

PERANCANGAN *SYNCHRONOUS POWER CONVERTER* TIPE *BUCK* BERBASIS ATMEGA16

Indra Alfianto^{*}), Trias Andromeda, and Munawar Agus Riyadi

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

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

Abstrak

Ciri khas pada elektronika daya adalah efisiensi, penggunaan regulator linear dengan berdasarkan prinsip pembagi tegangan atau pembagi arus dinilai sudah tidak efisien karena banyaknya daya yang terdisipasi menjadi panas. Untuk meminimalisir daya yang terdisipasi menjadi panas, maka penggunaan regulator linear dihindari dan digantikan dengan switching regulator/MOSFET. Aplikasi penggantian dioda menjadi MOSFET merupakan dasar dari MOSFET sinkronisasi karena MOSFET sinkronisasi memiliki rugi konduksi yang lebih rendah dari dioda. Penelitian ini akan memaparkan kinerja efisiensi dan rugi konduksi pada MOSFET sinkronisasi serta pengaruh penggunaan MOSFET sinkronisasi untuk menggantikan fungsi dioda pada topologi buck converter standard, besarnya efisiensi dan rugi konduksi pada dioda dibandingkan dan dianalisa. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada duty cycle 20%-80% efisiensi MOSFET sinkronisasi lebih besar dari diode pada beban 48Ω dan duty cycle 30%-60% pada beban 60Ω , efisiensi maksimal yang dapat dicapai yaitu 96%. Pengujian variasi deadtime menunjukkan bahwa pada duty cycle 10%, deadtime terbesar memiliki efisiensi tertinggi yaitu 49,98%, pada duty cycle 50% ketiga variasi cenderung mempunyai nilai efisiensi yang sama yaitu berkisar antara 85%-86%, dan pada duty cycle 80%.

Kata kunci: MOSFET sinkronisasi, konverter buck, efisiensi, rugi konduksi.

Abstract

Power electronic's characteristic is efficiency, the use of linear regulator with work of principle based on voltage divider or current divider is considered inefficient because the amount of power dissipation into heat. To minimize this problem, then the use of linear regulator is avoided and replaced with switching regulator/MOSFET. Application of diode replacement with MOSFET is basic of MOSFET synchronization because conduction losses on MOSFET synchronization is lower than diode. This Research describes the performance of MOSFET synchronization Efficiency, conduction losses and the effect of synchronization MOSFET to replace diode function in buck converter standard topology, the efficiency and diode conduction losses are compared and analyzed. The test result show that in duty cycle 20%-80% the efficiency of synchronization MOSFET is greater than diode at 48Ω load and 30%-60% at 60Ω load, maximum efficiency that can be achieved that is 96%. The deadtime variation test shows that in the duty cycle below 50% has the highest efficiency that is 49,98%, in 50% duty cycle the three variation tend to have the same efficiency value that ranges between 85%-86% and in 80% duty cycle.

Keyword: synchronisation MOSFET, buck converter, efficiency, conduction losses

1. Pendahuluan

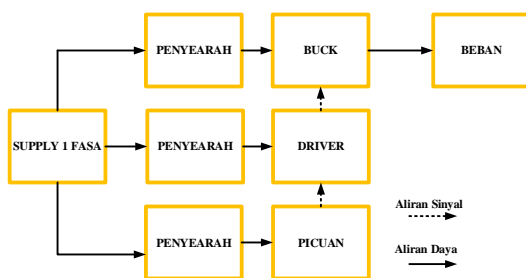
Elektronika daya merupakan salah satu sub bab penting dalam ketenagalistrikan. Elektronika daya biasa digunakan untuk pengendalian daya elektrik atau pengkondisian daya, konversi daya elektrik dari satu bentuk ke bentuk yang lain [1]. Elektronika daya modern membutuhkan suplai daya yang berkualitas tinggi, kecil, ringan, handal, dan efisien [2]. Salah satu ciri khas pada konverter adalah efisiensi, penggunaan regulator linear

dengan berdasarkan prinsip pembagi tegangan atau pembagi arus dinilai sudah tidak efisien karena banyaknya daya yang terdisipasi menjadi panas [1]. Untuk meminimalisir daya yang terdisipasi menjadi panas, maka penggunaan regulator linear dihindari dan digantikan dengan *switching* regulator. *Switching* regulator menggunakan semikonduktor sebagai saklar, saklar tersebut beralih dari mode aktif ke tidak aktif secara cepat atau bekerja pada frekuensi tinggi. Prinsip *switching* regulator digunakan pada konverter DC [3].

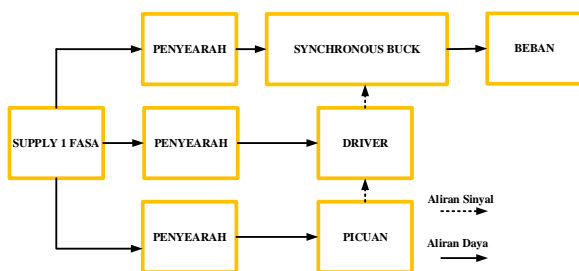
Konverter DC adalah rangkaian elektronika daya yang mengkonversikan tegangan DC ke tegangan DC pada tingkatan yang berbeda, umumnya menghasilkan suatu keluaran yang diregulasikan [1]. Efisiensi pada konverter DC sebagai sumber daya dan sumber tegangan pada perangkat elektronik dapat ditingkatkan dengan cara mengganti dioda pada konverter DC dengan MOSFET[4]. Rangkaian yang menggunakan MOSFET sebagai pengganti dioda disebut *synchronous power converter* atau konverter sinkronisasi. MOSFET yang digunakan sebagai pengganti dioda harus mempunyai nilai frekuensi yang sama dengan MOSFET yang berfungsi sebagai saklar utama untuk menghindari *overlapping* sinyal pemicuan yang akan mengakibatkan *short circuit* atau hubungan arus pendek [5].

2. Metode

2.1. Diagram Blok Konverter DC Tanpa MOSFET Sinkronisasi



Gambar 1. Diagram blok DC tanpa MOSFET sinkronisasi



Gambar 2. Diagram blok DC dengan MOSFET sinkronisasi

Gambar 1 merupakan blok diagram rangkaian konverter DC tanpa MOSFET sinkronisasi. MOSFET daya diaktifkan melalui rangkaian picuan yang terdiri dari *driver* MOSFET *high-side* dan pembangkit PWM. Gambar 2 merupakan blok diagram rangkaian konverter DC dengan MOSFET sinkronisasi. MOSFET daya utama dan MOSFET sinkronisasi diaktifkan oleh rangkaian pemicuan yang terdiri dari *driver* MOSFET *high-side* dan *low-side* dan sinyal PWM dihasilkan oleh rangkaian pembangkit PWM yaitu mikrokontroler ATmega16.

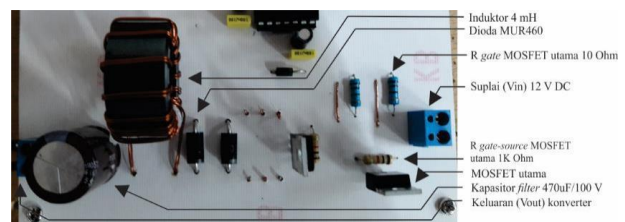
2.2. Perancangan Rangkaian Daya

Konverter penurun tegangan atau *buck converter* adalah konverter DC-DC yang berfungsi menurunkan tegangan dari tegangan masukan menuju beban.

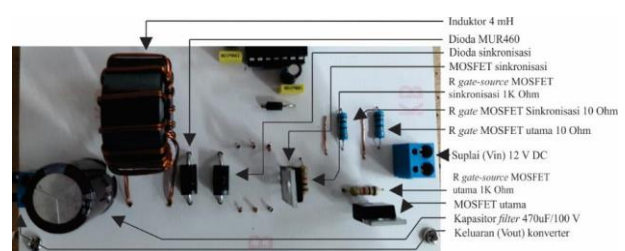
Tabel 1. Data parameter konverter DC tipe *buck*

Parameter	Spesifikasi/Nilai Besaran
Tegangan Masukan (V_{in})	16,97 VDC
Frekuensi Pemicuan (f_{sw})	50000 Hz
Duty Cycle	0,1-0,9
Hambatan Beban (R) min	48 Ω
	60 Ω
MOSFET utama (<i>high-side</i>)	IRFB4110PbF
MOSFET sinkronisasi (<i>low-side</i>)	IRFB4110PbF
Dioda	MUR460
Induktor	4 mH
Kapasitor	470 μ F/100V

Beban 48 Ω dipilih sebagai representasi dari tahanan dalam motor DC 12 Volt dengan *rating* arus sebesar 0,25 Ampere dan beban 60 Ω dipilih sebagai representasi dari tahanan lampu LED 12 Volt dengan daya pakai 2 Watt. Hasil perancangan rangkaian daya konverter DC tanpa MOSFET sinkronisasi dan dengan MOSFET sinkronisasi dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Rangkaian daya konverter DC tipe *buck* tanpa MOSFET sinkronisasi



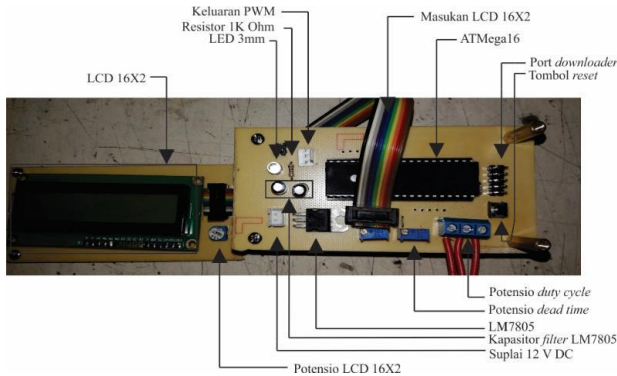
Gambar 4. Rangkaian daya konverter DC tipe *buck* dengan MOSFET sinkronisasi

2.3. Perancangan Rangkaian Pembangkit Sinyal PWM

Rangkaian pembangkit sinyal PWM pada Penelitian ini menggunakan mikrokontroler ATmega16. Sinyal PWM yang dihasilkan oleh mikrokontroler ATmega16 bersifat komplementer atau *inverting*. Rangkaian pembangkit sinyal PWM menggunakan suplai tegangan 15 Volt yang kemudian diregulasi menjadi 5 Volt.

2.3.1. Sistem Minimum Mikrokontroler

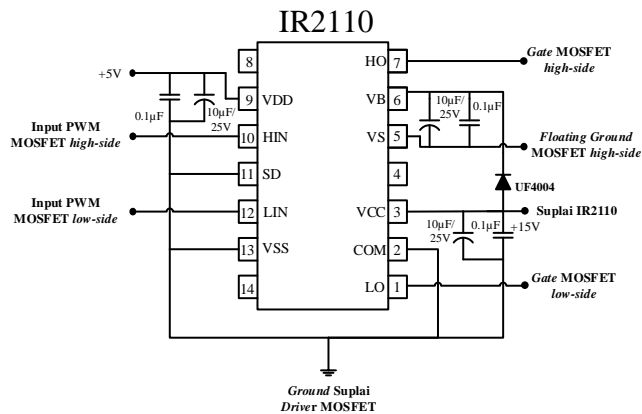
Sistem minimum mikrokontroler adalah sebuah rangkaian elektronika sederhana yang terdiri dari komponen-komponen dasar yang dibutuhkan oleh mikrokontroler agar dapat berfungsi dengan baik [6].



Gambar 5. Rangkaian pembangkitan sinyal PWM ATmega16

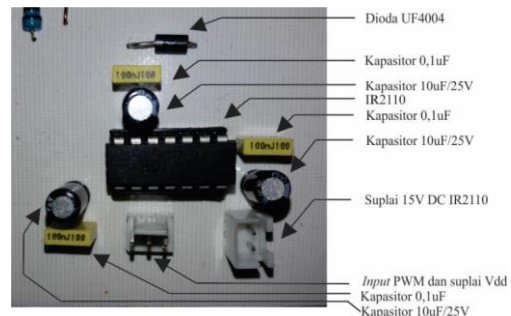
2.4 Perancangan Rangkaian Driver MOSFET IR2110

Driver MOSFET berfungsi untuk menguatkan sinyal pembangkitan PWM (*Pulse Width Modulation*) yang dibangkitkan oleh rangkaian pembangkit. MOSFET membutuhkan tegangan picu sekitar 12V agar bisa aktif, namun besar tegangan Sinyal PWM yang disuplai dari rangkaian pembangkit adalah 5V. Driver MOSFET IR2110 membutuhkan suplai tegangan dengan rentang 12V-20V [7].



Gambar 6. Rangkaian skematik driver MOSFET IR2110

Hasil perancangan driver MOSFET IR2110 dapat dilihat pada Gambar 7 berikut:



Gambar 7. Hasil perancangan driver MOSFET IR2110

Gambar 6 dan Gambar 7 menunjukkan rangkaian skematik dan hasil realisasi perancangan driver MOSFET IR2110. Pin 4, 8 dan 14 pada driver MOSFET IR2110 tidak digunakan atau *not used*. Pin 2, 11 dan 13 merupakan pin *ground*. Spesifikasi rangkaian driver MOSFET disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Spesifikasi rangkaian driver MOSFET

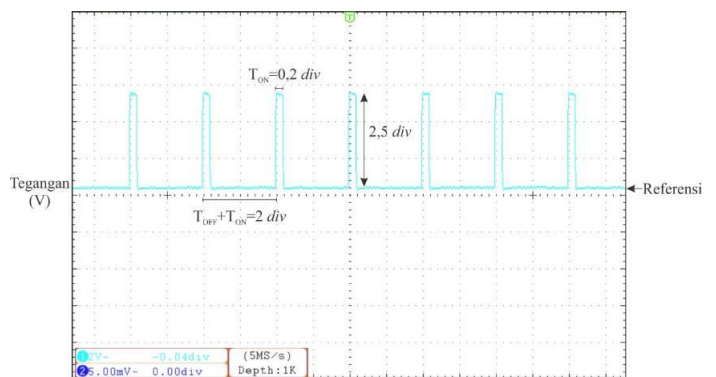
Parameter	Spesifikasi/Nilai Besaran
IR2110	10-20V
Kapasitor <i>bootstrap</i>	10µF/25V dan 0,1µF
Kapasitor pin V_{CC}	10µF/25V dan 0,1µF
Kapasitor pin V_{DD}	10µF/25V dan 0,1µF
Dioda UF4004	400V, hingga 1A

3. Hasil dan Analisa

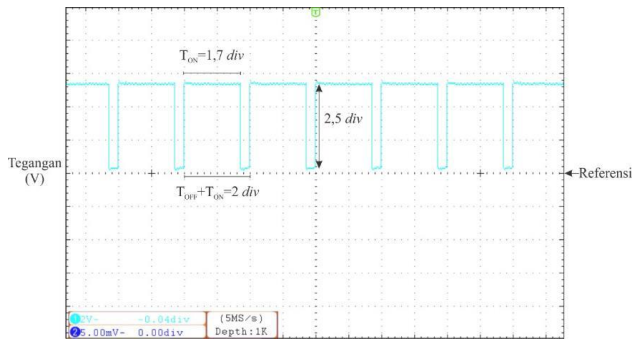
3.1. Pengujian Rangkaian Kontrol

Pengujian subbab ini akan membahas mengenai hasil pengujian nilai keluaran pada blok pembangkitan sinyal PWM mikrokontroler ATmega16 dan driver MOSFET IR2110.

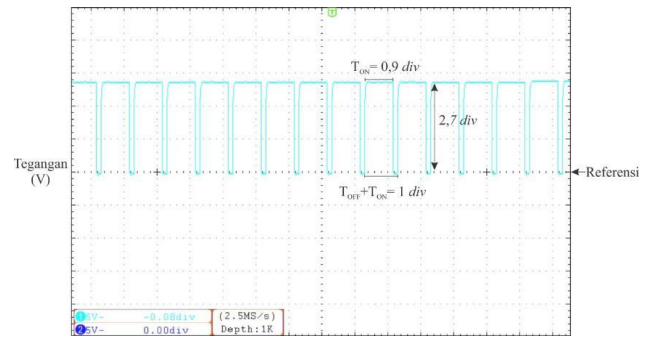
3.1.1. Pengujian Rangkaian Pembangkit Sinyal PWM



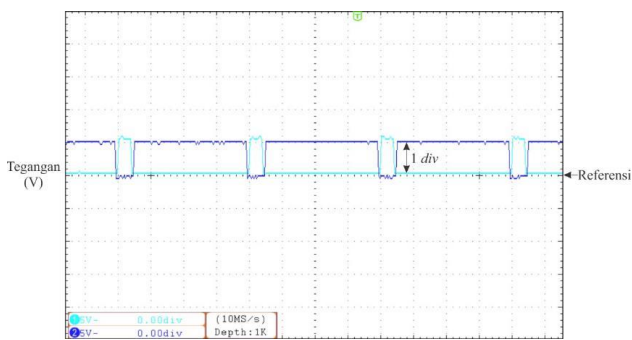
Gambar 8. Gelombang keluaran pembangkit sinyal PORTD. 5 PWM duty cycle 10%



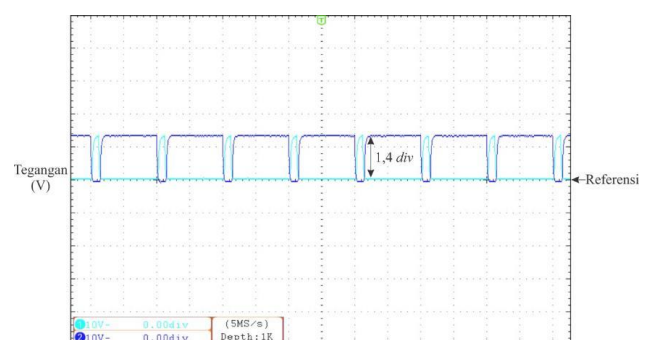
Gambar 9. Gelombang keluaran pembangkit sinyal PORTD.4 PWM duty cycle 90%



Gambar 12. Gelombang keluaran low-side driver MOSFET IR2110 duty cycle 90%



Gambar 10. Gelombang keluaran pembangkit sinyal PWM PORTD.4 dan PORTD.5

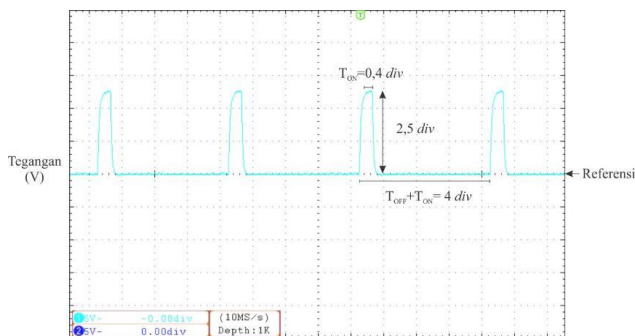


Gambar 13. Gelombang keluaran low-side driver MOSFET IR2110 duty cycle 90%

Gambar 8 menunjukkan gelombang keluaran dari PORTD.5 yang akan menjadi sumber sinyal picu PWM untuk MOSFET daya utama. Dari pengujian yang telah dilakukan didapat frekuensi gelombang pemicuan sebesar 50kHz, duty cycle 10% dan besar tegangan 5 Volt. Gambar 9 menunjukkan gelombang keluaran dari PORTD.4 yang akan menjadi sumber sinyal picu MOSFET sinkroisasi. Dari pengujian yang telah dilakukan didapat frekuensi gelombang pemicuan sebesar 50kHz, duty cycle 90% dan besar tegangan 5 Volt.

Gambar 11 menunjukkan gelombang keluaran dari pin high-side IR2110. Dari pengujian yang telah dilakukan didapat frekuensi gelombang pemicuan sebesar 50kHz, duty cycle 10% dan besar tegangan 12,5 Volt. Gambar 12 menunjukkan gelombang keluaran dari pin low-side IR2110 yang akan memicu MOSFET sinkroisasi. Dari pengujian yang telah dilakukan didapat frekuensi gelombang pemicuan sebesar 50kHz, duty cycle 90% dan besar tegangan 13,5 Volt. Tegangan 12 Volt-13 Volt sudah dapat memicu gate MOSFET. Hasil dari kedua gelombang ini dapat dilihat pada Gambar 13, terlihat kedua gelombang sudah berkebalikan atau komplemen. Gelombang keluaran dari IR2110 ini yang nantinya akan mengaktifkan kedua MOSFET pada rangkaian daya.

3.1.2. Pengujian Driver MOSFET IR2110

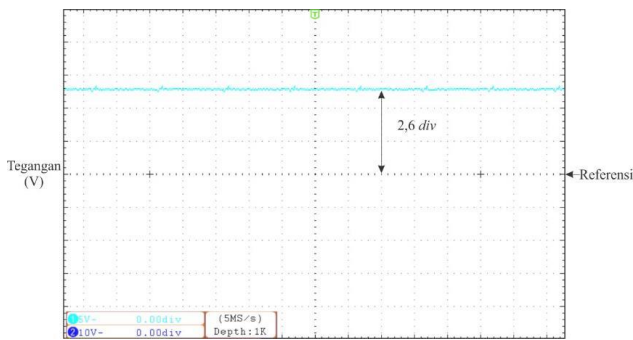


Gambar 11. Gelombang keluaran high-side driver MOSFET IR2110 duty cycle 10%

3.2. Pengujian Tegangan Keluaran Konverter DC Tipe Buck

3.2.1. Pengujian Tegangan Keluaran Konverter DC tipe Buck Tanpa MOSFET Sinkronisasi

Gelombang tegangan keluaran didapat dengan menggunakan osiloskop OWON yang dihubungkan pada keluaran rangkaian (V_{out}) konverter DC. Gelombang tegangan keluaran duty cycle 90% tanpa MOSFET sinkronisasi dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Gelombang keluaran konverter DC tipe buck tanpa MOSFET sinkronisasi duty cycle 90%.

Gambar 14 menunjukkan bahwa gelombang keluaran konverter DC tipe buck tanpa MOSFET sinkronisasi pada duty cycle 90% memiliki tegangan sebesar 2,6 div dengan skala tegangan ukur 5V/div, sehingga tegangan keluaran dapat dihitung sebagai berikut:

$$V_o = 2,6 \text{ div} \times \frac{5V}{\text{div}} \times 1 = 13 \text{ Volt}$$

Tegangan keluaran hasil pengukuran menggunakan osiloskop OWON sudah sesuai dengan perhitungan. Hasil pengukuran Konverter DC tanpa MOSFET sinkronisasi disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengukuran konverter DC tanpa MOSFET sinkronisasi beban 48Ω.

Duty Cycle (%)	$I_{in(rms)}$ (A)	$V_{in(rms)}$ (V)	$I_o(rms)$ (A)	$V_o(rms)$ (V)
10	0,011	15,31	0,036	1,78
20	0,022	15,2	0,067	3,26
30	0,038	15,05	0,097	4,7
40	0,059	14,91	0,126	6,1
50	0,086	14,76	0,154	7,47
60	0,118	14,6	0,182	8,8
70	0,155	14,43	0,209	10,1
80	0,199	14,25	0,237	11,46
90	0,245	14,2	0,264	12,76

Tabel 4. Hasil pengukuran konverter DC tanpa MOSFET sinkronisasi beban 60Ω.

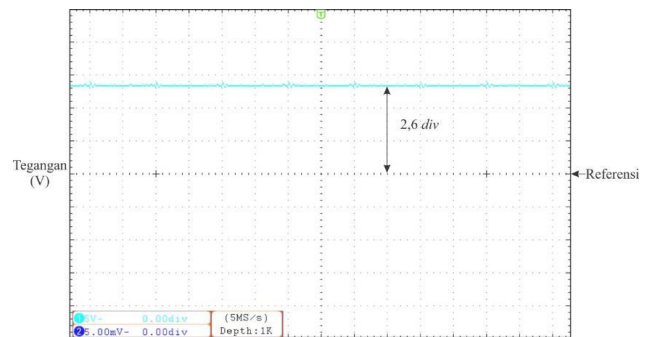
Duty Cycle (%)	$I_{in(rms)}$ (A)	$V_{in(rms)}$ (V)	$I_o(rms)$ (A)	$V_o(rms)$ (V)
10	0,0008	15,52	0,03	1,85
20	0,0017	15,43	0,051	3,11
30	0,03	15,29	0,073	4,44
40	0,047	15,16	0,096	5,8
50	0,068	15,05	0,119	7,18
60	0,093	14,91	0,141	8,52
70	0,124	14,8	0,165	9,99
80	0,158	14,66	0,189	11,37
90	0,199	14,68	0,213	12,91

Tabel 3 dan Tabel 4 menunjukkan bahwa ketika duty cycle dinaikkan maka tegangan keluaran akan naik begitu

juga arus keluaran. Arus keluaran akan meningkat seiring dengan terjadinya penambahan beban. Ketika arus keluaran meningkat maka arus masukan juga meningkat. Ketika duty cycle dinaikkan dengan beban maksimal maka arus akan meningkat sehingga pada tegangan masukan akan terjadi drop tegangan, hal ini disebabkan karena arus yang mengalir pada konverter semakin tinggi.

3.2.2. Pengujian Tegangan Keluaran Konverter DC tipe Buck dengan MOSFET Sinkronisasi

Gelombang tegangan keluaran didapat dengan menggunakan osiloskop OWON yang dihubungkan pada keluaran rangkaian (V_{out}) konverter DC. Gelombang tegangan keluaran duty cycle 90% tanpa MOSFET sinkronisasi dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15. Gelombang keluaran konverter DC tipe buck dengan MOSFET sinkronisasi duty cycle 90%.

Gambar 15 menunjukkan bahwa gelombang keluaran konverter DC tipe buck tanpa MOSFET sinkronisasi pada duty cycle 90% memiliki tegangan sebesar 2,6 div dengan skala tegangan ukur 5V/div, sehingga tegangan keluaran dapat dihitung sebagai berikut:

$$V_o = 2,6 \text{ div} \times \frac{5V}{\text{div}} \times 1 = 13 \text{ Volt}$$

Tabel 5. Hasil pengukuran konverter DC dengan MOSFET sinkronisasi beban 48Ω.

Duty Cycle (%)	$I_{in(rms)}$ (A)	$V_{in(rms)}$ (V)	$I_o(rms)$ (A)	$V_o(rms)$ (V)
10	0,009	15,44	0,037	1,79
20	0,019	15,34	0,063	3,06
30	0,034	15,21	0,091	4,42
40	0,056	15,06	0,12	5,82
50	0,082	14,9	0,149	7,22
60	0,115	14,74	0,178	8,61
70	0,152	14,58	0,207	10
80	0,193	14,29	0,233	11,26
90	0,242	14,21	0,263	12,68

Tabel 5 dan Tabel 6 menunjukkan bahwa ketika duty cycle dinaikkan maka tegangan keluaran akan naik begitu juga arus keluaran. Arus keluaran akan meningkat seiring dengan terjadinya penambahan beban. Ketika arus

keluaran meningkat maka arus masukan juga meningkat. Ketika *duty cycle* dinaikkan dengan beban maksimal maka arus akan meningkat sehingga pada tegangan masukan akan terjadi *drop* tegangan.

Tabel 6. Hasil pengukuran konverter DC dengan MOSFET sinkronisasi beban 60Ω.

Duty Cycle (%)	$I_{in(rms)}$ (A)	$V_{in(rms)}$ (V)	$I_{o(rms)}$ (A)	$V_{o(rms)}$ (V)
10	0,011	15,3	0,029	1,76
20	0,02	15,19	0,053	3,21
30	0,033	15,07	0,076	4,63
40	0,05	14,95	0,1	6,03
50	0,071	14,82	0,123	7,4
60	0,096	14,71	0,143	8,63
70	0,125	14,56	0,165	9,95
80	0,154	14,25	0,185	11,14
90	0,184	13,5	0,198	11,87

3.3. Perbandingan Rugi Konduksi dan Efisiensi

Rugi konduksi masih terjadi pada konverter DC tanpa MOSFET sinkronisasi maupun dengan MOSFET sinkronisasi. Daya yang hilang akibat proses konduksi saat MOSFET aktif merupakan penyumbang rugi daya yang paling besar dari semua kerugian daya yang terjadi pada konverter DC[8].

3.3.1. Perbandingan Rugi Konduksi dan Efisiensi Beban 48Ω

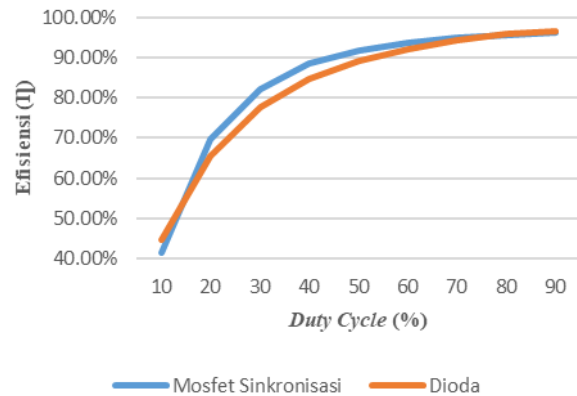
Rugi konduksi dan pensaklaran yang terjadi saat proses pensaklaran pada konverter DC tipe *buck* tanpa MOSFET sinkronisasi adalah (P_{RecD}). Rugi-rugi tersebut antara lain rugi pengisian muatan pada *gate* MOSFET (P_{GateQ}), rugi konduksi pada Q (P_{conQ}), rugi konduksi pada dioda (P_{conD}), dan rugi *switching* pada MOSFET Q (P_{swQ}). Hasil perbandingan rugi konduksi pada konverter DC tipe *buck* tanpa dan dengan MOSFET sinkronisasi disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil pengukuran konverter DC tanpa MOSFET sinkronisasi beban 48Ω.

Duty cycle (%)	P_{RecSM} (W)	P_{RecD} (W)
10	0,104863	0,0879934
20	0,107825	0,1075610
30	0,110655	0,123234
40	0,113367	0,1336856
50	0,115952	0,1380129
60	0,118503	0,1362219
70	0,120923	0,1283145
80	0,123397	0,1133586
90	0,125877	0,0937745

Berdasarkan Tabel 7, rugi daya konduksi konverter DC dengan MOSFET sinkronisasi pada beban 48Ω akan semakin besar ketika *duty cycle* diperbesar. Rugi daya pada konverter DC dengan MOSFET sinkronisasi semakin besar seiring *duty cycle* diperbesar termasuk rugi

konduksi *body diode*, hal ini disebabkan karena besar *deadtime* yang sama yaitu 1μs sehingga menghasilkan nilai rugi daya yang linear. Saat *duty cycle* diperbesar maka arus tiap satuan waktu yang melewati *body diode* MOSFET sinkronisasi pada konverter DC dengan MOSFET sinkronisasi akan semakin besar. Berdasarkan Tabel 7 maka dapat dibuat perbandingan efisiensi pada Gambar 18.



Gambar 16. Perbandingan efisiensi konverter DC tipe buck dengan dan tanpa MOSFET sinkronisasi pada beban 48Ω.

Pada Gambar 16 terlihat bahwa pada *duty cycle* 10% efisiensi MOSFET sinkronisasi lebih rendah dari dioda, hal ini dikarenakan pada *duty cycle* berapapun MOSFET tetap butuh pengisian muatan pada *gate* guna memicu MOSFET. Rugi daya pada pengisian muatan ini nilai nya lebih besar daripada rugi konduksi pada dioda MUR460, namun pada *duty cycle* 20%, efisiensi MOSFET sinkronisasi sudah lebih besar dari dioda. Pada saat ini rugi konduksi pada dioda nilai nya lebih besar seiring kenaikan arus yang mengalir melewati dioda. Pada *duty cycle* 80% dan 90% nilai efisiensi MOSFET sinkronisasi sedikit lebih rendah dari dioda, hal ini disebabkan karena rugi konduksi yang terjadi pada dioda kecil seiring waktu aktif dioda yang semakin rendah. Pada Penelitian ini didapatkan hasil bahwa konverter DC tipe *buck* beban 48Ω dengan MOSEFT sinkronisasi lebih efisien daripada konverter DC tipe *buck* tanpa MOSFET sinkronisasi pada *duty cycle* 20%-80%.

3.3.2. Perbandingan Rugi Konduksi dan Efisiensi Beban 60Ω

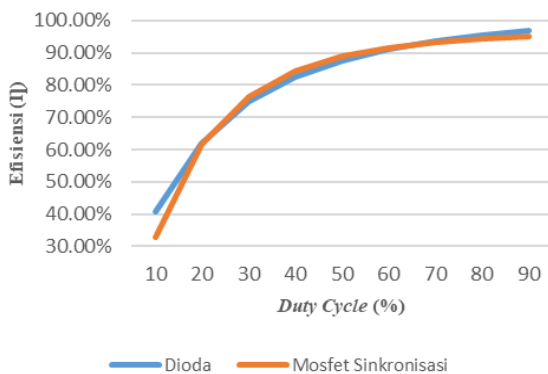
Hasil perbandingan rugi konduksi pada konverter DC tipe *buck* tanpa dan dengan MOSFET sinkronisasi disajikan pada Tabel 8.

Berdasarkan Tabel 8, rugi daya konduksi konverter DC dengan MOSFET sinkronisasi pada beban 60Ω akan semakin besar ketika *duty cycle* diperbesar. Rugi daya pada konverter DC dengan MOSFET sinkronisasi

semakin besar seiring *duty cycle* diperbesar termasuk rugi konduksi *body diode*, hal ini disebabkan karena besar *deadtime* yang sama yaitu 1 μ s sehingga menghasilkan nilai rugi daya yang linear. Saat *duty cycle* diperbesar maka arus tiap satuan waktu yang melewati *body diode* MOSFET sinkronisasi pada konverter DC dengan MOSFET sinkronisasi akan semakin besar. Berdasarkan Tabel 8 maka dapat dibuat perbandingan efisiensi pada Gambar 19.

Tabel 8. Hasil pengukuran konverter DC tanpa MOSFET sinkronisasi beban 60 Ω .

Duty cycle (%)	P_{RecSM} (W)	P_{RecD} (W)
10	0,104188	0,080948
20	0,106477	0,096749
30	0,108652	0,108909
40	0,110904	0,117124
50	0,113038	0,120499
60	0,114879	0,118531
70	0,11687	0,112697
80	0,118536	0,101786
90	0,119174	0,085958



Gambar 17. Perbandingan efisiensi konverter DC tipe buck dengan dan tanpa MOSFET sinkronisasi pada beban 60 Ω .

Dari Gambar 17 terlihat bahwa pada *duty cycle* 10% dan 20% efisiensi MOSFET sinkronisasi lebih rendah dari dioda, hal ini dikarenakan pada *duty cycle* berapapun MOSFET tetap butuh pengisian muatan pada *gate* guna memicu MOSFET. Rugi daya pada pengisian muatan ini nilai nya lebih besar daripada rugi konduksi pada dioda MUR460, namun pada *duty cycle* 20%, efisiensi MOSFET sinkronisasi sudah lebih besar dari dioda. Pada saat ini rugi konduksi pada dioda nilai nya lebih besar seiring kenaikan arus yang mengalir melewati dioda. Pada *duty cycle* 70% sampai 90% nilai efisiensi MOSFET sinkronisasi sedikit lebih rendah dari dioda, hal ini disebabkan karena rugi konduksi yang terjadi pada dioda kecil seiring waktu aktif dioda yang semakin rendah. Pada Penelitian ini didapatkan hasil bahwa konverter DC tipe buck beban 60 Ω dengan MOSEFT sinkronisasi lebih

efisien daripada konverter DC tipe buck tanpa MOSFET sinkronisasi pada *duty cycle* 30%-60%.

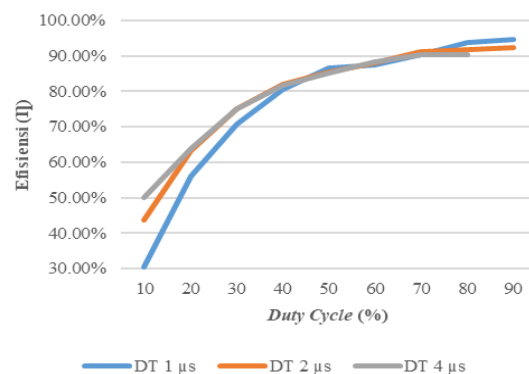
3.4. Pengaruh Deadtime Terhadap nilai Efisiensi Konverter DC Synchronous Buck

Salah satu penyebab rugi daya pada konverter DC adalah *deadtime* atau waktu ketika kedua MOSFET pada konverter DC dengan MOSFET sonkronisasi tidak aktif. Pada saat kedua MOSFET tidak aktif, maka arus pada induktor akan tetap mengalir melalui dioda MUR460 sinkronisasi pada MOSFET, semakin kecil waktu *deadtime* maka arus yang mengalir tiap satuan waktu pada dioda MUR460 sinkronisasi akan semakin singkat. Semakin besar arus yang mengalir maka rugi daya pada dioda MUR460 sinkronisasi akan semakin besar hal ini mengakibatkan rugi daya akibat *deadtime* patut diperhitungkan. Interval waktu *deadtime* pada alat yang dirancang pada Penelitian ini dapat diatur, hal ini menjadi kelebihan dibandingkan dengan IC pembangkitan sinyal PWM biasa. Variasi *deadtime* didapatkan dari kompensasi *duty cycle*, artinya Pada Penelitian ini *deadtime* yang akan divariasikan berjumlah 3, yaitu *deadtime* sebesar 1 μ s (4% *duty cycle*), 2 μ s (10% *duty cycle*) dan 4 μ s (20% *duty cycle*). Perbandingan efisiensi dari tiap *deadtime* disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil pengukuran konverter DC tanpa MOSFET sinkronisasi beban 60 Ω .

Duty Cycle (%)	η (%)		
	DT 1 μ s	DT 2 μ s	DT 4 μ s
10	30.33%	43.77%	49.98%
20	56.00%	63.37%	63.87%
30	70.76%	75.19%	74.99%
40	80.67%	81.97%	81.64%
50	86.50%	85.38%	85.13%
60	87.39%	88.12%	88.19%
70	90.21%	91.08%	90.22%
80	93.91%	91.91%	90.44%
90	94.62%	92.29%	

Berdasarkan Tabel 8. Dapat dibuat grafik perbandingan efisiensi terhadap *deadtime* pada Gambar 18.



Gambar 18. Pengaruh variasi *deadtime*

Gambar 18 menunjukkan bahwa pada *duty cycle* 10%, besar efisiensi dengan *deadtime* (4 μ s) 20% (dengan efisiensi sebesar 49,98%) mempunyai nilai efisiensi yang paling tinggi dibandingkan dengan *deadtime* 4% (1 μ s) dan 10% (4 μ s). pada *duty cycle* 40% sampai 50% ketiga variasi *deadtime* memiliki nilai efisiensi yang cenderung sama. Pada *duty cycle* 80% konverter DC *synchronous buck* dengan besar *deadtime* terkecil memiliki efisiensi paling tinggi, yaitu 94,56% dengan *deadtime* sebesar (1 μ s) 4%, efisiensi sebesar 91,91% dengan *deadtime* sebesar (2 μ s) 10% dan efisiensi sebesar 90,44% dengan *deadtime* sebesar (4 μ s) 20%. Hal ini menunjukkan jika semakin besar *deadtime* maka arus satuan waktu yang mengalir pada dioda dan MOSFET sinkronisasi akan semakin besar sehingga akan mengakibatkan rugi daya yang semakin besar. Konverter DC tipe *buck* yang dirancang dengan *deadtime* sebesar 20% hanya memiliki *duty cycle* maksimum sebesar 80%, hal ini disebabkan karena *duty cycle* dikonversi menjadi *deadtime*, semakin besar *deadtime* maka akan semakin kecil batas maksimum dari *duty cycle* yang dapat dicapai.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian, pengukuran, dan analisa menunjukkan bahwa efisiensi pada MOSFET sinkronisasi lebih tinggi dari dioda. Konverter DC tipe *buck* dengan MOSFET sinkronisasi memiliki efisiensi lebih tinggi daripada konverter DC tanpa MOSFET sinkronisasi pada *duty cycle* 20%-80% dengan beban 48 Ω dan *duty cycle* 30%-60% dengan beban 60 Ω . Rugi daya konduksi pada MOSFET sinkronisasi paling besar terjadi pada *duty cycle* 50%, pada *duty cycle* 10% rugi daya MOSFET sinkronisasi lebih besar dari dioda, pada *duty cycle* 80%, rugi daya konduksi MOSFET sinkronisasi lebih rendah daripada dioda. Dampak dari variasi *deadtime* berpengaruh pada batas maksimal *duty cycle* yang dapat dicapai, semakin besar *deadtime*, maka batas maksimal *duty cycle* akan semakin kecil. Untuk pengembangan Penelitian ini dapat dilakukan penerapan ZVS (*Zero Current Switching*) atau ZVS (*Zero Voltage Switching*) agar efisiensi yang lebih tinggi dapat dicapai.

Referensi

- [1]. Daniel W.Hart, *Power Electronics*, 1st ed. Indiana, United States: McGraw-Hill Companies, 2011.
- [2]. M. H. Rashid, *Power Electronics Handbook*, Third. Elsevier, 2011.
- [3]. V. Barkhordarian, "Power MOSFET Basics," *Electron. Components*, vol. 22, no. c, pp. 1–12, 2005.
- [4]. S. Jaunay and J. Brown, "Vishay Siliconix DC-to-DC Design Guide AN607 Vishay Siliconix," *Plateau*, pp. 1–23, 2002.
- [5]. R. Nowakowski and Nin, "Efficiency of synchronous versus nonsynchronous buck converters," *Analog Appl. J. Texas Instruments Inc. 4Q*, pp. 15–18, 2009.
- [6]. A. B. Vernandez, M. Facta, and T. Sukmadi, "Perancangan Konverter DC-DC Topologi Buck Berbasis Mikrokontroler Atmega8535 Untuk Aplikasi Heater Ekstraksi Biji Kapuk," *Transient*, vol. 4, p. 8, 2015.
- [7]. International Rectifier, "IR2110PbF HIGH AND LOW SIDE DRIVER," pp. 1–18.