

PERANCANGAN KONVERTER DC-DC RESONANSI BEBAN SERI

Alief Makmuri Hartono ^{*)}, Mochammad Facta, and Yuningtyastuti

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

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

Abstrak

Dalam elektronika daya, peningkatan efisiensi dilakukan melalui perbaikan topologi maupun peningkatan komponen elektronika. Konverter DC-DC resonansi beban seri merupakan jenis topologi soft-switching yang dapat memberikan peningkatan efisiensi. Keuntungan konverter resonansi adalah kesederhanaan konfigurasi sirkuit, rugi-rugi pensaklaran rendah, dan skema kontrol mudah. Penelitian ini membahas perancangan konverter DC-DC resonansi beban seri tipe pensaklaran setengah jembatan. Pada topologi resonansi beban seri tersebut menyajikan tiga model operasi : model operasi konduksi diskontinyu ($\frac{1}{2} \leq D < 1$), model operasi konduksi kontinyu ($0 < D < \frac{1}{2}$), dan model operasi konduksi kontinyu ($D < 0$). Kinerja perangkat konverter ditinjau dari karakteristik operasi kondisi mantap konverter hasil pengukuran. Pengukuran nilai tegangan keluaran dilakukan dengan empat variasi harga Q, yaitu : $Q = 1,39$, $Q = 0,80$, $Q = 0,55$, dan $Q = 0,37$. Pada konverter resonansi beban seri, pengaturan tegangan keluaran dilakukan dengan mengatur frekuensi pensaklaran yang diterapkan. Dari hasil pengujian dan analisis pada topologi resonansi beban seri, konverter bertindak sebagai penurun tegangan. Hasil pengukuran menunjukkan tegangan keluaran maksimal yang dapat dicapai konverter sebesar 10,54 Volt DC dengan tegangan masukan 12 Volt DC, pada frekuensi pensaklaran 30 KHz. Rata-rata tegangan keluaran terbesar dicapai pada harga $Q = 0,37$.

Kata kunci : resonansi, konverter, karakteristik operasi kondisi mantap, harga Q.

Abstract

In power electronics, increasing efficiency can be enhanced by the topology and increase the usage of electronic components. Series Load Resonant DC-DC Converter is a soft-switching topology known to increased efficiency. The advantages of resonant converter are simplicity of the circuit configuration, low switching losses, and easy control scheme. This study discuss about design of series load resonant DC-DC converter half bridge topology. In series load resonant topology present 3 models of operation : discontinuous conduction operation model ($\frac{1}{2} \leq D < 1$), continuous conduction operation model ($0 < D < \frac{1}{2}$) and continuous conduction operation model ($D < 0$). Hardware performance reviewed from the steady state operating characteristics of the measurement converter. The measurement result of the output voltage performed 4 variation of Q : $Q = 1,39$, $Q = 0,80$, $Q = 0,55$, dan $Q = 0,37$. In the type of series load resonant converter, output voltage regulation performed by adjusting the switching frequency. From the result and analysis, converter only be able act as lowering voltage. The measurement result showed that maximum output voltage of converter is 10,54 Volt DC with input voltage 12 Volt DC, on switching frequency 30 KHz. The largest output is achieved in $Q = 0,37$.

Key word : resonant, converter, steady state operating characteristics, value of Q

1. Pendahuluan

Kemajuan dalam elektronika daya beberapa dekade terakhir tidak hanya pada perbaikan perangkat listrik, tetapi juga konsep baru dalam topologi konverter dan kontrol. Pada tahun 1970, konverter daya dioperasikan dalam mode pensaklaran PWM. Pada teknik PWM, operasi *switching* terjadi pada kondisi arus dan tegangan beban tidak nol^[7].

Selama proses *switching*, perangkat listrik harus menahan tegangan dan arus yang tidak nol, sehingga menimbulkan rugi-rugi. Oleh karena itu, ditambahkan rangkaian *dissipative snubbers* agar rugi-rugi *switching* dan *stress* dapat dikurangi. Namun besarnya rugi-rugi *switching* berbanding lurus dengan frekuensi *switching*, sehingga frekuensi *switching* maksimum konverter daya, terbatas pada beberapa puluhan kilohertz (20 - 50 kHz).

Pada akhir 1980-an dan sepanjang 1990-an, dikembangkan generasi baru konverter *soft-switched*. Konverter *soft-switched* memanfaatkan topologi resonansi yang dapat dikendalikan. Dengan modifikasi sederhana, penggunaan *integrated circuit* (IC) yang dirancang untuk konverter konvensional dapat digunakan pada konverter *soft-switched*. Karena rugi-rugi *switching* telah berkurang, maka konverter *soft-switched* dapat dioperasikan pada frekuensi yang sangat tinggi (500 kHz sampai beberapa megahertz). Oleh karena itu, penggunaan *topologi* konverter *soft-switched* telah dikenal luas karena dapat memberikan peningkatan efisiensi pada perangkat elektronika daya.

Penulis dalam penelitian ini akan merancang konverter DC-DC resonansi beban seri tipe pensaklaran setengah jembatan yang merupakan salah satu topologi rangkaian konverter *soft-switched*. Pada topologi beban seri tersebut memiliki tiga mode operasi : mode operasi konduksi diskontinu dengan $s < \frac{1}{2} \omega_0$, mode operasi konduksi kontinu dengan $\frac{1}{2} \omega_0 < s < \omega_0$, dan model operasi konduksi kontinu dengan $s < \omega_0$. Kinerja perangkat keras konverter ditinjau dari karakteristik operasi kondisi mantap tegangan keluaran konverter hasil pengukuran. Pengukuran nilai tegangan keluaran dilakukan dengan empat variasi harga Q, yaitu : $Q = 1,39$, $Q = 0,80$, $Q = 0,55$, dan $Q = 0,37$. Pada jenis konverter resonansi beban seri, pengaturan tegangan keluaran dilakukan dengan mengatur frekuensi pensaklaran yang diterapkan.

Adapun beberapa tujuan yang ingin dicapai pada Penelitian ini adalah :

1. Membuat perancangan konverter DC-DC resonansi beban seri dengan menggunakan *supply* aki 12 volt.
2. Menganalisis karakteristik perubahan tegangan keluaran konverter terhadap perubahan frekuensi pemecuan.
3. Mengetahui parameter-parameter apa saja yang mempengaruhi penguatan tegangan keluaran konverter dan faktor kualitas (Q) dari konverter resonansi beban seri.

2. Metode

2.1 Blok Rangkaian Kontrol Pemecuan

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

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)	15V DC
Arus Output Maksimal	2A
Regulator LM7815	Vin: 17,5V - 30V

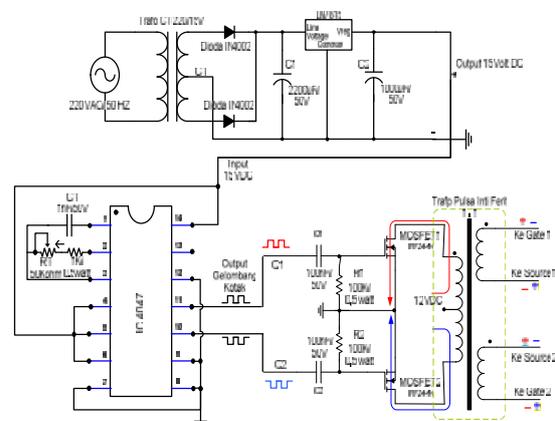
Tabel 2. Spesifikasi rangkaian kontrol menggunakan IC 4047

Parameter	Spesifikasi/Nilai Besaran
Jenis IC	IC 4047
Tegangan Input	15V DC
Tegangan Output	± 15V 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)	15V DC
Tegangan Output (sekunder)	15V DC
MOSFET IRFZ44N	Vin: 4- 60 V Imaks: 50 A

Gambar 1 menunjukan blok rangkaian kontrol pemecuan secara keseluruhan

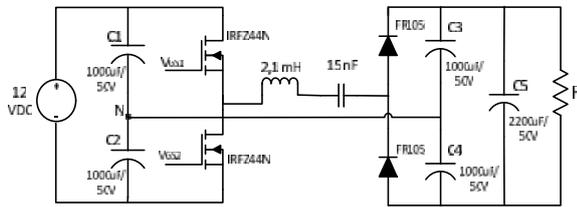


Gambar 1. Rangkaian Kontrol dan driver secara keseluruhan

2.2 Blok Rangkaian Daya Konverter

Terdapat 5 sub bagian utama pada blok rangkaian daya konverter, yaitu sumber tegangan DC, rangkaian inverter setengah jembatan, rangkaian resonansi LC 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 resonan LC seri. Tegangan keluaran dari rangkaian resonan LC seri

kemudian disearahkan melalui rangkaian penyearah dan digunakan untuk men-supply beban.



Gambar 2. Rangkaian daya konverter keseluruhan

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 Volt
 - Gate – source breakdown voltage : 20 Volt
 - Gate – threshold voltage : 4 Volt
 - Drain current : 9 Ampere
 - Drain source ON resistance $R_{DS(ON)}$: 0.0175
 - Continuous Drain Curren ($TC=25^{\circ}C$) : 49 A
 - Continuous Drain Curren ($TC=100^{\circ}C$) : 35 A.
- Mengukur nilai Induktansi Kumparan
Besarnya nilai induktansi yang diperlukan untuk induktor adalah 2,1 mH. Induktor dibuat menggunakan inti ferit trafo *flyback* dan dililit menggunakan kawat email 1 mm², dililit sejumlah 35 lilitan..
- Mengukur nilai kapasitor resonan
Pada perancangan konverter, nilai kapasitor yang digunakan adalah 15nF. Sehingga frekuensi resonan dapat ditentukan sebagai berikut:

$$f_0 = \frac{1}{2f \sqrt{LC}}$$

$$f_0 = \frac{1}{2f \sqrt{2,1 \times 10^{-3} \cdot 15 \times 10^{-9}}}$$

$$f_0 = 28,36 \text{ KHz}$$

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

- 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.

2.3 Perhitungan Nilai Tegangan Keluaran

Berdasarkan nilai induktor dan kapasitor yang telah ditentukan pada perancangan rangkaian resonansi LC seri di atas, maka selanjutnya dilakukan perhitungan nilai tegangan keluaran perangkat konverter. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan variasi frekuensi *switching* dan variasi nilai tahanan beban (R).

Pada perhitungan menggunakan variasi frekuensi *switching*, besar frekuensi *switching* yang akan diterapkan adalah :

- Untuk mode operasi $s < \frac{1}{2} \pi$, frekuensi *switching* yang diterapkan adalah 5 KHz , 7,5 KHz , 10 KHz , dan 12,5 KHz.
- Untuk mode operasi $\frac{1}{2} \pi < s < \pi$, frekuensi *switching* yang diterapkan adalah 17,5 KHz , 20 KHz , 22,5 KHz , 25 KHz.
- Untuk mode operasi $s > \pi$, frekuensi *switching* yang diterapkan adalah 30 KHz, 32,5 KHz , 35 KHz , 37,5 KHz.

Sedangkan untuk variasi nilai tahanan beban (R) digunakan resistor dengan nilai 270 , 470 , 680 , dan 1000 . Perbedaan nilai R tersebut digunakan untuk variasi nilai Q yang diterapkan pada rangkaian konverter resonansi beban seri. Berdasarkan Persamaan 2.5 maka didapatkan nilai Q sebagai berikut :

- Untuk nilai R = 270 → harga Q = 1,39
- Untuk nilai R = 470 → harga Q = 0,80
- Untuk nilai R = 680 → harga Q = 0,55
- Untuk nilai R = 1000 → harga Q = 0,37

Berdasarkan persamaan tegangan keluaran pada sub bab 2.2.4, perhitungan nilai tegangan keluaran perangkat konverter resonansi beban seri yang telah dirancang disajikan pada tabel 4 berikut :

Dari tabel 4 diketahui bahwa nilai tegangan keluaran tertinggi dicapai pada frekuensi *switching* 30 KHz, atau disekitar frekuensi resonannya. Nilai tegangan keluaran juga semakin besar seiring dengan naiknya frekuensi *switching* yang diterapkan. Akan tetapi nilai tegangan keluaran akan semakin rendah apabila frekuensi *switching* sudah melebihi frekuensi resonannya

Tabel 4. Nilai tegangan keluaran minimum perangkat konverter

Q=1,39 → R=270		
Mode Operasi	f_s (KHz)	V_0 perhitungan (volt)
$s < \frac{1}{2} o$	5	0,64
	7,5	0,98
	10	1,38
	12,5	1,83
	17,5	3,02
$\frac{1}{2} o < s < o$	20	3,81
	22,5	4,69
	25	5,51
	30	5,89
	32,5	5,44
$s > o$	35	4,86
	37,5	4,32

Q=0,80 → R=470		
Mode Operasi	f_s (KHz)	V_0 perhitungan (volt)
$s < \frac{1}{2} o$	5	1,09
	7,5	1,67
	10	2,28
	12,5	2,92
	17,5	4,27
$\frac{1}{2} o < s < o$	20	4,91
	22,5	5,45
	25	5,82
	30	5,96
	32,5	5,80
$s > o$	35	5,54
	37,5	5,25

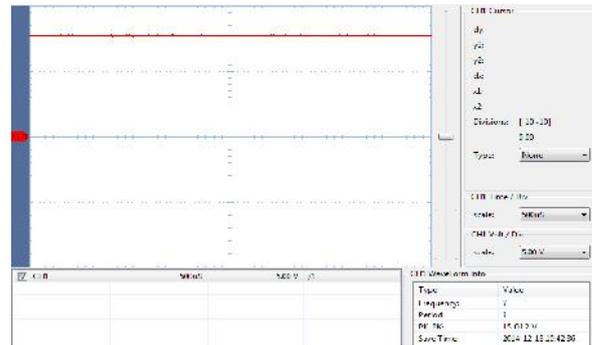
Q=0,55 → R=680		
Mode Operasi	f_s (KHz)	V_0 perhitungan (volt)
$s < \frac{1}{2} o$	5	1,55
	7,5	2,32
	10	3,06
	12,5	3,77
	17,5	4,96
$\frac{1}{2} o < s < o$	20	5,40
	22,5	5,72
	25	5,91
	30	5,98
	32,5	5,90
$s > o$	35	5,77
	37,5	5,60

Q=0,37 → R=1000		
Mode Operasi	f_s (KHz)	V_0 perhitungan (volt)
$s < \frac{1}{2} o$	5	2,20
	7,5	3,15
	10	3,95
	12,5	4,59
	17,5	5,44
$\frac{1}{2} o < s < o$	20	5,70
	22,5	5,87
	25	5,96
	30	5,99
	32,5	5,95
$s > o$	35	5,89
	37,5	5,81

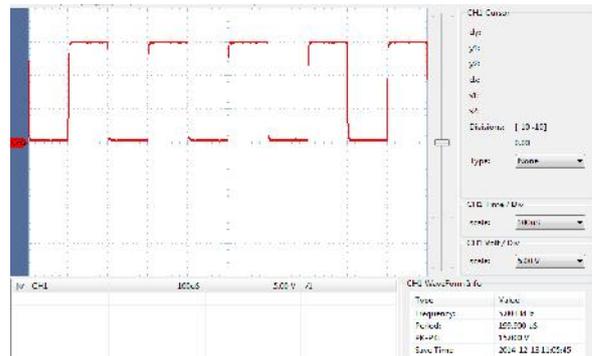
3. Hasil dan Analisa

3.1 Pengujian Blok Rangkaian Kontrol Pemicuan

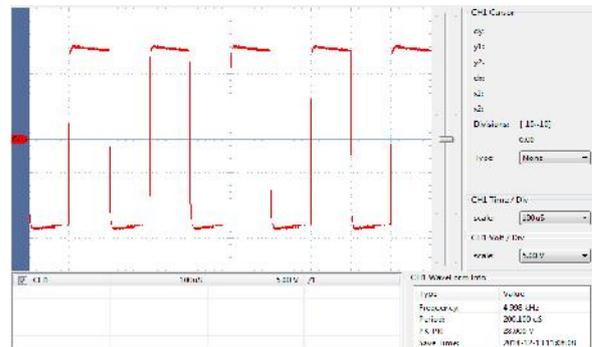
Pengujian dilakukan untuk mengetahui nilai tegangan keluaran dan bentuk gelombang tegangan keluaran dari rangkaian penyearah dengan trafo CT, rangkaian kontrol IC 4047, dan rangkaian *driver*.



(a)



(b)



(c)

Gambar 3. Hasil pengujian blok rangkaian kontrol pemicuan

- a) Rangkaian penyearah dengan trafo CT
- b) Rangkaian kontrol IC 4047
- c) Rangkaian *driver* dan trafo isolator pulsa

Dari gambar 3.a diketahui bahwa nilai tegangan keluaran rangkaian penyearah adalah 15 VDC dan bentuk gelombang tegangan keluaran lurus tanpa ada *ripple* pada gelombang, sehingga rangkaian penyearah dapat digunakan sebagai *supply* untuk rangkaian kontrol IC 4047.

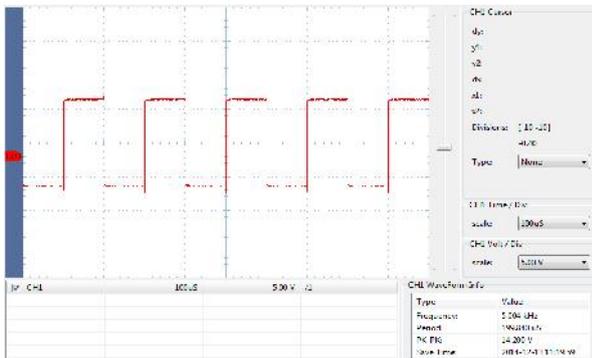
Dari gambar 3.b dapat diketahui bahwa rata-rata nilai tegangan keluaran rangkaian kontrol IC 4047 adalah ± 15 VDC. Sedangkan bentuk gelombang keluaran IC 4047 berupa gelombang kotak dengan nilai *duty cycle* sebesar 50 %. Hasil pengukuran pada gambar di atas sudah

sesuai dengan perancangan yang ditunjukkan pada tabel 2.

Dari gambar 3.c dapat diketahui bahwa bentuk gelombang keluaran rangkaian *driver* berupa gelombang kotak yang memiliki polaritas positif dan negatif. Gelombang keluaran tersebut memiliki amplitudo ± 14 Volt dan tidak terdapat *spike* pada gelombang keluaran tersebut, sehingga aman untuk memicu MOSFET IRFZ44N pada rangkaian daya konverter.

3.2 Pengujian Blok Rangkaian Daya Konverter

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



Gambar 4. Hasil pengujian gelombang keluaran inverter setengah jembatan

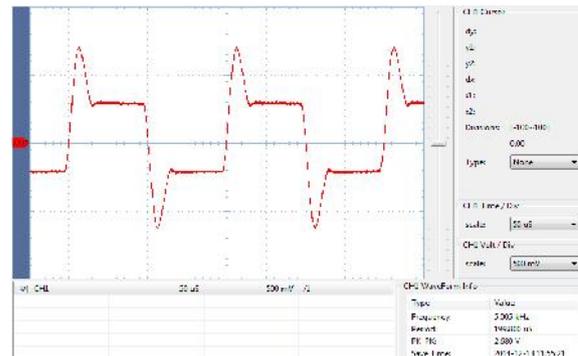
Dari gambar 4 diketahui bahwa bentuk gelombang keluaran inverter setengah jembatan berupa gelombang kotak yang memiliki polaritas positif dan negatif. Gelombang keluaran tersebut memiliki amplitudo ± 7 Volt dan tidak terdapat *spike* pada gelombang, sehingga tegangan keluaran dari rangkaian inverter setengah jembatan dapat digunakan sebagai masukan pada rangkaian resonansi LC seri.

Gambar 5.a menunjukkan hasil pengukuran rangkaian resonansi LC seri pada mode operasi $s < \frac{1}{2} \pi$. Gambar bentuk gelombang tegangan kapasitor resonansi (V_{Cr}) diambil pada frekuensi 5 KHz dengan nilai $Q = 1,39$. Dapat dilihat bahwa bentuk gelombang tegangan tidak sinusoidal sempurna karena belum terjadi kondisi resonansi pada rangkaian.

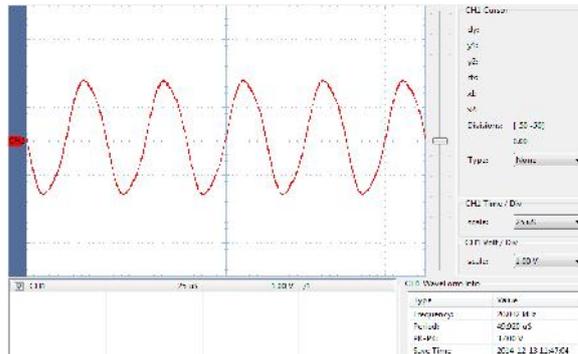
Gambar 5.b menunjukkan hasil pengukuran rangkaian resonansi LC seri pada mode operasi $\frac{1}{2} \pi < s < \pi$. Gambar gelombang tegangan kapasitor resonansi (V_{Cr}) diambil pada frekuensi 20 KHz dengan nilai $Q = 1,39$. Dapat dilihat bahwa bentuk gelombang tegangan sudah

menyerupai gelombang sinusoidal sempurna karena sudah mulai terjadi efek resonansi pada rangkaian.

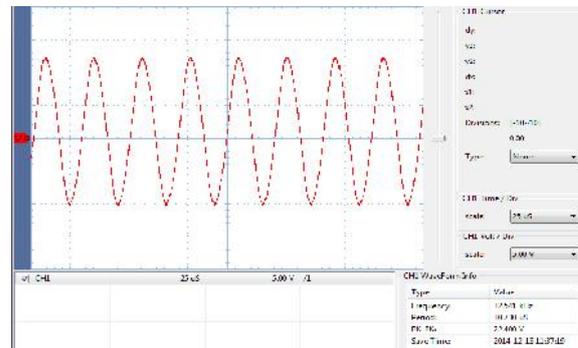
Gambar 5.c menunjukkan hasil pengukuran rangkaian resonansi LC seri pada mode operasi $s > \pi$. Gambar gelombang tegangan kapasitor resonansi (V_{Cr}) diambil pada frekuensi 32,50 KHz dengan nilai $Q = 1,39$. Dapat dilihat bahwa bentuk gelombang tegangan sudah menyerupai gelombang sinusoidal sempurna, tetapi memiliki nilai amplitudo tegangan yang lebih kecil jika dibandingkan dengan nilai amplitudo tegangan pada mode operasi $\frac{1}{2} \pi < s < \pi$.



(a)



(b)



(c)

Gambar 5. Hasil pengujian rangkaian resonansi LC seri
 (a) Mode operasi $s < \frac{1}{2} \pi$
 (b) Mode operasi $\frac{1}{2} \pi < s < \pi$
 (c) Mode operasi $s > \pi$

3.3 Pengukuran Tegangan Keluaran Konverter

Setelah dilakukan pengujian pada masing-masing blok rangkaian perangkat keras konverter, selanjutnya dilakukan pengukuran nilai tegangan keluaran perangkat keras konverter. Hasil pengukuran tegangan keluaran konverter tersebut kemudian dibandingkan dengan nilai tegangan keluaran hasil perhitungan teoritis pada tabel 4. Pengukuran nilai tegangan keluaran konverter dilakukan pada saat mode operasi $s < \frac{1}{2} \pi$, $\frac{1}{2} \pi < s < \pi$, dan $s > \pi$, serta variasi frekuensi *switching* dan variasi nilai tahanan beban (R). Variasi yang digunakan untuk pengukuran sama dengan variasi yang digunakan untuk perhitungan yang dijelaskan pada sub bab 2.3.

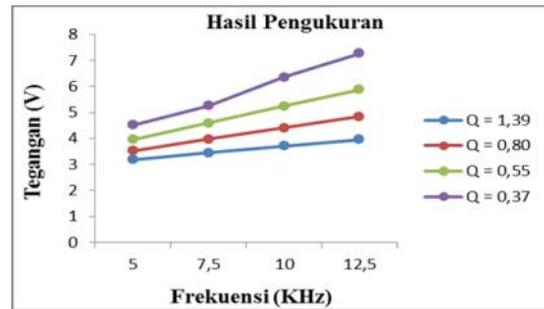
A. Mode Operasi Konduksi Diskontinyu $s < \frac{1}{2} \pi$ (Mode 1)

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

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

Q = 1,39 → R = 270	
f_s (KHz)	V_o pengukuran (volt)
5	3,18
7,5	3,45
10	3,71
12,5	3,96
Q = 0,80 → R = 470	
f_s (KHz)	V_o pengukuran (volt)
5	3,52
7,5	3,97
10	4,40
12,5	4,84
Q = 0,55 → R = 680	
f_s (KHz)	V_o pengukuran (volt)
5	3,95
7,5	4,59
10	5,24
12,5	5,87
Q = 0,37 → R = 1000	
f_s (KHz)	V_o pengukuran (volt)
5	4,51
7,5	5,26
10	6,36
12,5	7,27

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



Gambar 6. Grafik tegangan keluaran mode operasi 1

Dari gambar 6 diketahui bahwa tegangan keluaran terbesar pada hasil pengukuran, rata-rata didapat pada saat nilai Q = 0,37. Sedangkan tegangan keluaran terkecil, rata-rata diperoleh pada saat nilai Q = 1,39. Sehingga dapat disimpulkan semakin kecil nilai Q, maka tegangan keluaran yang dihasilkan akan semakin besar.

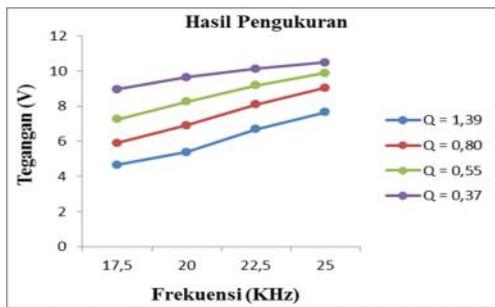
B. Mode Operasi Konduksi Kontinyu $\frac{1}{2} \pi < s < \pi$ (Mode 2)

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

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

Q = 1,37 → R = 270	
f_s (KHz)	V_o pengukuran (volt)
17,5	4,66
20	5,39
22,5	6,68
25	7,65
Q = 0,80 → R = 470	
f_s (KHz)	V_o pengukuran (volt)
17,5	5,91
20	6,90
22,5	8,09
25	9,03
Q = 0,55 → R = 680	
f_s (KHz)	V_o pengukuran (volt)
17,5	7,25
20	8,25
22,5	9,18
25	9,89
Q = 0,37 → R = 1000	
f_s (KHz)	V_o pengukuran (volt)
17,5	8,95
20	9,65
22,5	10,13
25	10,49

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



Gambar 7. Grafik tegangan keluaran mode operasi 2

Dari gambar 7 diketahui bahwa tegangan keluaran terbesar pada hasil pengukuran, rata-rata didapat pada saat nilai $Q = 0,37$. Sedangkan tegangan keluaran terkecil, rata-rata diperoleh pada saat nilai $Q = 1,39$. Sehingga dapat disimpulkan semakin kecil nilai Q , maka tegangan keluaran yang dihasilkan akan semakin besar

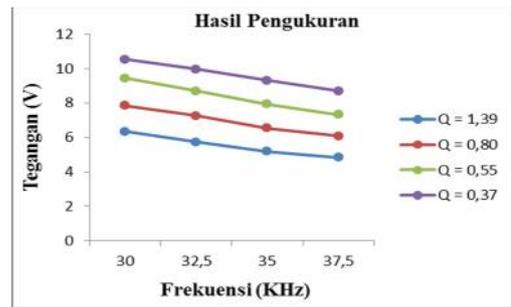
C. Mode Operasi Konduksi Kontinyu $s > 0$ (Mode 3)

Hasil pengukuran nilai tegangan keluaran pada saat mode operasi $s > 0$ dapat dilihat pada tabel 7 berikut.

Tabel 7. Hasil pengukuran nilai tegangan keluaran saat $s > 0$

Q=1,39 → R=270	
f_s (KHz)	V_0 pengukuran (volt)
30	6,35
32,5	5,74
35	5,20
37,5	4,85
Q=0,80 → R=470	
f_s (KHz)	V_0 pengukuran (volt)
30	7,86
32,5	7,27
35	6,54
37,5	6,08
Q=0,55 → R=680	
f_s (KHz)	V_0 pengukuran (volt)
30	9,43
32,5	8,70
35	7,94
37,5	7,33
Q=0,37 → R=1000	
f_s (KHz)	V_0 pengukuran (volt)
30	10,54
32,5	9,96
35	9,30
37,5	8,71

Dari tabel 7 diketahui bahwa semakin tinggi frekuensi *switching* maka tegangan keluaran yang dihasilkan akan semakin kecil. Hal tersebut berlaku untuk semua variasi nilai Q . Berikut ditampilkan grafik tegangan keluaran hasil pengukuran saat mode operasi $s > 0$.



Gambar 8. Grafik tegangan keluaran mode operasi 3

Dari gambar 8 diketahui bahwa tegangan keluaran terbesar pada hasil pengukuran, rata-rata didapat pada saat nilai $Q = 0,37$. Sedangkan tegangan keluaran terkecil, rata-rata diperoleh pada saat nilai $Q = 1,39$. Sehingga dapat disimpulkan semakin kecil nilai Q , maka tegangan keluaran yang dihasilkan akan semakin besar

Setelah dilakukan pengukuran nilai tegangan keluaran pada ketiga mode operasi di atas, diketahui adanya perbedaan nilai tegangan keluaran hasil pengukuran dengan nilai tegangan keluaran hasil perhitungan yang tercantum pada tabel 4. Perbedaan tersebut dapat disebabkan oleh beberapa hal, yaitu :

- Saat proses pembuatan alat terjadi efek parasitik yang terjadi pada saat pemasangan komponen pada jalur PCB yang disolder, hal tersebut dapat menimbulkan adanya penambahan nilai resistansi, kapasitansi, dan induktansi pada tiap-tiap rangkaian.
- Pada komponen tahanan beban (R) memiliki *skin effect* yaitu terjadinya perubahan nilai resistansi menjadi lebih besar sesuai dengan kenaikan frekuensi.
- Pada komponen induktor dan kapasitor juga memiliki nilai resistif.

Selain ketiga hal di atas, perbedaan nilai tegangan keluaran antara hasil pengukuran dengan hasil perhitungan disebabkan oleh perbedaan harga R pada rangkaian. Pada saat pengukuran, komponen R bukan hanya nilai tahanan pada beban saja. Tetapi nilai R pada saat pengukuran meliputi nilai tahanan total pada rangkaian. Sehingga pada saat pengukuran tegangan keluaran perangkat konverter, nilai R bisa berubah menjadi lebih besar karena pengaruh impedansi total rangkaian.

Sedangkan hasil perhitungan pada tabel 4 hanya mengasumsikan nilai R berupa nilai tahanan beban saja (R resistor) dan menghiraukan nilai R pada rangkaian. Sehingga nilai tegangan keluaran hasil perhitungan menjadi lebih kecil jika dibandingkan dengan nilai tegangan keluaran hasil pengukuran.

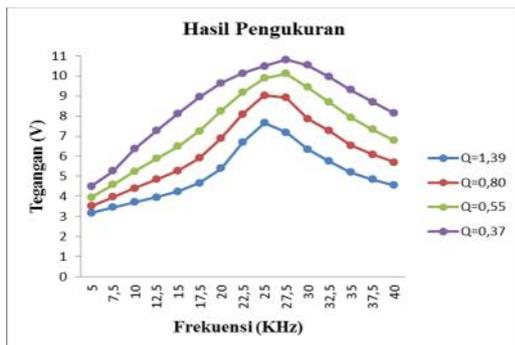
Untuk mengurangi selisih nilai tegangan keluaran antara hasil pengukuran dengan hasil perhitungan, terdapat beberapa hal yang dapat dilakukan, yaitu :

1. Menggunakan komponen elektronika yang memiliki nilai *internal resistance* rendah.
2. Mengurangi penggunaan kabel pada masing-masing blok rangkaian.
3. Memperpendek panjang jalur pada PCB.
4. Pada saat mensolder komponen elektronika pada papan PCB, diusahakan serapi mungkin sehingga meminimalkan penggunaan tenol.

Keempat langkah di atas diharapkan dapat meningkatkan unjuk kerja dari perangkat keras konverter. Sehingga selisih nilai tegangan keluaran antara hasil pengukuran dan hasil perhitungan dapat dikurangi.

3.4 Karakteristik Operasi Kondisi Mantap

Dari keseluruhan hasil pengujian nilai tegangan keluaran perangkat keras konverter di atas, jika ditampilkan dalam bentuk grafik, maka karakteristik operasi kondisi mantap dari konverter DC - DC resonansi beban seri terhadap perubahan nilai Q maupun frekuensi *switching* adalah sebagai berikut.



Gambar 9. Karakteristik operasi kondisi mantap hasil pengukuran

Dari gambar 15 diketahui bahwa konverter resonansi beban seri yang telah dibuat dapat mencapai tegangan maksimal, rata-rata pada frekuensi *switching* sebesar 26,50 KHz. Dengan tegangan maksimal yang dapat dicapai rata-rata sebesar 9,45 VDC.

Gambar 15 memiliki trend yang sama dengan kurva ideal karakteristik kondisi mantap pada 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 berangsur-angsur turun. Untuk nilai f_s yang sama, semakin kecil nilai Q, nilai R akan semakin besar dan V_o juga akan semakin tinggi. Pada konverter topologi resonansi beban seri, besarnya tegangan keluaran maksimum yang bisa dicapai hanya sebesar setengah tegangan masukannya ($V_{0\max} = \frac{1}{2} V_d$)

4. Kesimpulan

Hasil pengukuran tegangan keluaran konverter menunjukkan bahwa karakteristik operasi kondisi mantap rangkaian konverter resonansi beban seri yang telah dibuat memiliki trend yang sama dengan karakteristik idealnya. Pada hasil pengukuran, rata-rata nilai tegangan keluaran terbesar didapat saat nilai Q = 0,37 dan nilai tegangan keluaran terkecil didapat saat nilai Q = 1,39.

Penguatan pada konverter resonansi beban seri sangat dipengaruhi oleh faktor kualitas (Q). Faktor kualitas berdasarkan hasil percobaan dan pengujian ditentukan oleh besar nilai R pada rangkaian. Semakin besar nilai R rangkaian, maka nilai Q akan semakin kecil, dan nilai tegangan keluaran akan semakin besar. Begitu pula sebaliknya, jika nilai R rangkaian semakin kecil, maka nilai Q akan semakin besar, sehingga tegangan keluaran akan semakin kecil.

Nilai tegangan keluaran terbesar didapat pada saat konverter bekerja dengan frekuensi *switching* 30 KHz dan nilai Q = 0,37, dengan tegangan keluaran sebesar 10,54 volt DC. Sedangkan tegangan keluaran terkecil didapat pada saat konverter bekerja dengan frekuensi *switching* 5 KHz dan nilai Q = 1,39, dengan tegangan keluaran sebesar 3,18 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]. Arif Budiman, Rezon, *Perancangan Half Bridge Inverter Untuk Catu Daya Pemanas Induksi Pada Alat Extruder Plastik*, Universitas Diponegoro, 2012.
- [2]. Kazimierczuk Marian K, Czarkowski Darius, *Resonant Power Converter*, John Wiley and Sons, Inc.
- [3]. Lastiko Wibowo, Lutfi, *Analisis Kerja Inverter Setengah Jembatan Dengan Rangkaian Resonan Lc Seri*, Universitas Diponegoro, 2014.
- [4]. Mammano, B, *Resonant Mode Converter Topologies*, Unitrode Corporation, Texas, 2001.
- [5]. Panji Margaranu, Fitria, *Simulasi Dan Analisis Load Resonant & Quasi Resonant Dc - Dc Converters Dengan Psim Versi 4.1*, Universitas Diponegoro, 2008.
- [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*, University 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]. -----, *DC to DC Converter*, (<http://zmpulungan.wordpress.com/2012/11/18/dc-to-dc-converter/> diakses 23 November 2014 jam 3:12:40 PM).
- [11]. -----, *Pengertian dan Fungsi Kapasitor*, (<http://dasarelektronika.com/pengertian-dan-fungsi-kapasitor/> diakses 20 November 2014 jam 11:36:13 PM).
- [12]. -----, *Pengertian dan Fungsi Induktor*, (<http://dasarelektronika.com/pengertian-dan-fungsi-induktor/> diakses 20 November 2014 jam 11:00:13 PM).
- [13]. -----, *Pengertian dan Fungsi Dioda*, (<http://dasarelektronika.com/pengertian-dan-fungsi-dioda-2/> diakses 20 November 2014 jam 11:15:13 PM).
- [14]. -----, *LED (Light Emmitting Diode)*, (<http://elektronika-dasar.web.id/komponen/led-light-emitting-dioda/> diakses 23 November 2014 jam 4:08:13 PM).