatan (b) rangkaian ekivalennya

Pada topologi ini terdiri dari tiga blok unsur, yaitu blok inverter pada sisi input, blok resonansi, dan blok penyearah. Blok inverter memakai topologi rangkaian pensaklaran setengah jembatan, sisi keluaran (output) memakai topologi penyearah tidak terkontrol jembatan penuh, sedangkan blok resonansi terdiri dari C_{rs} , L_{rs} , C_{rp} .

Blok resonansi berfungsi sebagai penyalur energi antara sisi masukan dan keluaran. C_{rs} adalah kapasitor resonansi yang terhubung seri dengan beban, L_{rs} adalah induktor resonansi, dan C_{rp} adalah kapasitor resonansi yang terpasang paralel dengan beban. Jadi perbedaan dari kedua metode sebelumnya adalah pada DC – DC converter resonansi CLC terdapat dua kapasitor resonansi, kapasitor pertama terhubung seri dengan beban, dan kapasitor kedua tersusun paralel dengan beban.

2.2.1 Persamaan Tegangan Keluaran

Dari Gambar 1 dan menggunakan hukum kirchoff tegangan dapat diperoleh persamaan penguatan tegangan rangkaian resonansi CLC yang dituliskan oleh persamaan (1).

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

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

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_s}}$$

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

2.3 Rangkaian Elektronika Daya

2.3.1 Rangkaian Kontrol Menggunakan IC 4047

IC 4047 merupakan jenis IC CMOS yang memiliki fungsi menghasilkan gelombang kotak pada mode operasi *astable* dan *monostable multivibrator*. Dasar pemilihan menggunakan IC 4047 adalah rangkaian yang digunakan cukup sederhana dan banyak tersedia di

pasaran. Pada penelitian IC digunakan untuk menghasilkan gelombang pemuncian kotak dan difungsikan pada mode operasi *astable multivibrator* dengan *duty cycle* 50%.

Periode pemuncian yang dihasilkan merupakan fungsi dari komponen R dan C eksternal yang terpasang. Berdasarkan *datasheet* IC 4047, periode pemuncian dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut :

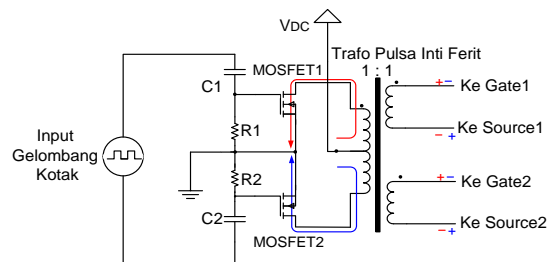
$$T_A(10,11) = 4,40 R.C$$

Sehingga $f_{(10,11)} = \frac{1}{T_A} = \frac{1}{4,40.R.C}$

2.3.2 Rangkaian Driver dan Trafo Isolator Pulsa

Rangkaian *driver* dan trafo isolator pulsa berfungsi untuk mengendalikan MOSFET pada rangkaian daya konverter. Rangkaian *driver* sendiri berfungsi untuk menguatkan pulsa keluaran dari IC 4047.

Rangkaian *driver* yang digunakan terdiri dari sebuah kapasitor yang terhubung seri dengan keluaran rangkaian kontrol dan terdapat sebuah resistor yang terpasang paralel antara *gate* dan *source* pada MOSFET. Berikut adalah gambar rangkaian *driver* yang digunakan:

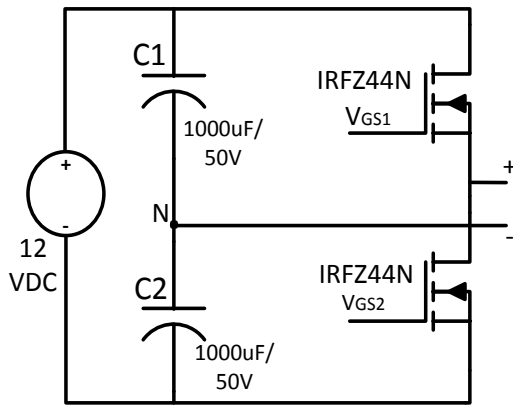


Gambar 2. Rangkaian driver dan trafo isolator pulsa

2.3.3 Rangkaian Inverter Setengah Jembatan

Inverter adalah rangkaian pengubah tegangan masukan DC menjadi tegangan keluaran AC yang simetris. Tegangan keluarannya dapat merupakan tegangan tetap maupun tegangan variabel dengan frekuensi yang tetap ataupun variabel pula.

Secara prinsip *inverter* setengah jembatan (*Half Bridge*) dapat dijelaskan dengan Gambar 2.6a . Pada gambar terlihat bahwa *inverter* terdiri atas dua saklar. Jika hanya S_1 yang aktif pada selang waktu $T_0/2$, maka tegangan sesaat yang melintasi V_{out} sebesar $V_{in}/2$. Apabila hanya S_2 yang aktif pada selang waktu $T_0/2$, maka tegangan sesaat yang melintasi beban adalah $-V_{in}/2$. Gambar 2.6b menunjukkan bentuk gelombang keluaran dengan beban resistif.



Gambar 3. Rangkaian inverter setengah jembatan

3. Analisa dan Hasil

3.1 Blok Rangkaian Kontrol Pemicuan

Perancangan rangkaian kontrol menjadi hal yang penting sebelum merancang rangkaian secara keseluruhan karena rangkaian kontrol menentukan bentuk pulsa pemicuan yang akan digunakan untuk memicu MOSFET. Jika rangkaian kontrol tidak menghasilkan pulsa pemicuan yang direncanakan maka akan berakibat rusaknya komponen daya yang dipicu. Berikut adalah spesifikasi alat dari masing-masing rangkaian pada blok kontrol pemicuan.

Tabel 1. Spesifikasi rangkaian penyearah dengan trafo CT

Parameter	Spesifikasi/Nilai Besaran
Jenis Trafo	Trafo CT Step Down 2A
Tegangan Input (primer)	220V AC
Tegangan Output (sekunder)	12V DC
Arus Output Maksimal	2A
Regulator LM7815	Vin: 17,5V - 30V

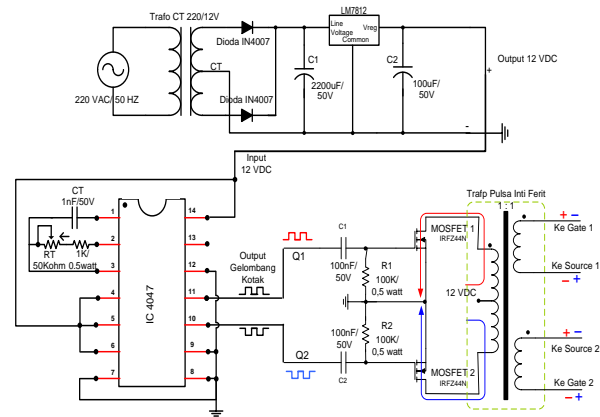
Tabel 2. Spesifikasi rangkaian kontrol menggunakan IC 4047

Parameter	Spesifikasi/Nilai Besaran
Jenis IC	IC 4047
Tegangan Input	12V DC
Tegangan Output	± 12V DC
Frekuensi kerja	5 KHz – 190 KHz
Duty cycle	50 %

Tabel 3. Spesifikasi rangkaian driver dan trafo isolator pulsa

Parameter	Spesifikasi/Nilai Besaran
Jenis Trafo	Trafo inti ferit 1:1
Tegangan Input (primer)	12V DC
Tegangan Output (sekunder)	12V DC
MOSFET IRFZ44N	Vin: 4 - 60 V Imaks: 50 A

Gambar 7 menunjukkan blok rangkaian kontrol pemicuan secara keseluruhan



Gambar 4. Rangkaian Kontrol dan driver secara keseluruhan

3.2 Blok Rangkaian Daya Konverter

Terdapat 5 sub bagian utama pada blok rangkaian daya konverter, yaitu sumber tegangan DC, rangkaian inverter setengah jembatan, rangkaian resonansi CLC seri, rangkaian penyearah, dan beban. Secara singkat proses pada blok rangkaian daya adalah sumber tegangan DC digunakan sebagai suplai rangkaian inverter. Tegangan keluaran inverter yaitu tegangan bolak balik AC frekuensi tinggi selanjutnya diumpungkan ke rangkaian resonansi CLC seri. Tegangan keluaran dari rangkaian resonansi CLC seri kemudian disearahkan melalui rangkaian penyearah dan digunakan untuk men-supply beban.

Langkah-langkah dalam perancangan rangkaian daya konverter yaitu :

- Menentukan spesifikasi inverter setengah jembatan.
Inverter yang akan dirancang memiliki spesifikasi sebagai berikut :
 - Inverter bekerja pada tegangan 12 Volt DC .
 - Frekuensi minimal 5 KHz dan maksimal 190 KHz
- Menentukan MOSFET yang digunakan
Pada rangkaian inverter MOSFET bekerja untuk rangkaian inverter *halfbridge*. MOSFET IRFZ44N dipilih karena memiliki nilai *breakdown voltage*, *thresholdhold voltage*, dan arus maksimal yang dapat ditanggung cukup besar. Sehingga apabila MOSFET IRFZ44N dipasang pada rangkaian inverter cukup handal dan dapat bekerja secara maksimal.
Spesifikasi MOSFET IRFZ44N sebagai berikut:
 - Drain – source breakdown voltage : 55 V
 - Gate – source breakdown voltage : 20 V
 - Gate – threshold voltage : 4 V
 - Drain current : 9 A
 - Continuous Drain Curren (TC=25 °C) : 49 A
 - Continuous Drain Curren (TC=100 °C) : 35 A.

3. Mengukur nilai Induktansi Kumparan

Besar nilai induktansi yang diperlukan untuk induktor adalah 0,56 mH. Induktor yang digunakan adalah inti ferit trafo *flyback* dan induktor batang ferit, dan lilitan yang digunakan adalah dengan 1 kawat email 1mm² dan 3 kawat email 0,5mm² yang dipilin.

4. Mengukur nilai kapasitor resonan

Pada perancangan konverter, nilai kapasitor yang digunakan adalah 17nF. Sehingga frekuensi resonan dapat ditentukan sebagai berikut:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LCs}}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{0,56 \times 10^{-3} \cdot 8,5 \times 10^{-9}}}$$

$$f_0 = 72,94 \text{ KHz}$$

Karena tidak tersedianya kapasitor milar yang bernilai 17nF dipasaran, maka 17 buah kapasitor milar 1 nF 50 volt disusun secara paralel dengan tujuan untuk mendapatkan nilai kapasitansi sesuai dengan yang dibutuhkan, yaitu 15 nF

5. Pemilihan dioda pada rangkain penyearah

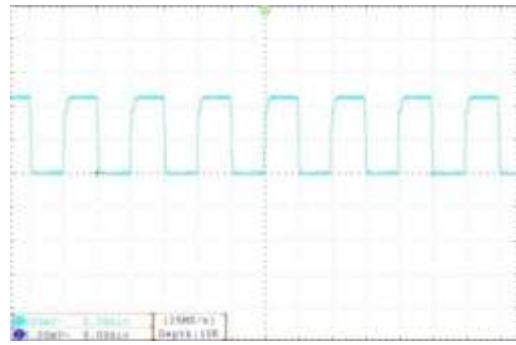
Dioda yang digunakan adalah dioda FR105. Sesuai dengan *datasheet*, FR105 mempunyai batas tegangan maksimum 600 volt dan dapat menahan arus maksimal 1 A. FR105 memiliki nilai *ns* (*recovery time*) sebesar 250ns. Digunakan dioda FR105 karena dioda tersebut mudah didapat di pasaran dan sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan dalam perancangan penyearah frekuensi tinggi.

3.3 Pengujian Blok Rangkaian Kontrol Pemicuan

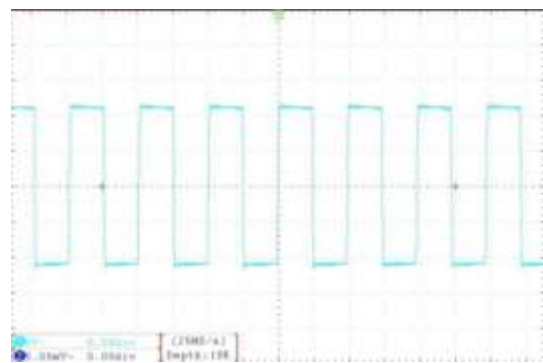
Pengujian dilakukan untuk mengetahui nilai tegangan keluaran dan bentuk gelombang tegangan keluaran dari rangkaian penyearah dengan trafo CT, rangkaian kontrol IC 4047, dan rangkaian *driver*.



Gambar 5. Hasil pengujian blok rangkaian kontrol pemicuan (V/div =5)



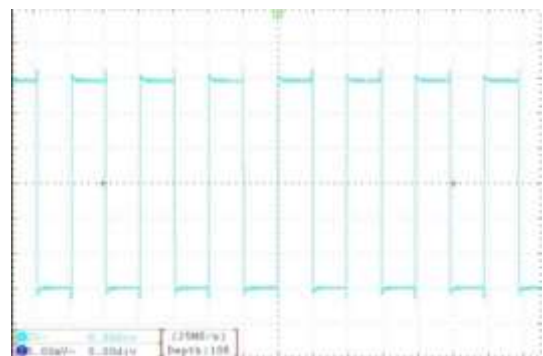
Gambar 6 Hasil pengujian gelombang keluaran IC 4047 (V/div=500mV,t/div=20µs)



Gambar 7. Hasil pengujian blok rangkaian kontrol pemicuan (V/div=5V,t/div=20µs)

3.4 Pengujian Blok Rangkaian Daya Konverter

Pengujian dilakukan untuk mengetahui bentuk tegangan keluaran pada rangkaian inverter setengah jembatan dan rangkaian resonansi CLC seri. Pada rangkaian resonansi CLC seri, pengujian dilakukan dengan 3 mode operasi konverter.



Gambar 8. Hasil pengujian gelombang keluaran inverter setengah jembatan (V/div=2V,t/div=20µs)

Dari gambar 8 diketahui bahwa bentuk gelombang keluaran inverter setengah jembatan berupa gelombang kotak yang memiliki polaritas positif dan negatif. Gelombang keluaran tersebut memiliki amplitudo ± 6 Volt dan tidak terdapat *spike* pada gelombang, sehingga tegangan keluaran dari rangkaian inverter setengah jembatan dapat digunakan sebagai masukan pada rangkaian resonansi CLC seri.

3.5 Pengukuran Tegangan Keluaran Konverter

Pengukuran nilai tegangan keluaran konverter dilakukan pada saat mode operasi $\omega_s < \frac{1}{2} \omega_0$, $\frac{1}{2} \omega_0 < \omega_s < \omega_0$, dan $\omega_s > \omega_0$, serta variasi frekuensi *switching* dan , variasi jenis dan lilitan induktor induktor.

A. Mode Operasi Konduksi Diskontinyu $\omega_s < \frac{1}{2} \omega_0$ (Mode 1)

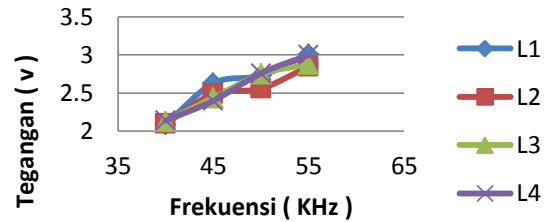
Hasil pengukuran nilai tegangan keluaran pada saat mode dapat dilihat pada tabel 5 berikut

Tabel 5. Hasil pengukuran nilai tegangan keluaran saat $\omega_s < \frac{1}{2} \omega_0$

Q = 0,91 → R = 270 Ω → L 1 = 0,56mH	
f_s (KHz)	V_0 pengukuran (volt)
40	2,09
45	2,63
50	2,73
55	3,01
Q = 0,91 → R = 270 Ω → L 2 = 0,56mH	
f_s (KHz)	V_0 pengukuran (volt)
40	2,1
45	2,49
50	2,56
55	2,85
Q = 0,91 → R = 270 Ω → L 3 = 0,56mH	
f_s (KHz)	V_0 pengukuran (volt)
40	2,13
45	2,44
50	2,75
55	2,88
Q = 0,91 → R = 270 Ω → L 4 = 0,56mH	
f_s (KHz)	V_0 pengukuran (volt)
40	2,14
45	2,4
50	2,76
55	3

Dari Tabel 5 diketahui bahwa semakin tinggi frekuensi *switching* maka tegangan keluaran yang dihasilkan pun juga semakin besar. Hal tersebut berlaku untuk semua variasi induktor. Berikut ditampilkan grafik tegangan keluaran hasil pengukuran saat mode operasi $\omega_s < \frac{1}{2} \omega_0$.

Hasil Pengukuran



Gambar 9. Grafik tegangan keluaran mode operasi 1

Pada Gambar 9 dapat dilihat bahwa tegangan keluaran terbesar hasil pengukuran, rata – rata diperoleh pada L4. Tegangan keluaran terkecil rata – rata diperoleh pada L1. Jadi dapat disimpulkan bahwa variasi induktor dengan lilitan 3 kawat yang dipilin dapat menghasilkan tegangan keluaran yang semakin besar.

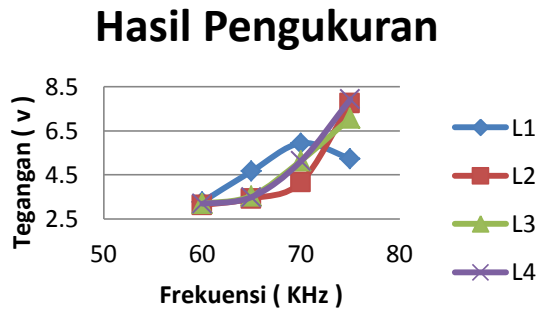
B. Mode Operasi Konduksi Kontinyu $\frac{1}{2} \omega_0 < \omega_s < \omega_0$ (Mode 2)

Hasil pengukuran nilai tegangan keluaran pada saat mode operasi $\frac{1}{2} \omega_0 < \omega_s < \omega_0$ dapat dilihat pada tabel 6 berikut.

Tabel 6. Hasil pengukuran nilai tegangan keluaran saat $\frac{1}{2} \omega_0 < \omega_s < \omega_0$

Q = 0,91 → R = 270 Ω → L 1 = 0,56mH	
f_s (KHz)	V_0 pengukuran (volt)
60	3,28
65	4,67
70	5,94
75	5,24
Q = 0,91 → R = 270 Ω → L 2 = 0,56mH	
f_s (KHz)	V_0 pengukuran (volt)
60	3,14
65	3,43
70	4,18
75	7,75
Q = 0,91 → R = 270 Ω → L 3 = 0,56mH	
f_s (KHz)	V_0 pengukuran (volt)
60	3,21
65	3,55
70	5,15
75	7,08
Q = 0,91 → R = 270 Ω → L 4 = 0,56mH	
f_s (KHz)	V_0 pengukuran (volt)
60	3,20
65	3,50
70	5,13
75	7,93

Dari Tabel 6 diketahui bahwa semakin tinggi frekuensi *switching* maka tegangan keluaran yang dihasilkan pun juga semakin besar. Hal tersebut berlaku untuk semua variasi induktor. Berikut ditampilkan grafik tegangan keluaran hasil pengukuran saat mode operasi $\frac{1}{2} \omega_0 < \omega_s < \omega_0$.



Gambar 10. Grafik tegangan keluaran mode operasi 2

Gambar 10 diketahui bahwa tegangan keluaran terbesar hasil pengukuran, rata – rata diperoleh pada L4. Tegangan keluaran terkecil rata – rata diperoleh pada L1. Jadi dapat disimpulkan bahwa variasi induktor dengan lilitan 3 kawat yang dipilin dapat menghasilkan tegangan keluaran yang semakin besar.

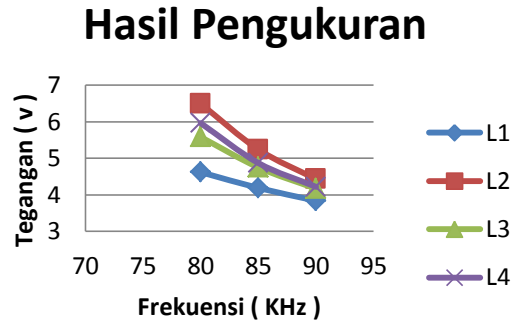
C. Mode Operasi Konduksi Kontinyu $\omega_s > \omega_0$ (Mode 3)

Hasil pengukuran nilai tegangan keluaran pada saat mode operasi $\omega_s > \omega_0$ dapat dilihat pada tabel 6 berikut.

Tabel 7. Hasil pengukuran nilai tegangan keluaran saat $\omega_s > \omega_0$

Q = 0,91 → R = 270 Ω → L 1 = 0,56mH	
f_s (KHz)	V_0 pengukuran (volt)
80	4,62
85	4,19
90	3,84
Q = 0,91 → R = 270 Ω → L 2 = 0,56mH	
f_s (KHz)	V_0 pengukuran (volt)
80	6,49
85	5,24
90	4,43
Q = 0,91 → R = 270 Ω → L 3 = 0,56mH	
f_s (KHz)	V_0 pengukuran (volt)
80	5,58
85	4,75
90	4,17
Q = 0,91 → R = 270 Ω → L 4 = 0,56mH	
f_s (KHz)	V_0 pengukuran (volt)
80	5,96
85	4,87
90	4,22

Dari Tabel 7 diketahui bahwa semakin tinggi frekuensi *switching* maka tegangan keluaran yang dihasilkan akan semakin kecil. Hal tersebut berlaku untuk semua variasi induktor. Berikut ditampilkan grafik tegangan keluaran hasil pengukuran saat mode operasi $\omega_s > \omega_0$.

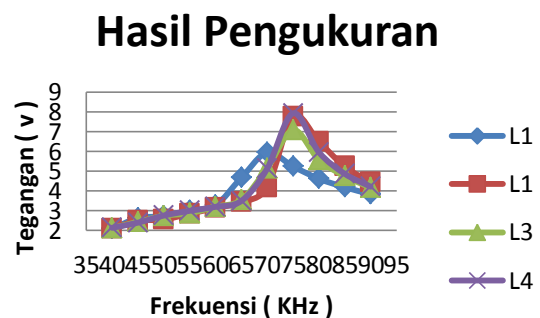


Gambar 11. Grafik tegangan keluaran mode operasi 3

Pada Gambar 11 dapat dilihat bahwa tegangan keluaran terbesar hasil pengukuran, rata – rata diperoleh pada L4. Tegangan keluaran terkecil rata – rata diperoleh pada L1. Jadi dapat disimpulkan bahwa variasi induktor dengan lilitan 3 kawat yang dipilin dapat menghasilkan tegangan keluaran yang semakin besar.

3.6 Karakteristik Kondisi Steady State

Dari keseluruhan hasil pengujian nilai tegangan keluaran perangkat konverter di atas, jika ditampilkan dalam bentuk grafik karakteristik kondisi *steady state* DC – DC *converter* resonansi CLC terhadap perubahan variasi induktor maupun frekuensi *switching* adalah sebagai berikut.



Gambar 12. Karakteristik operasi kondisi *steady state* hasil pengukuran

Dari gambar 12 diketahui bahwa DC – DC *converter* resonansi CLC yang telah dibuat dapat mencapai tegangan maksimal, rata-rata pada frekuensi *switching* sebesar 70 KHz. Dengan tegangan maksimal yang dapat dicapai rata-rata sebesar 9,07 VDC.

Gambar 18 memiliki trend grafik yang sama dengan kurva ideal karakteristik *steady state* dari DC – DC converter resonansi CLC yang ditunjukkan Gambar 3. Pada kondisi operasi f_s lebih kecil dari f_o , tegangan keluaran akan naik seiring dengan kenaikan frekuensi *switching*, kemudian akan mencapai nilai maksimumnya pada saat penerapan frekuensi *switching* sama dengan frekuensi resonansinya ($f_s = f_o$). Jika frekuensi *switching* dinaikkan lagi melebihi frekuensi resonansinya ($f_s > f_o$), maka tegangan keluaran akan turun. Untuk nilai f_s yang sama, semakin panjang lilitan dan banyaknya pilinan pada induktor V_o juga akan semakin tinggi.

4. Kesimpulan

Hasil pengukuran tegangan keluaran konverter menunjukkan bahwa karakteristik kondisi *steady state* rangkaian DC – DC converter resonansi CLC yang telah dibuat memiliki trend yang sama dengan karakteristik idealnya. Pada hasil pengukuran, rata-rata nilai tegangan keluaran terbesar didapat saat variasi induktor L4 dan nilai tegangan keluaran terkecil didapat saat variasi induktor L1.

Tegangan keluaran DC – DC converter resonansi CLC pada rangkaian ini dipengaruhi oleh frekuensi *switching* dan variasi induktor. Tegangan keluaran semakin besar dengan variasi induktor inti batang ferit dibuat dililit dengan 3 kawat email 0,5mm² yang dipilin dengan jumlah lilitan sebanyak 78 lilitan.

Nilai tegangan keluaran terbesar didapat pada saat konverter bekerja dengan frekuensi *switching* 70 KHz dan variasi induktor L4, dengan tegangan keluaran sebesar 9,07 volt DC. Sedangkan tegangan keluaran terkecil didapat pada saat konverter bekerja dengan frekuensi *switching* 35 KHz dan variasi induktor L1, dengan tegangan keluaran sebesar 4,52 volt DC.

Untuk mendapatkan nilai tegangan keluaran yang lebih besar, dapat digunakan tipe pensaklaran jembatan penuh. Selain itu, penggunaan sel surya dapat dikombinasikan dengan aki untuk digunakan sebagai *power supply* pada rangkaian konverter resonansi beban seri

Referensi

- [1]. Panji Margaranu, Fitria, *Simulasi Dan Analisis Load Resonant & Quasi Resonant Dc - Dc Converters Dengan Psim Versi 4.1*, Universitas Diponegoro, 2008.
- [2]. Arif Budiman, Rezon, *Perancangan Half Bridge Inverter Untuk Catu Daya Pemanas Induksi Pada Alat Extruder Plastik*, Universitas Diponegoro, 2012.
- [3]. Kazmierczuk Marian K, Czarkowski Darius, *Resonant Power Converter*, John Wiley and Sons, Inc.
- [4]. Mammano, B, *Resonant Mode Converter Topologies*, Unitrode Corporation, Texas, 2001.
- [5]. Lastiko Wibowo, Lutfi, *Analisis Kerja Inverter Setengah Jembatan Dengan Rangkaian Resonan Lc Seri*, Universitas Diponegoro, 2014.
- [6]. Rashid, Muhammad H., *Power Electronics Circuit, Device, and Application 3rd*, New Delhi: Prentice-Hall of India, 2004.
- [7]. Rashid, Muhammad H., *Power Electronics Handbook*, Univesity of Florida, Florida, 2001.
- [8]. -----, CD4047BC Low Power Monostable/Astable Multivibrator, Fairchild Semiconductor, 1999.
- [9]. -----, Metode Penyediaan Sumber Daya DC, (<http://www.elektroindonesia.com/elektro/elek24.html> diakses 23 November 2014 jam 3:07:37 PM).
- [10]. -----, Pengertian dan Fungsi Kapasitor, (<http://dasarelektronika.com/pengertian-dan-fungsi-kapasitor/> diakses 20 November 2014 jam 11:36:13 PM).
- [11]. -----, DC to DC Converter, (<http://zmpulungan.wordpress.com/2012/11/18/dc-to-dc-converter/> diakses 23 November 2014 jam 3:12:40 PM).
- [12]. -----, Pengertian dan Fungsi Induktor, (<http://dasarelektronika.com/pengertian-dan-fungsi-induktor/> diakses 20 November 2014 jam 11:00:13 PM).
- [13]. -----, LED (*Light Emmitting Diode*), (<http://elektronika-dasar.web.id/komponen/led-light-emitting-dioda/> diakses 23 November 2014 jam 4:08:13 PM).
- [14]. -----, Pengertian dan Fungsi Dioda, (<http://dasarelektronika.com/pengertian-dan-fungsi-dioda-2/> diakses 20 November 2014 jam 11:15:13 PM).
- [15]. Pratama. Pandu Sandi, Agung Warsito, Karnoto, *Perancangan Inverter Resonan Seri Frekuensi Tinggi Sebagai Suplai Pemanas Induksi Pada Alat Pemanas Bearing*, Universitas Diponegoro, 2010.
- [16]. Pratama. Pandu Sandi, Agung Warsito, Karnoto, *Perancangan Inverter Resonan Seri Frekuensi Tinggi Sebagai Suplai Pemanas Induksi Pada Alat Pemanas Bearing*, Universitas Diponegoro, 2010.
- [17]. Hartono, Alief Makmuri, *Perancangan Konverter DC – DC Resonansi Beban Seri Untuk Aplikasi Penurun Tegangan*, Universitas Diponegoro, 2014.
- [18]. Peng Kong, Jincheng Zhao, Yalang Xing, *Series – parallel High Frequency Inverter for Stand – alone Hybrid PV/Wind Power System*, Department of Electrical Engineering, Ordnance Engineering College, Hebei China.
- [19]. Lalit Kumar*, Shailendra Jain, *A multiple source DC/DC converter topology*, Department of Electrical Engineering, MANIT, Bhopal, India.
- [20]. Namsu Kim*, Changwoon Han, *Thermal analysis and design of a 75-W hybrid-type DC – DC converter for space applications*, Components and Materials Physics Research Center, Korea Electronics Technology Institute, Republic of Korea