

PERANCANGAN ZERO VOLTAGE SWITCHING BUCK CONVERTER DENGAN BEBAN RESISTIF BERVARIASI DAN SEBAGAI CATU DAYA UNTUK MOTOR ARUS SEARAH

Zya Jamaluddin Al-Rasyid Arief Rahman^{*)}, Jaka Windarta, dan Hermawan

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

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

Abstrak

Penggunaan konverter arus searah sebagai penghasil tegangan arus searah sudah mengalami perkembangan. Rangkaian konverter arus searah diatur dengan menggunakan rangkaian kontrol Pulse Width Modulation (PWM) yang digunakan sebagai pengendali saklar. Proses ketika saklar mengalami kondisi nyala dan mati mengakibatkan terjadinya rugi-rugi pensaklaran. Masalah tersebut dapat diatasi dengan menggunakan metode soft-switching. Salah satu metode soft-switching yang digunakan adalah Zero Voltage Switching (ZVS). Teknik pensaklaran ZVS dapat membuat saklar bekerja ketika tegangan bernilai nol. Teknik pensaklaran tegangan nol ini dapat mengurangi rugi - rugi pensaklaran yang terjadi, sehingga dapat meningkatkan efisiensi konverter arus searah yang digunakan sebagai catu daya motor arus searah. Berdasarkan hasil pengujian, rangkaian konverter arus searah tipe ZVS buck converter dapat menghasilkan daya keluaran sebesar 103,77 watt dengan nilai efisiensi sebesar 94,83%. Nilai efisiensi tertinggi terjadi ketika diberi beban statis berupa resistor 500 Ω sebesar 99,77%.

Kata kunci : motor arus searah, rugi-rugi pensaklaran soft-switching, ZVS Buck Converter

Abstract

The use of DC-DC converter for make DC voltage nowadays has developed. The DC-DC converter uses electronic component that one of them is the switch, which is controlled by control circuit with Pulse Width Modulation (PWM). The process turn on and off of the switch cause switching power loss. This problem can be solved by using the soft-switching technique. One of the soft-switching method that can be used is Zero Voltage Switching (ZVS). This technique lead to zero voltage during switching transition. This technique can decreases the switching losses, so the efficiency DC-DC converter for supply direct current motor can be increased. Based on the test result, ZVS buck coverter can produce power 103,77 watt with the value of efficiency 94,83%. The highest value of efficiency occur when the converter given static load form resistor was 99,77%.

Keywords : direct current motor, switching power loss, soft-switching, ZVS Buck Converter

1. Pendahuluan

Motor listrik telah mengalami kemajuan yang cukup signifikan. Motor listrik memiliki efisien yang cukup tinggi jika dibandingkan dengan motor konvensional. Salah satu jenis motor yang sering digunakan yaitu motor DC (motor arus searah). Hal ini dikarenakan motor arus searah memiliki keunggulan seperti torsi awal yang besar dan metode pengendalian putarannya sederhana. Pada mulanya, salah satu dengan cara memutar autotrafo. Namun, penggunaan autotrafo memiliki banyak kelemahan salah satunya ditinjau dari segi ekonomis [1].

Salah satu metode alternatif yang dapat digunakan sebagai catu daya motor arus searah adalah dengan menggunakan perangkat elektronika daya. Perangkat

elektronika daya yang digunakan dapat berupa penyearah terkontrol (*controlled rectifier*)[1], [2] maupun menggunakan *DC-DC converter (dc chopper)*[3], [4]. Rangkaian konverter arus searah dengan menggunakan rangkaian kontrol *Pulse Width Modulation* (PWM) beroperasi berdasarkan mode saklar, dimana seluruh arus beban mengalir ketika saklar menyala dan mati selama mode pensaklaran berlangsung. Komponen yang digunakan untuk menjalankan fungsi penghubung tersebut tidak lain adalah saklar yang dapat dikontrol seperti *thyristor* dan MOSFET[5].

Mode pensaklaran ini dapat menimbulkan rugi-rugi pensaklaran. Salah satu cara meningkatkan efisiensi yaitu dengan cara menggunakan *soft-switching* sebagai pengganti metode pensaklaran konvensional atau *hard-switching* yang digunakan.

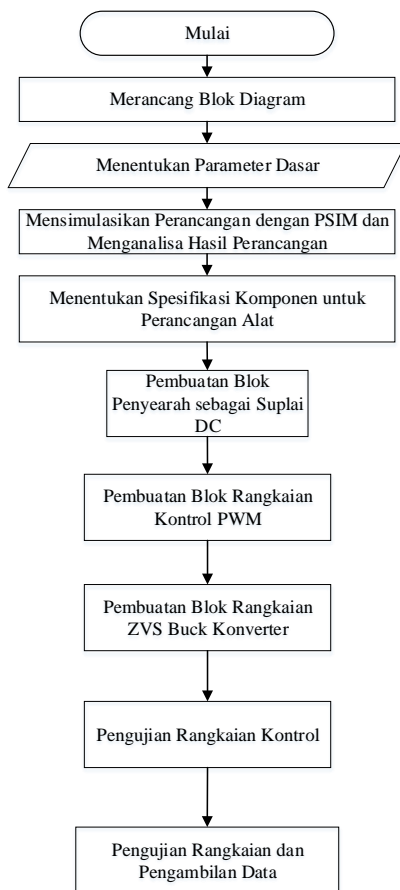
Salah satu teknik pensaklaran *soft-switching* yaitu *Zero Voltage Switching (ZVS)*. ZVS dapat membuat saklar bekerja ketika tegangan bernilai nol. Teknik pensaklaran tegangan nol ini dapat mengurangi rugi-rugi pensaklaran dan meningkatkan efisiensi dari *buck converter* yang digunakan sebagai catu daya motor arus searah.

Pada Penelitian ini akan dirancang modul perangkat keras konverter arus searah tipe *buck* dengan mode pensaklaran ZVS dengan beban resistif dan sebagaicatu daya motor arus searah.

2. Metode

2.1. Langkah Penelitian

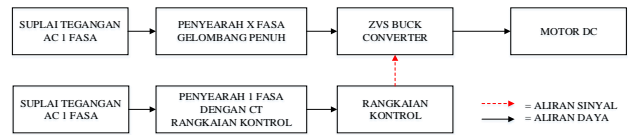
Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap - tahapan yang ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart Penelitian

2.2. Perancangan

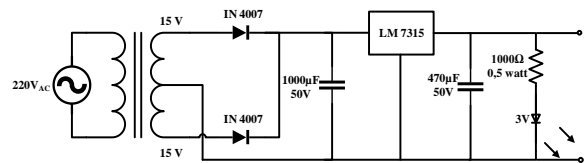
Perancangan alat untuk Penelitian ini terdiri dari rangkaian penyearah (*rectifier*), rangkaian *zero voltage switching buck converter*, rangkaian kontrol PWM dan akumulator. Gambar 2 menunjukkan blok diagram alat keseluruhan.



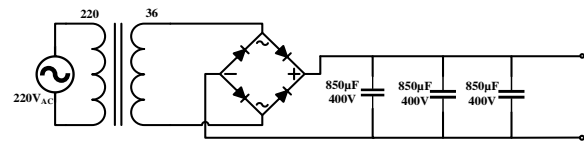
Gambar 2. Blok Diagram Alat

2.2.1. Penyearah

Penyearah berfungsi sebagai pengubah sinyal bolak-balik (AC) menjadi sinyal searah (DC). Rangkaian penyearah ini digunakan sebagai suplai daya rangkaian kontrol PWM dan suplai daya konverter arus searah. Gambar 3 menunjukkan rangkaian penyearah dengan trafo *center tap* (CT) dan Gambar 4 menunjukkan rangkaian penyearah *full bridge* (jembatan penuh). Penyearah pada Penelitian ini dilengkapi dengan kapasitor sebagai filter tegangan keluaran.



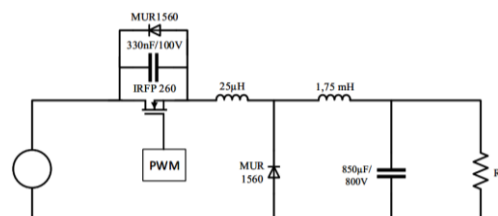
Gambar 3. Rangkaian Penyearah dengan CT



Gambar 4. Rangkaian Penyearah Jembatan Penuh

2.2.2. Zero Voltage Switching Buck Converter

Konverter arus searah tipe *ZVS Buck Converter* digunakan sebagai penyedia tegangan DC sebagai catu daya motor arus searah.



Gambar 5. Rangkaian ZVS Buck Converter

Komponen-komponen penyusun yang digunakan pada konverter arus searah tipe *ZVS Buck Converter* antara lain:

1. Sumber DC

Sumber DC yang dipakai untuk menyuplai rangkaian konverter arus searah didapat dari rangkaian penyearah.

Sumber DC ini memberikan tegangan DC sebesar 51 V untuk mensuplai rangkaian konverter arus searah.

2. Induktor Resonansi dan Kapasitor Resonansi
Komponen C_r dan L_r dapat dihitung dengan menentukan frekuensi pensaklaran dan frekuensi resonansi dengan syarat berdasarkan Persamaan 1

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

dimana

f_o = frekuensi resonansi

f_s = frekuensi pensaklaran

Pada Penelitian ini frekuensi pensaklaran yang diinginkan adalah sebesar 15 kHz – 45 kHz, dan ditetapkan frekuensi resonansi sebesar 55 kHz.

Nilai C_r dan L_r ditentukan berdasarkan Persamaan 2 berikut

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

Penentuan kapasitor C_r disesuaikan dengan kapasitor yang ada di pasaran dan dipilih nilai sebesar 33nF. Dengan mengetahui nilai frekuensi resonansi dan C_r maka dapat dihitung nilai komponen L_r menggunakan persamaan (2).

$$L_r = \frac{1}{(2\pi f_o)^2 C_r}$$

$$L_r = \frac{1}{(2\pi \times 55000)^2 \times 330 \times 10^{-9}}$$

$$L_r = 25,374 \mu H$$

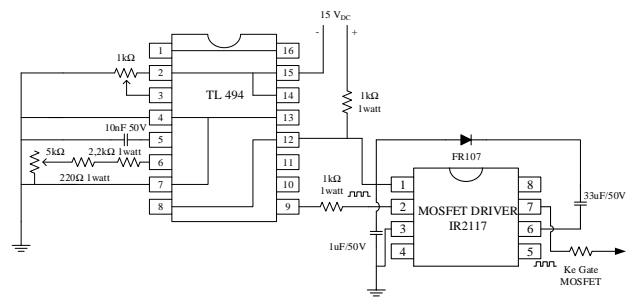
3. Saklar

Pemilihan MOSFET harus mempertimbangkan nilai tegangan dan arus operasi. Tegangan masukan Konverter arus searah adalah 51 volt.

MOSFET yang digunakan adalah MOSFET IRFP260. MOSFET IRFP260 dapat beroperasi pada tegangan maksimal antara *drain* dan *source* sebesar 200 volt dan mampu mengalirkan arus hingga 50 ampere[6].

4. Rangkaian PWM

Rangkaian PWM digunakan untuk pemicuan MOSFET. Penelitian ini menggunakan IC TL494 sebagai pembangkit PWM. Pada Penelitian ini driver yang digunakan MOSFET *driver* sebagai penguat sinyal pemicuan untuk MOSFET. MOSFET *driver* yang digunakan jenis IR2117 yang mempunyai 1 masukan dan 1 keluaran.



Gambar 6. Rangkaian PWM

Besarnya frekuensi osilasi maksimal dari rangkaian PWM dapat ditentukan dengan persamaan 3 dibawah ini [7]:

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

Besar nilai komponen yang digunakan ialah:

C_T : 10nF/50V

$R_{T_{Var}}$: 5kΩ

$R_{T_{Fix}}$: 2200 dan 220 Ω/1W

R_{Var} : 1kΩ

Maka, dengan memasukkan nilai resistor dan kapasitor pada Persamaan 3.7 didapat:

$$R_T = \frac{1,1}{45000 \cdot 10^{-8}} = 2.444,44 \Omega \quad (R_{var} = 0\Omega)$$

$$R_T = \frac{1,1}{15000 \cdot 10^{-8}} = 7.333,33 \Omega \quad (R_{var} = 5k\Omega)$$

5. Dioda

Dioda yang digunakan adalah MUR 1560. Dioda ini dipilih karena mempunyai sifat *ultrafast recovery* dengan waktu pemulihan 60ns [8].

6. Tapis Kapasitor dan Induktor

Pada perancangan Penelitian ini, penentuan komponen tapis kapasitor dan induktor adalah dengan dipakai komponen dengan nilai yang relatif cukup besar jika dibandingkan dengan nilai komponen resonansinya. Kapasitor yang digunakan adalah sebesar 850μF/450V dan Induktor yang digunakan adalah sebesar 1,75mH.

7. Motor Arus Searah

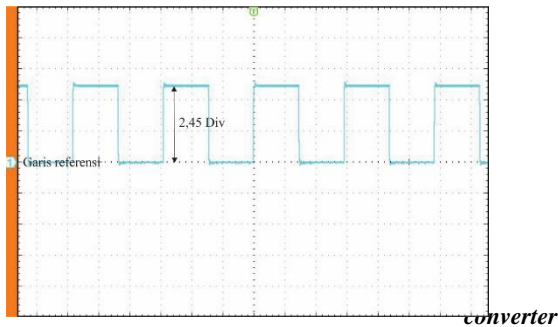
Motor arus yang digunakan pada pengujian Penelitian ini adalah motor arus searah merek dunkenmotoren dengan tipe GR 53x58. Pemilihan merek dan tipe motor arus searah dalam penelitian ini karena motor arus searah tersebut mudah ditemukan dipasaran dan memiliki tegangan kerja sesuai dengan *ZVS buck Konverter*.

3. Hasil dan Analisa

3.1. Pengujian Rangkaian Konverter Arus Searah

3.1.1. Pengujian Rangkaian PWM

Pengujian rangkaian PWM dilakukan dengan menghubungkan probe osiloskop dengan terminal keluaran rangkaian. Hasil pengujian diperlihatkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Gelombang Keluaran Rangkaian Kontrol ($v/div = 5$, $T/div = 10\mu s$)

Berdasarkan Gambar 7 diketahui tegangan keluaran rangkaian sebesar 2,9 div dengan skala probe 1X, sehingga nilainya dapat dihitung:

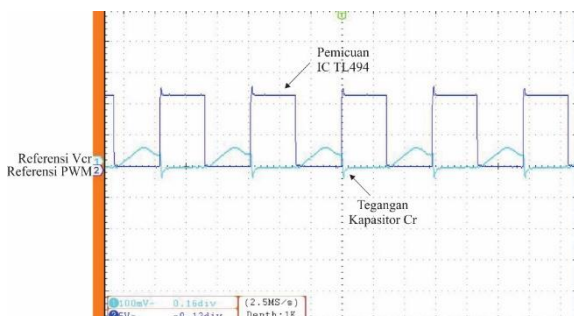
$$V_{pp} = 2,45div \times \frac{5V}{div} \times 1$$

$$V_{pp} = 12,25 V$$

Gelombang ini selanjutnya menjadi sinyal pemicuan pada MOSFET.

3.1.2. Pengujian Mode Pensaklaran ZVS

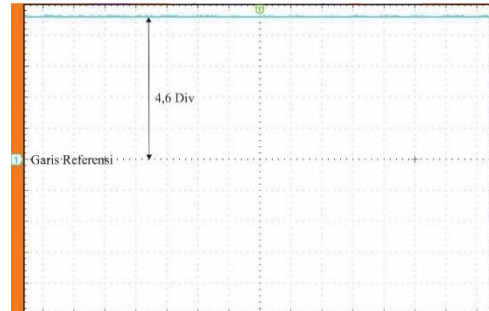
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui proses pensaklaran ketika arus nol. Gelombang yang diamati adalah gelombang keluaran IC TL 494 dan gelombang tegangan kapasitor C_r . Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Gelombang Pemicuan IC TL 494 dan Tegangan Kapasitor V_{Cr}

Berdasarkan Gambar 7 dapat diamati bahwa bahwa pensaklaran ZVS terjadi ketika saklar *off*, sedangkan ketika saklar *on* tidak terjadi saat tegangan nol.

3.1.3. Pengukuran Tegangan Keluaran ZVS Buck Converter



Gambar 9. Gelombang Tegangan Keluaran ZVS Buck Converter

Gambar 9 merupakan gelombang tegangan keluaran ZVS buck converter. Hasil pengukuran tegangan keluaran dapat dilihat pada Tabel 1 sampai Tabel 4.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Tegangan Keluaran Variasi Duty Cycle Beban Resistif $F=17kHz$

Duty Cycle	R 100 Ω		R 300 Ω		R 500 Ω	
	Vin	Vout	Vin	Vout	Vin (V)	Vout
10	48,16	26,87	48,61	38,87	49,12	42,77
20	48,09	30,51	48,58	40,93	48,50	43,65
30	47,89	33,11	48,61	42,55	48,49	44,84
40	47,47	36,47	48,33	44,54	48,51	45,76
50	47,95	39,49	48,86	45,66	48,96	47,03
60	47,82	42,00	48,82	46,80	48,97	47,78
70	47,57	43,94	48,61	47,45	49,01	48,40
80	47,38	45,95	48,35	47,79	48,92	48,64
90	46,88	46,26	48,30	47,79	48,81	48,70

Tabel 2. Hasil Pengukuran Tegangan Keluaran Variasi Duty Cycle Beban Motor Arus Searah $F=17kHz$

Duty cycle	Tanpa Blower		Dengan Blower	
	Vin	Vout	Vin	Vout
10	49,33	39,97	47,63	16,65
20	49,23	42,62	47,13	18,49
30	49,19	44,13	47,05	20,07
40	49,27	45,62	46,53	24,34
50	49,03	46,26	45,91	27,56
60	49,18	47,63	45,20	30,34
70	48,82	47,95	44,52	32,24
80	48,53	48,14	42,88	36,11
90	48,50	48,37	42,58	40,22

Tabel 3. Hasil Pengukuran Tegangan Keluaran Variasi Frekuensi Pensaklaran Beban Resistif D=50%

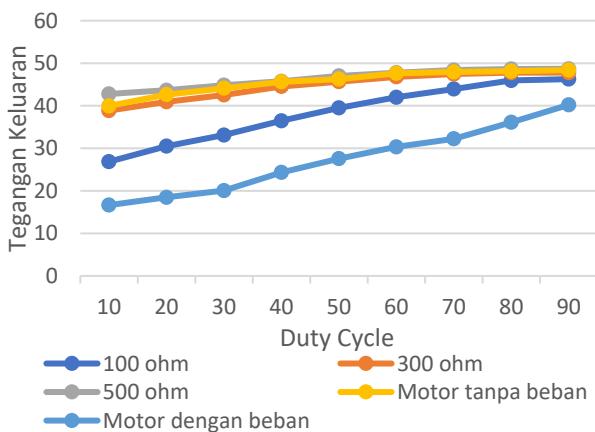
Frekuensi	R 500 Ω		R 300 Ω		R 100 Ω	
	Vin	Vout	Vin	Vout	Vin	Vout
17	48,96	47,03	48,66	45,65	47,95	39,44
20	49,04	47,42	48,66	46,11	47,85	40,95
25	48,93	47,67	48,65	46,67	48,05	42,50
30	48,77	47,75	48,35	46,72	48,01	43,40
35	48,70	47,83	48,75	46,97	47,96	44,01
40	48,75	48,01	48,44	47,21	47,92	44,48
45	48,75	48,14	48,33	47,19	47,87	44,84

Tabel 4. Hasil Pengukuran Tegangan Keluaran Variasi Frekuensi Pensaklaran Beban Motor Arus Searah D=50%

Duty Cycle	Tanpa Blower		Dengan Blower	
	Vin (V)	Vout (V)	Vin (V)	Vout (V)
17	49,03	46,26	46,41	27,78
20	48,99	46,99	46,21	27,84
25	49,00	47,40	45,68	28,27
30	48,70	47,49	45,22	29,99
35	48,99	47,90	44,12	31,55
40	49,16	48,21	44,12	32,55
45	49,16	48,36	43,76	34,03

Tabel 1 sampai Tabel 4 menunjukkan hasil pengukuran tegangan keluaran ZVS Buck Converter dengan variasi *duty cycle* dan frekuensi pensaklaran.

Berdasarkan Tabel 1 dan Tabel 2 disajikan grafik perbandingan antara *duty cycle* dengan tegangan keluaran pada Gambar 10.

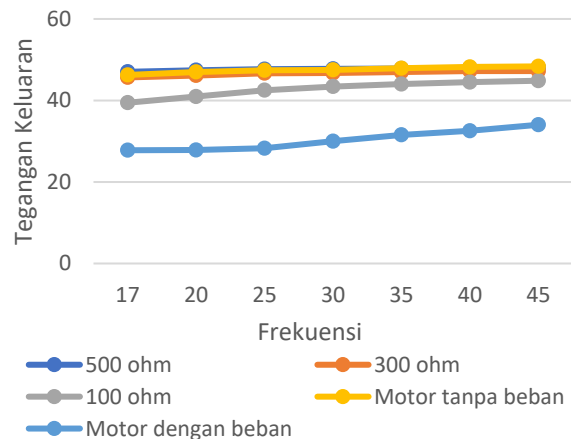


Gambar 10. Grafik Perbandingan Duty Cycle dengan Tegangan Keluaran

Gambar 10 memperlihatkan hubungan antara *duty cycle* dengan tegangan keluaran. Semakin besar nilai *duty cycle* maka nilai tegangan keluaran akan semakin besar. Variasi resistansi pembebanan memperlihatkan bahwa dengan nilai *duty cycle* yang sama, beban dengan nilai resistansi

yang lebih besar akan menghasilkan tegangan keluaran yang lebih besar. Sedangkan pada beban motor, dengan nilai *duty cycle* yang sama, ketika kondisi motor tanpa beban menghasilkan tegangan keluaran yang lebih besar.

Berdasarkan Tabel 3 dan Tabel 4 dapat disajikan grafik perbandingan frekuensi pensaklaran dengan tegangan keluaran pada Gambar 11.

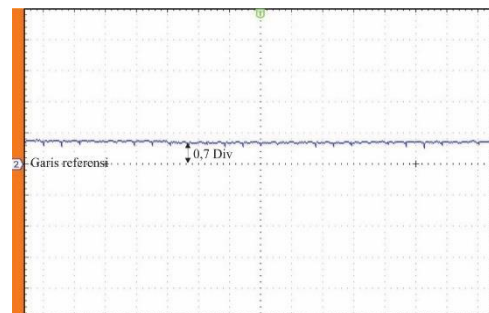


Gambar 11. Perbandingan Frekuensi Pensaklaran dengan Tegangan Keluaran

Gambar 11 menunjukkan variasi resistansi pembebanan memperlihatkan bahwa dengan nilai frekuensi pensaklaran yang sama, beban dengan nilai resistansi yang lebih besar akan menghasilkan tegangan keluaran yang lebih besar. Sedangkan pada beban motor, dengan nilai frekuensi yang sama, ketika kondisi motor tanpa beban menghasilkan tegangan keluaran yang lebih besar.

3.1.4. Pengukuran Arus dan Perhitungan Daya ZVS Buck Converter

Pengukuran ini dilakukan pada arus keluaran rangkaian ZVS Buck Converter dengan menggunakan beban resistor dan motor arus searah. Variasi yang dilakukan yaitu variasi *duty cycle*.



Gambar 12. Gelombang Arus Keluaran ZVS Buck Converter

Gambar 12 merupakan gambar arus keluaran *ZVS buck converter*. Perhitungan daya dapat dilakukan dengan menggunakan Persamaan 4.

$$P = V \times I \quad (4)$$

Hasil pengukuran dan perhitungan daya disajikan pada Tabel 5 sampai dengan Tabel 8.

Tabel 5. Hasil Pengukuran Arus Masukan dan Perhitungan Daya Variasi Duty Cycle Beban Resistif F=17kHz

Duty Cycle	500Ω		300Ω		100Ω	
	lin	Pin	lin	Pin	lin	Pin
10	0,29	13,97	0,15	7,29	0,10	4,91
20	0,33	15,87	0,15	7,29	0,10	4,85
30	0,33	15,80	0,15	7,29	0,11	5,33
40	0,39	18,51	0,16	7,73	0,10	4,85
50	0,45	21,58	0,16	7,82	0,11	5,39
60	0,45	21,52	0,16	7,81	0,10	4,90
70	0,48	22,83	0,16	7,78	0,11	5,39
80	0,48	22,74	0,16	7,74	0,12	5,87
90	0,51	23,91	0,15	7,25	0,12	5,86

Tabel 6. Hasil Pengukuran Arus Keluaran dan Perhitungan Daya Variasi Duty Cycle Beban Resistif F=17kHz

Duty Cycle	500Ω		300Ω		100Ω	
	Iout	Pout	Iout	Pout	Iout	Pout
10	0,28	7,52	0,14	5,44	0,08	3,42
20	0,32	9,76	0,13	5,32	0,09	3,93
30	0,32	10,60	0,15	6,38	0,10	4,48
40	0,38	13,86	0,15	6,68	0,10	4,58
50	0,45	17,77	0,15	6,85	0,10	4,70
60	0,45	18,90	0,15	7,02	0,10	4,78
70	0,47	20,65	0,16	7,59	0,10	4,84
80	0,48	22,06	0,16	7,65	0,11	5,35
90	0,51	23,59	0,15	7,17	0,12	5,84

Tabel 7. Hasil Pengukuran Arus Masukan dan Perhitungan Daya Variasi Duty Cycle Beban Motor Arus Searah F=17kHz

Duty Cycle	Motor Tanpa Beban			Motor dengan Blower		
	Vin	Iin	Pin	Vin	Iin	Pin
10	49,33	0,11	5,43	47,63	0,43	20,48
20	49,23	0,11	5,42	47,13	0,51	24,04
30	49,19	0,12	5,90	47,05	0,60	28,23
40	49,27	0,12	5,91	46,53	0,83	38,62
50	49,03	0,12	5,88	45,91	1,02	46,83
60	49,18	0,11	5,41	45,20	1,26	56,95
70	48,82	0,12	5,86	44,52	1,45	64,55
80	48,53	0,11	5,34	42,88	2,14	91,76
90	48,50	0,11	5,34	42,58	2,57	109,43

Tabel 8. Hasil Pengukuran Arus Keluaran dan Perhitungan Daya Variasi Duty Cycle Beban Motor Arus Searah F=17kHz

Duty Cycle	Motor Tanpa Beban			Motor dengan Blower		
	Vin	Iin	Pin	Vin	Iin	Pin
10	49,33	0,11	5,43	47,63	0,43	20,48
20	49,23	0,11	5,42	47,13	0,51	24,04
30	49,19	0,12	5,90	47,05	0,60	28,23
40	49,27	0,12	5,91	46,53	0,83	38,62
50	49,03	0,12	5,88	45,91	1,02	46,83
60	49,18	0,11	5,41	45,20	1,26	56,95
70	48,82	0,12	5,86	44,52	1,45	64,55
80	48,53	0,11	5,34	42,88	2,14	91,76
90	48,50	0,11	5,34	42,58	2,57	109,43

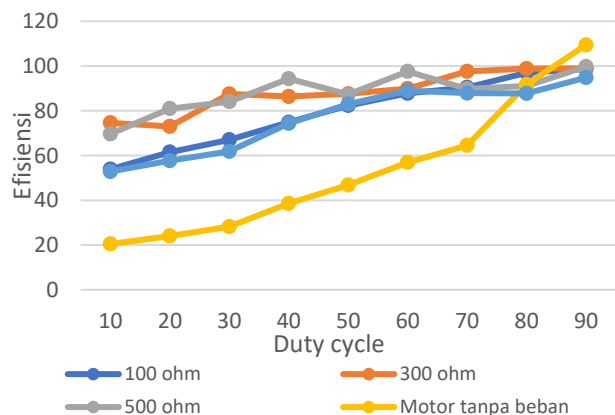
Berdasarkan Tabel 5 sampai Tabel 8, maka akan dapat dihitung nilai efisiensi pada masing-masing variasi beban dengan Persamaan 5.

$$efisiensi(\%) = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (5)$$

Berdasarkan Persamaan 5, maka akan didapat hasil perhitungan efisiensi pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil Perhitungan Efisiensi Variasi Duty Cycle Beban Motor Arus Searah F=17kHz

Duty Cycle	100 Ω	300 Ω	500 Ω	Motor Tanpa Beban	Motor dengan Beban
10	53,87	74,63	69,66	73,66	52,84
20	61,52	73,02	81,00	78,70	57,69
30	67,04	87,53	84,07	74,76	61,85
40	74,86	86,40	94,33	77,16	74,37
50	82,36	87,61	87,33	78,63	82,98
60	87,83	89,87	97,57	88,04	88,97
70	90,44	97,61	89,78	81,85	87,90
80	96,98	98,84	91,14	81,16	87,75
90	98,68	98,94	99,77	90,67	94,83



Gambar 13. Grafik Perbandingan Duty Cycle Dengan Efisiensi

Gambar 13 memperlihatkan bahwa nilai efisiensi cenderung akan mengalami kenaikan ketika nilai *duty cycle* dinaikkan. Pada masing-masing variasi beban efisiensi paling tinggi terjadi ketika *duty cycle* bernilai 90%.

3.1.5. Pengaruh Pengaturan Duty Cycle dan Frekuensi pada Kecepatan Motor Arus Searah

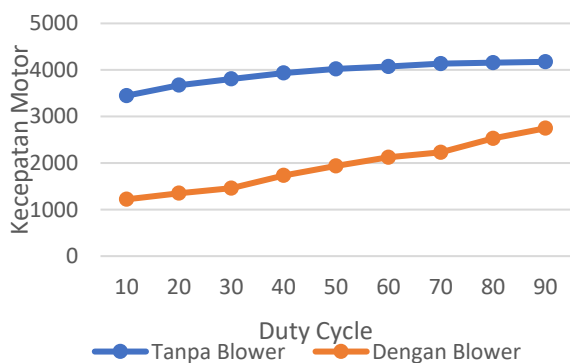
Pengujian variasi *duty cycle* dan frekuensi mempengaruhi tegangan keluaran dari ZVS buck konverter. Hal ini berdampak pada kecepatan motor. Hasil pengujian variasi *duty cycle* dan frekuensi terhadap kecepatan putar motor seperti terlihat pada Tabel 4.10 dan Tabel 4.11.

Tabel 10. Hubungan antara *Duty Cycle* dengan Kecepatan Motor

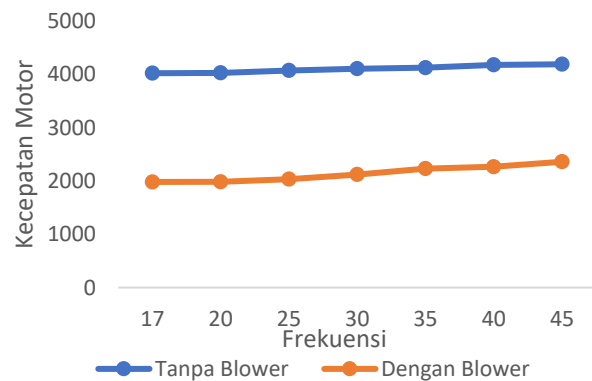
Duty Cycle	Tanpa Blower		Dengan Blower	
	Vout	RPM	Vout	RPM
10	39,97	3447	16,65	1220
20	42,62	3673	18,49	1351
30	44,13	3806	20,07	1460
40	45,62	3934	24,34	1733
50	46,26	4021	27,56	1937
60	47,63	4073	30,34	2123
70	47,95	4134	32,24	2229
80	48,14	4156	36,11	2528
90	48,37	4174	40,22	2747

Tabel 11. Hubungan antara Frekuensi dengan Kecepatan Motor

Frekuensi (kHz)	Tanpa Blower		Dengan Blower	
	Vout	RPM	Vout	RPM
17	46,26	4021	27,78	1981
20	46,99	4028	27,84	1984
25	47,40	4073	28,27	2034
30	47,49	4105	29,99	2120
35	47,90	4125	31,55	2231
40	48,21	4177	32,55	2266
45	48,36	4189	34,03	2360



Gambar 14. Grafik Perbandingan *Duty Cycle* dengan Efisiensi



Gambar 15. Grafik Perbandingan Frekuensi dengan Efisiensi

Dari Gambar 4.14 dan 4.15 terlihat bahwa dengan naiknya *duty cycle* dan frekuensi akan diikuti dengan kenaikan kecepatan putar motor. Hal ini karena dipengaruhi kenaikan yang terjadi pada tegangan keluaran. Kecepatan putar motor saat kondisi berbeban telah mencapai kecepatan yang tertera pada *datasheet*. Kecepatan putar motor saat berbeban *blower* tidak mencapai kecepatan putar. Hal ini dikarenakan motor mengalami beban lebih atau *overload*.

4. Kesimpulan

Berdasarkan perancangan, pengujian dan analisa yang Berdasarkan hasil pengujian rangkaian ZVS buck konverter mampu melakukan proses pensaklaran saat tegangan nol ketika saklar *off*. Ketika saklar kondisi *on* pensaklaran tidak terjadi saat arus nol karena adanya efek parasitik di dalam rangkaian konverter arus searah. Kenaikan level tegangan pada ZVS buck konverter bergantung pada *duty cycle* dan jenis beban yang diberikan pada rangkaian. Pada pengujian tegangan keluaran ZVS buck konverter dengan variasi *duty cycle* nilai tegangan keluaran akan naik seiring dengan kenaikan nilai *duty cycle*. Nilai tegangan terendah terjadi saat pembebanan motor arus searah dengan *blower* yang bernilai 16,65 Volt saat *duty cycle* 10%. Sedangkan nilai tegangan tertinggi terjadi saat pembebanan resistor 500Ω yang bernilai 48,81 Volt saat *duty cycle* 90%. Pada pengujian tegangan keluaran ZVS buck konverter dengan variasi frekuensi pensaklaran, tegangan keluaran akan naik seiring dengan kenaikan frekuensi pensaklaran. Nilai tegangan keluaran tertinggi sebesar 48,36 Volt untuk beban motor arus searah tanpa *blower* saat frekuensi bernilai 45kHz. Sedangkan nilai tegangan terendah terjadi saat pembebanan motor arus searah dengan *blower* resistor yang bernilai 27,78 Volt saat frekuensi bernilai 17kHz. Daya maksimal keluaran hasil perhitungan terjadi saat pembebanan motor arus searah dengan *blower* sebesar 103,77 Watt. Nilai efisiensi terendah terjadi saat pembebanan motor arus searah dengan *blower* yang bernilai 52,84% saat *duty cycle* 10%. Nilai efisiensi

tertinggi terjadi saat pembebanan resistor 500Ω yang bernilai 99,77% saat *duty cycle* 90%. Nilai efisiensi rata-rata dari ZVS buck konverter pada saat beban resistor adalah sebesar 85,28% dan saat beban motor adalah 78,55%. Rata-rata efisiensi keseluruhan adalah 82,59%.

Penelitian ini dapat dikembangkan dengan menggunakan metode *soft switching* yang lain yaitu pensaklaran arus nol (*zero current switching*). Rangkaian kontrol IC TL494 dapat digantikan dengan menggunakan mikrokontroler. Pengujian dapat dikembangkan untuk pembebanan jenis motor arus searah jenis eksitasi yang lain.

Referensi

- [1]. K. A. W. Hudaya, A. Warsito, and M. Facta, "Pembuatan Penyearah Terkontrol Penuh Satu Fasa Sebagai Pengemudi Motor Dc 3 Hp," *Undergrad. thesis, Jur. Tek. Elektro Fak. Tek. Undip.*, pp. 1–6, 2002.
- [2]. P. Tawakal, A. Nugroho, and M. Facta, "Penyearah Terkontrol Penggerak Motor Arus Searah Pada Purwarupa Konveyor," *Undergrad. thesis, Jur. Tek. Elektro Fak. Tek. Undip.*, 2016.
- [3]. C. Ibrahim, T. Sukmadi, and A. Nugroho, "Perancangan Pengontrolan Motor Dc Menggunakan Dc – Dc Konverter Class C Mode Motoring Dan Regenerative Breaking Untuk Simulasi Kendaraan Listrik."
- [4]. M. A. Wibowo, I. A. Warsito, D. Ir, and T. Sukmadi, "Perancangan Rangkaian H-Bridge Chopper Untuk Simulasi Kendaraan Listrik Dengan Pemicuan PWM Analog dan Digital," pp. 3–10.
- [5]. D. W. Hart, *Power Electronics*. New York: McGraw-Hil, 2011.
- [6]. International Rectifier, "IRFP260N," pp. 1–9.
- [7]. T. Instruments, "TL494 Pulse-Width-Modulation Control Circuits," 2017.
- [8]. O. Semiconductor, "MUR1560," *Power*, pp. 1–7, 1996.