

# PERANCANGAN DC-DC CONVERTERBUCK QUASI RESONANT DENGAN MODE PENSAKLARAN ZERO CURRENT SWITCHING (ZCS) DAN ZERO VOLTAGE SWITCHING (ZVS)

Renaldo Marsal<sup>\*)</sup>, Mochammad Facta, and Karnoto

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

<sup>\*)</sup>E-mail : [renaldo.marsal@gmail.com](mailto:renaldo.marsal@gmail.com)

## Abstrak

Proses pensaklaran DC-DC converter metode hard switching dilakukan pada kondisi arus mengalir ke beban sehingga menimbulkan rugi-rugi pensaklaran. Metode soft switching dikembangkan untuk meminimalkan rugi-rugi pensaklaran tersebut, salah satunya adalah dengan teknik quasi resonan. Pensaklaran saat arus nol dan/atau tegangan nol diharapkan dapat dicapai dengan teknik quasi resonan. Penelitian ini merancang suatu DC-DC converter dengan teknik quasi resonan. DC-DC converter yang dirancang menggunakan mode pensaklaran zero current switching (ZCS) dan zero voltage switching (ZVS). MOSFET IRF840 digunakan sebagai komponen pensaklaran dan IC TL494 sebagai osilator frekuensi pengontrol pemicuan MOSFET. Perancangan terdiri dari 2 blok utama, yaitu blok rangkaian daya dan blok rangkaian kontrol pemicuan. Hasil pengujian memperlihatkan DC-DC converter yang dirancang mampu melakukan proses pensaklaran saat arus nol untuk mode pensaklaran ZCS dan mampu melakukan pensaklaran saat tegangan nol untuk mode pensaklaran ZVS. Efisiensi tertinggi dari DC-DC converter sebesar 94,02% dicapai pada mode pensaklaran ZVS dengan variasi beban 68  $\Omega$  dan duty cycle 80%.

**Kata Kunci:** DC-DC converter, quasi resonant, ZCS, ZVS

## Abstract

Switching process of DC-DC converter using hard switching method is done on condition of current flows to load causing switching losses. Soft switching methods developed to minimize the switching losses, one of them is the quasi resonant technique. Switching at zero current and / or zero voltage are expected to be achieved using the quasi resonant technique. The research designs a DC-DC converter with quasi-resonant techniques. DC-DC converter is designed using zero current switching (ZCS) mode and zero voltage switching (ZVS) mode. IRF840 MOSFET is used as switching component and IC TL494 as trigger frequency oscillator of MOSFET. The design consists of two main blocks, namely the power circuit block and the triggers control circuit block. Test results showed the designed DC-DC converter is able to do switching process at zero current for ZCS mode and capable to do switching process at zero voltage for ZVS mode. The highest efficiency of the DC-DC converter of 94,02% was achieved in ZVS mode with a 68  $\Omega$  load variations and a duty cycle of 80%.

**Keyword:** DC-DC converter, quasi resonant, ZCS, ZVS

## 1. Pendahuluan

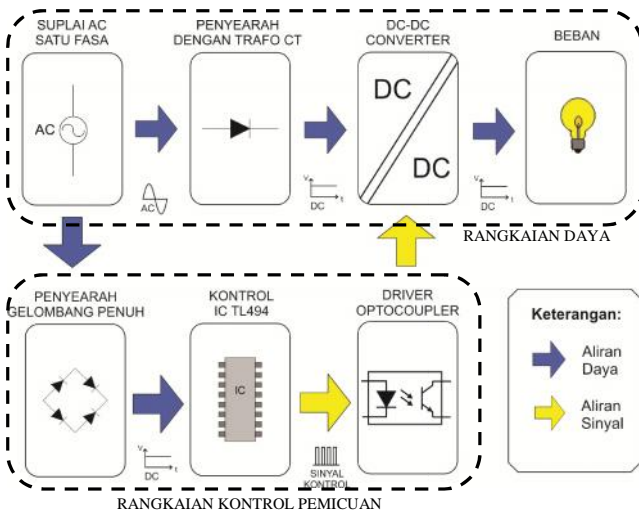
DC-DC converter mengubah besaran tegangan listrik arus searah dari suatu nilai menjadi nilai yang lain. Pada DC-DC converter dengan metode *hard switching* *Pulse Width Modulation* (PWM), pensaklaran bekerja pada kondisi arus beban mengalir sehingga menimbulkan rugi-rugi pensaklaran dan tekanan pensaklaran. Selain itu pensaklaran juga akan menimbulkan komponen  $di/dt$  dan  $dv/dt$  yang besar, yang kemudian akan menyebabkan timbulnya *EMI* (*Electro Magnetic Interference*).

Untuk mengatasi rugi-rugi tersebut dikembangkan metode *soft switching* menggunakan rangkaian resonansi, salah satunya adalah teknik *quasi resonant*. Teknik *quasi resonant* menghubungkan komponen resonansi, yaitu induktor dan kapasitor, dengan piranti pensaklaran sehingga dapat dicapai fenomena pensaklaran yang terjadi pada kondisi arus nol dan/atau tegangan nol.

## 2. Metode

Modul DC-DC converter pada penelitian PENELITIAN ini terdiri dari dua blok utama, yaitu blok rangkaian daya

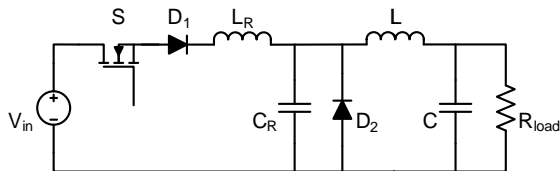
dan blok rangkaian kontrol pemucuan. Gambar 1 memperlihatkan blok diagram perancangan perangkat keras.



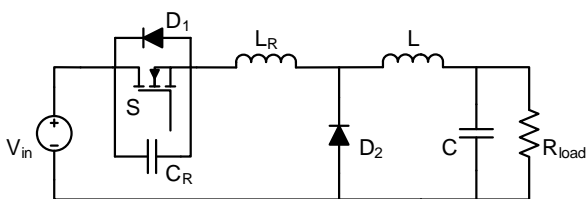
Gambar 1 Blok diagram perancangan alat

### 2.1 Perancangan Spesifikasi Modul DC-DC Converter

Tegangan sumber modul didapat dari penyearahan tegangan AC 25 Volt sehingga menjadi tegangan DC 35 Volt.



Gambar 2 Rangkaian DC-DC converter buckquasi resonant ZCS



Gambar 3 Rangkaian DC-DC converter buckquasi resonant ZVS

Frekuensi pensaklaran dan frekuensi resonansi ditentukan berdasarkan Persamaan 1 berikut :

$$f_0 \geq f_s \quad (1)$$

Pada penelitian ini frekuensi pensaklaran ( $f_s$ ) yang diinginkan adalah sebesar 15 kHz–45 kHz, dan ditetapkan frekuensi resonansi ( $f_0$ ) sebesar 48 kHz.

Kemudian menentukan nilai  $C_r$  dan  $L_r$  berdasarkan Persamaan 2 berikut :

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

Penentuan nilai  $C_r$  disesuaikan dengan kapasitor yang ada di pasaran dan dipilih nilai sebesar 220 nF. Dengan mengetahui nilai frekuensi resonansi dan  $C_r$  maka dapat dihitung nilai komponen  $L_r$  menggunakan Persamaan 2.

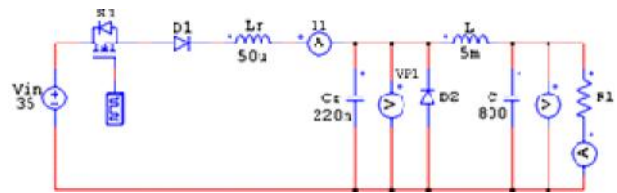
$$48 \cdot 10^3 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_r \cdot 220 \cdot 10^{-9}}}$$

$$L_r = \frac{1}{(2\pi \cdot 48 \cdot 10^3)^2 \times 220 \cdot 10^{-9}}$$

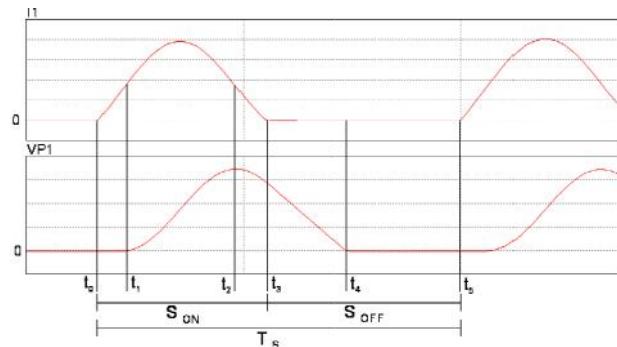
$$L_r = 50 \mu\text{H}$$

### 2.2 Simulasi Perancangan Modul DC-DC Converter

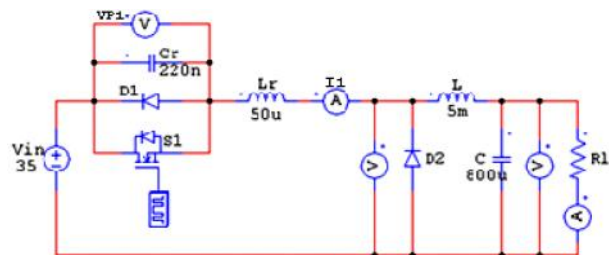
Untuk mengetahui karakteristik dan respon modul yang akan dibuat, maka dilakukan simulasi menggunakan software PSIM 9.0. Pada simulasi ini yang diamati adalah gelombang arus pada induktor  $L_r$  dan gelombang tegangan pada kapasitor  $C_r$ .



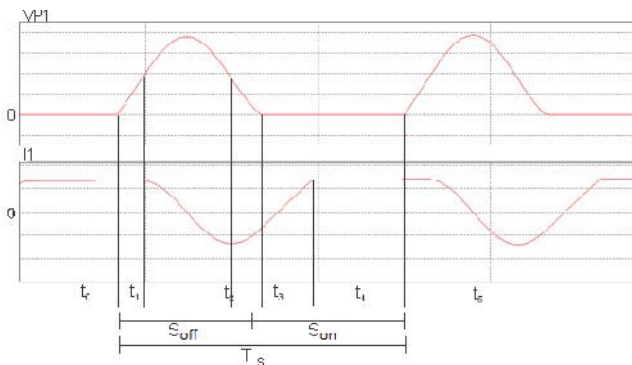
Gambar 4 Rangkaian simulasi DC-DC converter buckquasi resonant ZCS



Gambar 5 Hasil simulasi DC-DC converter buckquasi resonant ZCS



Gambar 6 Rangkaian simulasi DC-DC converter buckquasi resonant ZVS



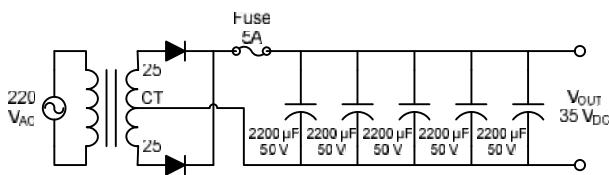
Gambar 7 Hasil simulasi DC-DC converter buckquasi resonant ZCS

Dari hasil simulasi yang dilakukan terlihat bahwa pada tipe pensaklaran ZCS, proses pensaklaran terjadi pada kondisi arus nol dan pada tipe pensaklaran ZVS, proses pensaklaran terjadi pada kondisi tegangan nol.

### 2.3 Perancangan Blok Rangkaian Daya

#### 2.3.1 Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh 1 Fasa dengan CT

Rangkaian penyearah ini berfungsi untuk memberikan suplai tegangan untuk rangkaian DC-DC converter.

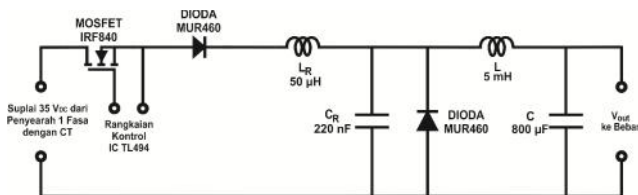


Gambar 8 Rangkaian penyearah gelombang penuh 1 fasadengan CT

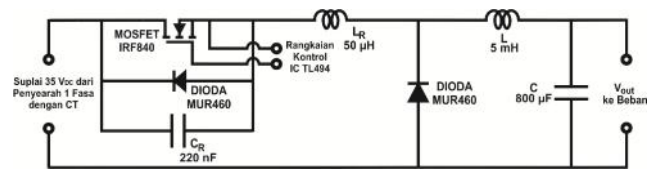
Tegangan jala-jala PLN 220 V<sub>AC</sub> diturunkan menjadi 25 V<sub>AC</sub> dengan trafo CT kemudian disearahkan sehingga menjadi 35 V<sub>DC</sub>. Hasil penyearahan kemudian ditapis menggunakan kapasitor. Pada rangkaian ditambahkan fuse 5A sebagai penganaman.

#### 2.3.2 Rangkaian DC-DC Converter

Skema DC-DC converterdiperlihatkanoleh Gambar 9 untuk mode pensaklaran ZCS dan Gambar 10 untuk mode pensaklaran ZVS.



Gambar 9 Skema DC-DC converterbuckquasiresonantZCS



Gambar 10 Skema DC-DC converterbuckquasiresonantZVS

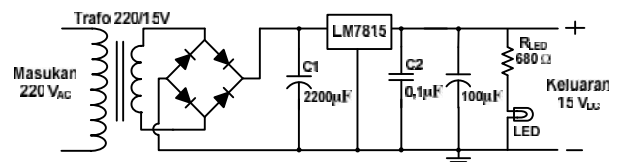
Pada Gambar 9 dan Gambar 10 dapat dilihat bahwa komponen pensaklaran pada rangkaian DC-DC converter menggunakan MOSFET IRF840. Berikut adalah komponen lengkap penyusun rangkaian DC-DC converter dalam PENELITIAN ini.

- S = MOSFET IRF840
- L<sub>R</sub> = induktor 50 μH
- C<sub>R</sub> = kapasitor MKM 220 nF
- D<sub>1</sub> & D<sub>2</sub> = Dioda MUR460
- L = induktor 5 mH
- C = kapasitor polar 800 μF

### 2.4 Perancangan Blok Rangkaian Kontrol Pemicuan

#### 2.4.1 Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh 1 Fasa

Rangkaian penyearah ini berguna untuk mensuplai IC TL494 dan rangkaian isolator pulsaoptocoupler.



Gambar 11 Rangkaian penyearah gelombang penuh 1 fasa

Penyearah ini menggunakan sumber jala-jala 220 V<sub>AC</sub> yang diturunkan dengan trafo menjadi 15 V<sub>AC</sub> yang kemudian disearahkan menggunakan dioda bridge menjadi 21,21 volt. Lalukeluaran tegangan tersebut ditapis menggunakan kapasitor 2200μF/35V. Untuk menstabilkan tegangan menjadi 15 V<sub>DC</sub> digunakan LM7815.

#### 2.4.2 Rangkaian Kontrol IC TL494

Dalam penelitian ini menggunakan IC TL494 sebagai komponen utama rangkaian kontrol pemicuan.

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

$$f_{osc} = \frac{1,1}{R_T \cdot C_T} \quad (3)$$

Kapasitor yang digunakan sebesar 10 nF sehingga nilai resistor adalah

$$R_T = \frac{1,1}{f_{osc} \cdot C_T} \quad (4)$$

Pada frekuensi maksimal 45 kHz

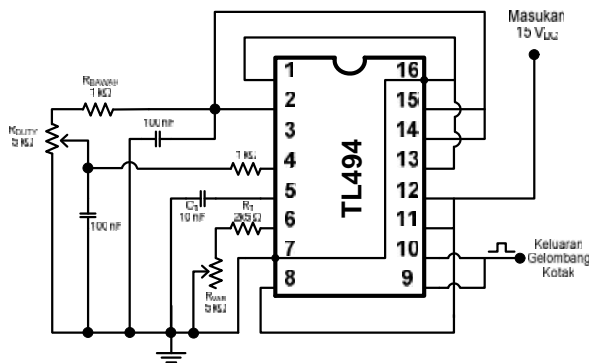
$$R_T = \frac{1,1}{45000 \cdot 10^{-8}} = 2.444,44$$

Pada frekuensi minimal 15 kHz

$$R_T = \frac{1,1}{15000 \cdot 10^{-8}} = 7.333,33$$

$R_T$  memiliki rentang nilai 2.444,44 – 7.333,33 . Rentang nilai tersebut dicapai menggunakan komponen R dan  $R_{VAR}$  yang dirangkai seri. Kemudian menyesuaikan dengan nilai komponen yang tersedia dipasaran yaitu :

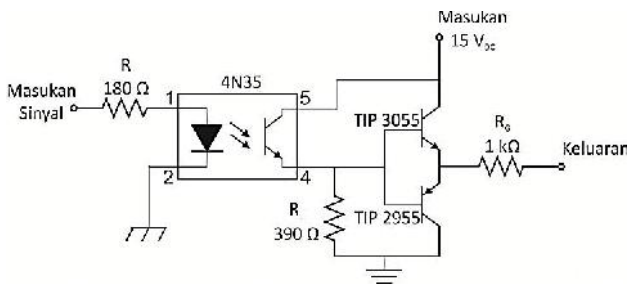
- $C_T$  : 10 nF
- R : 2500
- $R_{VAR}$  : 5 k



Gambar 12 Rangkaian kontrol IC TL494

### 2.4.3 Rangkaian Isolator Pulsa Optocoupler

Rangkaian isolator pulsa *optocoupler* memiliki fungsi memberikan perlindungan pada rangkaian kontrol bila terjadi kesalahan atau gangguan pada rangkaian daya.



Gambar 13 Rangkaian isolator pulsaoptocoupler

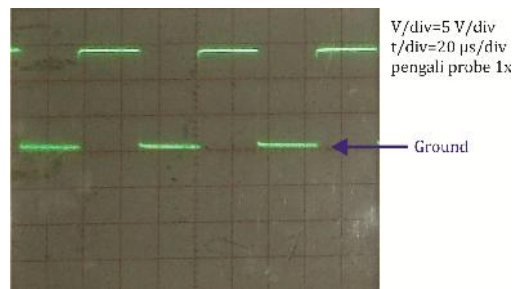
Komponen utama rangkaian isolator pulsa *optocoupler* dalam penelitian ini adalah *optocoupler* 4N35 yang memiliki 6 pin dalam dua jalur.

## 3. Hasil dan Analisa

### 3.1 Pengujian

#### 3.1.1 Pengujian Rangkaian Kontrol

Pengujian dilakukan dengan menghubungkan *probe* osiloskop dengan terminal keluaran rangkaian kontrol IC TL494.



Gambar 14 Gelombang keluaran rangkaian kontrol

Dari gambar gelombang keluaran tersebut dapat dihitung frekuensi dan tegangan sebagai berikut:

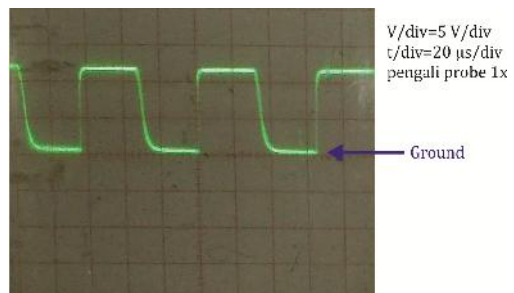
$$T = 3,3 \times 20 \mu\text{s/div} = 66\mu\text{s}, \text{ maka } f = \frac{1}{T} = \frac{1}{66\mu\text{s}} = 15 \text{ kHz}$$

$$V_{pp} = 2,8 \times 5 \text{ V/div} = 14 \text{ Volt}$$

Frekuensi yang terukur sebesar 15 kHz dan tegangan  $V_{pp}$  14 volt. Gelombang ini selanjutnya menjadi sinyal masukan rangkaian isolator pulsa *optocoupler*.

#### 3.1.2 Pengujian Rangkaian Isolator Pulsa Optocoupler

Pengujian dilakukan dengan menghubungkan *probe* osiloskop dengan terminal keluaran rangkaian isolator pulsa *optocoupler*.



Gambar 15 Gelombang keluaran rangkaian isolator pulsaoptocoupler

Dari gambar gelombang keluaran tersebut dapat dihitung frekuensi dan tegangan sebagai berikut:

$$T = 3,3 \times 20 \mu\text{s/div} = 66\mu\text{s}, \text{ maka } f = \frac{1}{T} = \frac{1}{66\mu\text{s}} = 15 \text{ kHz}$$

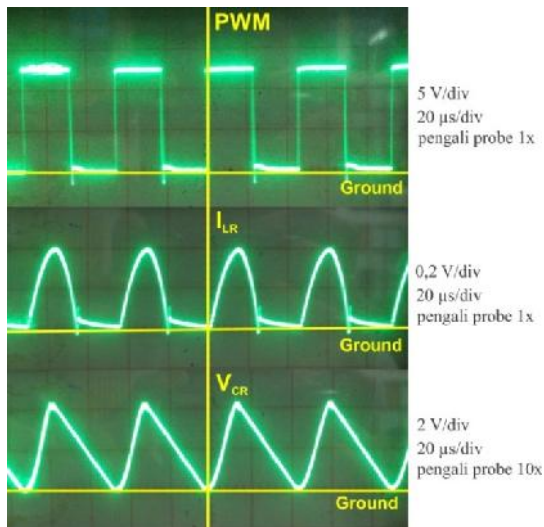
$$V_{pp} = 2,4 \times 5 \text{ V/div} = 12 \text{ Volt}$$

Frekuensi yang terukur sebesar 15 kHz dan tegangan  $V_{pp}$  12 volt. Nilai ini sudah memenuhi spesifikasi untuk pemicuan MOSFET.

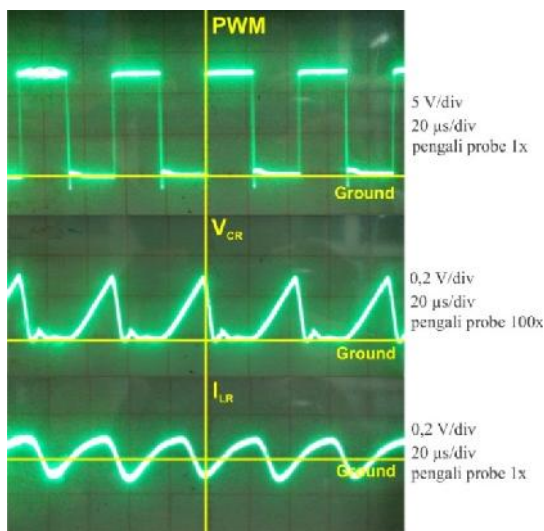
#### 3.1.3 Pengujian DC-DC Converter

Gelombang yang diamati adalah gelombang arus pada komponen  $L_r$  dan gelombang tegangan pada komponen  $C_r$  untuk mengetahui proses pensaklaran yang terjadi. *Sample* pengujian DC-DC *converter* dilakukan pada variasi beban

R=68 , duty cycle 50% dan frekuensi pensaklaran 20,8 kHz.



Gambar 16 Gelombang pengujian DC-DC converter mode pensaklaran ZCS



Gambar 17 Gelombang pengujian DC-DC converter mode pensaklaran ZVS

Padamode ZCS, pensaklaran saat arus nol terjadi pada proses saklar *on*, sedangkan proses saklar *off* tidak terjadi saat arus nol. Padamode ZVS, pensaklaran saat tegangan nol terjadi pada proses saklar *off*, sedangkan proses saklar *on* tidak terjadi saat tegangan nol.

### 3.2 Analisis dan Pengujian Rangkaian DC-DC Converter

#### 3.2.1 Tegangan DC-DC Converter Variasi Duty Cycle

Pengukuran tegangan dengan variasi *duty cycle* dilakukan dengan 5 variasi nilai, yaitu: 0%, 20%, 40%, 60%, dan

80%.Data pengukuran yang diambil adalah nilai tegangan masukan dan tegangan keluaran dari DC-DC converter.

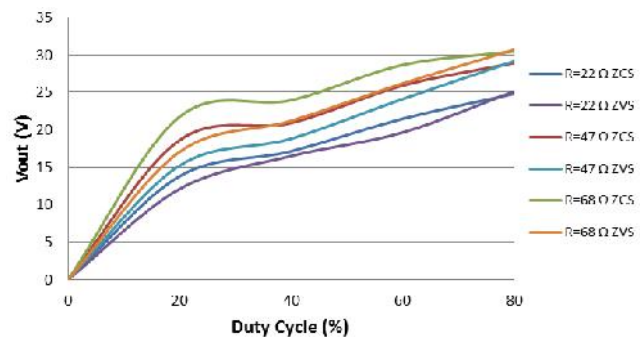
Tabel 1 Data pengukuran tegangan DC-DC converterbuck quasi resonant ZCS variasi duty cycle

Duty Cycle (%)	Tegangan (V)					
	R = 22		R = 47		R = 68	
	Vin	Vout	Vin	Vout	Vin	Vout
0	36,50	0	36,40	0	36,30	0
20	33,55	13,78	33,90	18,60	33,84	21,72
40	32,30	17,12	33,34	20,90	33,60	23,94
60	30,92	21,46	32,40	25,90	32,86	28,64
80	29,55	24,80	31,80	28,90	32,70	30,45

Tabel 2 Data pengukuran tegangan DC-DC converterbuck quasi resonant ZVS variasi duty cycle

Duty Cycle (%)	Tegangan (V)					
	R = 22		R = 47		R = 68	
	Vin	Vout	Vin	Vout	Vin	Vout
0	35,55	0	35,50	0	35,45	0
20	33,25	12,08	33,88	15,20	34,22	17,03
40	32,65	16,48	33,36	18,80	33,47	21,17
60	31,48	19,63	32,26	24,10	32,32	26,18
80	29,35	25,12	31,77	29,14	32,62	30,67

Pada mode pensaklaran ZCS maupun ZVS, tegangan keluaran naik seiring kenaikan *duty cycle*. Tegangan keluaran juga naik seiring kenaikan variasi resistansi beban yang digunakan. Dari hasil pengukuran Tabel 1 dan Tabel 2 didapatkan grafik hubungan *duty cycle* dengan tegangan keluaran sebagai berikut :



Gambar 18 Grafik D-Vout DC-DC Converter

#### 3.2.2 Tegangan DC-DC Converter Variasi Frekuensi Pensaklaran

Pengukuran tegangan dengan variasi frekuensi pensaklaran dilakukan dengan 5 variasi nilai, yaitu: 18 kHz, 24 kHz, 30 kHz, 36 kHz, dan 42 kHz. Data pengukuran yang diambil adalah nilai tegangan masukan dan tegangan keluaran dari DC-DC converter.

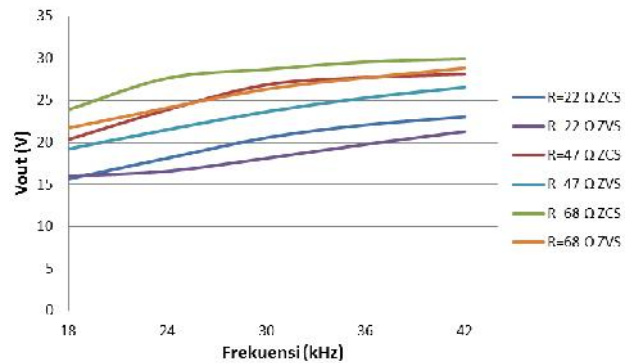
**Tabel 3** Data pengukuran tegangan DC-DC *converter* buck quasi resonant ZCS variasi frekuensi

Fs (kHz)	Tegangan (V)					
	R = 22		R = 47		R = 68	
	Vin	Vout	Vin	Vout	Vin	Vout
18	33,14	15,66	33,72	20,35	33,88	23,90
24	32,35	18,13	32,86	23,90	33,05	27,65
30	30,92	20,56	32,11	26,86	32,90	28,70
36	30,02	22,08	31,85	27,74	32,86	29,58
42	29,75	23,04	31,84	28,12	32,84	29,94

**Tabel 4** Data pengukuran tegangan DC-DC *converter* buck quasi resonant ZCS variasi frekuensi

Fs (kHz)	Tegangan (V)					
	R = 22		R = 47		R = 68	
	Vin	Vout	Vin	Vout	Vin	Vout
18	32,53	16,00	33,27	19,23	33,83	21,71
24	31,56	16,58	32,92	21,52	33,05	24,12
30	31,32	18,12	32,65	23,66	33,36	26,34
36	30,56	19,78	32,42	25,31	33,20	27,70
42	30,25	21,30	32,22	26,55	33,17	28,84

Pada mode pensaklaran ZCS maupun ZVS, tegangan keluaran naik seiring kenaikan frekuensi pensaklaran. Tegangan keluaran juga naik seiring kenaikan variasi resistansi beban yang digunakan. Dari hasil pengukuran Tabel 3 dan Tabel 4 didapatkan grafik hubungan antara frekuensi pensaklaran dengan tegangan keluaran sebagai berikut :



**Gambar 19** Grafik Fs-Vout DC-DC Converter

### 3.2.3 Efisiensi DC-DC Converter

Pengujian efisiensi dilakukan dengan variasi *duty cycle* untuk untuk masing-masing variasi resistansi beban. Variasi *duty cycle* dilakukan dengan 5 variasi nilai yaitu 0%, 20%, 40%, 60%, dan 80%, sedangkan variasi beban yang digunakan adalah 22 , 47 , dan 68 . Persamaan umum efisiensi suatu alat listrik dijelaskan oleh persamaan berikut :

$$\text{Efisiensi (\%)} = \frac{\text{Daya keluaran}}{\text{Daya masukan}} \times 100\% \quad (3)$$

$$= \frac{V_{out} \times I_{out}}{V_{in} \times I_{in}} \times 100\% \quad (4)$$

Data pengukuran yang diambil adalah nilai tegangan masukan, tegangan keluaran, arus masukan dan arus keluaran dari modul DC-DC *converter*.

**Tabel 5** Data pengukuran tegangan dan arus DC-DC *converter* ZCS

Duty Cycle (%)	R=22				R=47				R=68			
	Vin (V)	Vout (V)	Iin (A)	Iout (A)	Vin (V)	Vout (V)	Iin (A)	Iout (A)	Vin (V)	Vout (V)	Iin (A)	Iout (A)
0	36.50	0	0	0	36.40	0	0	0	36.30	0	0	0
20	33.55	13.78	0.35	0.63	33.90	18.60	0.30	0.41	33.84	21.72	0.27	0.33
40	32.30	17.12	0.56	0.81	33.34	20.90	0.38	0.48	33.60	23.94	0.32	0.38
60	30.92	21.46	0.83	0.96	32.40	25.90	0.53	0.57	32.86	28.64	0.44	0.44
80	29.55	24.80	1.10	1.10	31.80	28.90	0.68	0.68	32.70	30.45	0.46	0.46

**Tabel 6** Data pengukuran tegangan dan arus DC-DC *converter* ZVS

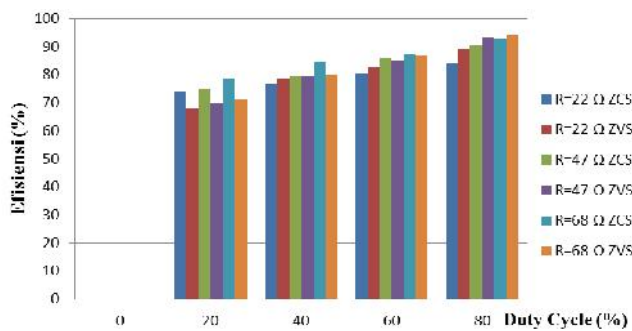
Duty Cycle (%)	R=22				R=47				R=68			
	Vin (V)	Vout (V)	Iin (A)	Iout (A)	Vin (V)	Vout (V)	Iin (A)	Iout (A)	Vin (V)	Vout (V)	Iin (A)	Iout (A)
0	35.55	0	0	0	35.50	0	0	0	35.45	0	0	0
20	33.25	12.08	0.32	0.60	33.88	15.20	0.25	0.39	34.22	17.03	0.21	0.30
40	32.65	16.48	0.50	0.78	33.36	18.80	0.32	0.45	33.47	21.17	0.30	0.38
60	31.48	19.63	0.70	0.93	32.26	24.10	0.51	0.58	32.32	26.18	0.41	0.44
80	29.35	25.12	1.12	1.17	31.77	29.14	0.63	0.64	32.62	30.67	0.48	0.48

Dari data pada Tabel 5 dan Tabel 6 didapatkan hasil perhitungan efisiensi modul DC-DC converter sebagai berikut :

Tabel 7 Hasil perhitungan efisiensi modul DC-DC converter

Duty Cycle (%)	Efisiensi (%)					
	R=22		R=47		R=68	
	ZCS	ZVS	ZCS	ZVS	ZCS	ZVS
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20	73.93	68.12	74.99	69.99	78.45	71.09
40	76.67	78.74	79.18	79.25	84.61	80.12
60	80.28	82.85	85.97	84.96	87.16	86.93
80	83.93	89.41	90.88	93.18	93.12	94.02

Selanjutnya data hasil perhitungan efisiensi modul DC-DC converter yang terdapat pada Tabel 7 disajikan dalam bentuk grafik batang berikut :



Gambar 20 Grafik efisiensi modul DC-DC converter

Tabel 7 dan Gambar 20 memperlihatkan bahwa nilai efisiensi akan naik seiring dengan kenaikan nilai *duty cycle* yang digunakan baik pada mode pensaklaran ZCS maupun mode pensaklaran ZVS. Untuk variasi resistansi beban yang diuji, efisiensi akan meningkat seiring kenaikan nilai resistansi beban yang digunakan baik pada mode pensaklaran ZCS maupun mode pensaklaran ZVS

#### 4. Kesimpulan

1. Pada modul perangkat keras yang dibuat, tercapai kondisi pensaklaran ZCS dan ZVS dengan tegangan masukan sebesar 35 V<sub>DC</sub>.
2. Tegangan keluaran DC-DC converter tidak mencapai tujuan sebesar 0–35 Volt, yang dapat dicapai sebesar 0–30,67 Volt.
3. Duty cycle DC-DC converter tidak mencapai tujuan sebesar 0–90%, yang dapat dicapai sebesar 0–80%.
4. Frekuensi pensaklaran DC-DC converter sedikit menyimpang dari tujuan sebesar 15 kHz–45 kHz, yang dapat dicapai sebesar 15,2 kHz–45,5 kHz.
5. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, modul DC-DC converter yang dirancang mampu melakukan proses pensaklaran saat arus nol untuk mode pensaklaran ZCS dan mampu melakukan pensaklaran saat tegangan nol untuk mode pensaklaran ZVS,

dengan *error* berupa terjadi osilasi saat pensaklaran akibat adanya efek parasitik pada rangkaian perangkat keras.

6. Pada pengujian tegangan keluaran dengan variasi *duty cycle*, tegangan keluaran akan naik seiring kenaikan *duty cycle* untuk kedua mode pensaklaran. Nilai tegangan keluaran tertinggi mode pensaklaran ZCS sebesar 30,45 Volt, sedangkan mode pensaklaran ZVS sebesar 30,67 Volt.
7. Pada pengujian tegangan keluaran dengan variasi frekuensi pensaklaran, tegangan keluaran akan naik seiring kenaikan frekuensi pensaklaran untuk kedua mode pensaklaran. Nilai tegangan keluaran tertinggi mode pensaklaran ZCS sebesar 29,94 Volt, sedangkan mode pensaklaran ZVS sebesar 28,84 Volt.
8. Nilai efisiensi tertinggi yang dapat dicapai sebesar 94,02% pada mode pensaklaran ZVS dengan resistansi beban 68 dan variasi *duty cycle* 80%.

#### Referensi

- [1]. Rashid, Muhammad H. *Power Electronics Circuits, Devices, and Applications 3<sup>rd</sup> ed.* Prentice-Hall International Inc. United States. 2011.
- [2]. Ahmad, Shahab, and K.P. Singh, *Simulation of Step-Down/Step-Up Converter Implemented With ZCS Soft Switching.* VSRD-IJEECE, Vol. 2 (9), 695-704. 2012.
- [3]. Margaranu, Fitria Panji. *Simulasi dan Analisis Load Resonant & Quasi Resonant DC-DC Converters dengan PSIM Versi 4.1.* Skripsi S-1. Universitas Diponegoro. 2008.
- [4]. Safarudin, Yanuar Mahfudz. *Perancangan Modul Praktikum Inverter Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM) 2 Level, 3 Level dan Sinusoidal.* Skripsi S-1. Universitas Diponegoro. 2013.
- [5]. Prasetya, Destario Yan. *Perancangan Pembangkit Tegangan Tinggi AC untuk Proses Reduksi Asap Rokok Menggunakan Inverter Frekuensi Tinggi.* Skripsi S-1. Universitas Diponegoro. 2012.
- [6]. Hart, D.W. *Introduction To Power Electronics.* Prentice-Hall International Inc. New Jersey. 1997.
- [7]. Mohan, Ned, T.M. Undeland, and W.P. Robbins. *Power Electronics: Converters Applications, and Design 2<sup>nd</sup>ed.* John Wiley & Sons Inc. New York. 1989.
- [8]. Pratama, Gigih Mahartoto. *Analisis Perbandingan Hasil Operasi CCM dan DCM pada DC Chopper Tipe Cuk.* Skripsi S-1. Universitas Diponegoro. 2014.
- [9]. Luo, Fang Lin, Hong Ye. *Advanced DC/DC Converters.* CRC PRESS. Florida. 2004.
- [10]. Andreyckak, Bill. *Zero Voltage Switching Resonant Power Conversion.* Texas Instruments Inc. United States. 1999.
- [11]. Hosseini, S.H. and M. Almaleki. *Frequency & Duty Cycle Control Considerations for Soft-Switching Buck Chopper.* University of Tabriz.
- [12]. <http://www.alldatasheet.com/>