

PERANCANGAN *SYNCHRONOUS BUCK-BOOST CONVERTER* BERBASIS MIKROKONTROLER ATMEGA16

Muhammad Zaenuddin Darwiyani^{*)}, Trias Andromeda, and Agung Warsito

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

^{*)E-mail: zaenuddin1995@gmail.com}

Abstrak

Setiap peralatan elektronik membutuhkan sumber tegangan yang sesuai untuk dapat beroperasi. Regulator tegangan berfungsi untuk menghasilkan tegangan keluaran sesuai yang dibutuhkan. Penggunaan regulator linier memiliki kelemahan yaitu efisiensi yang rendah, sementara *switching* regulator (konverter SMPS) memiliki efisiensi yang lebih tinggi. Namun komponen dioda pada konverter SMPS konvensional menyumbang rugi daya cukup besar sehingga dikembangkanlah *synchronous rectifier converter* yang menggunakan komponen MOSFET sebagai pengganti fungsi penyearahan dioda. Komponen MOSFET sebagai pengganti dioda disebut dengan *low-side* MOSFET yang dapat mengurangi rugi konduksi sehingga menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi. Perancangan rangkaian kontrol PWM untuk pemicuan *high-side* dan *low-side* MOSFET pada Tugas Akhir ini menggunakan mikrokontroler ATmega16. Tugas Akhir ini memaparkan rugi daya dan efisiensi pada konverter *synchronous buck-boost* dan *buck-boost* konvensional, besar efisiensi dan rugi daya pada konverter dibandingkan dan dianalisa. Hasil pengujian menunjukkan bahwa efisiensi konverter *synchronous buck-boost* pada semua variasi *duty cycle* beban 50 Ω maupun 65 Ω memiliki nilai yang lebih tinggi dan mencapai efisiensi tertinggi sebesar 92,84% ketika *duty cycle* 50% beban 50 Ω kemudian sebesar 93,72% ketika *duty cycle* 50% beban 65 Ω . Efisiensi konverter *synchronous buck-boost* ketika variasi *dead-time* selama 2 μ s memiliki nilai paling tinggi jika dibandingkan dengan efisiensi ketika interval waktu selama 4 μ s, dan 6 μ s.

Kata kunci: synchronous buck-boost, SMPS, rugi konduksi.

Abstract

Electronic equipment require a suitable voltage source during its operation. The voltage regulator works to provide voltage as required. Linear regulators have a drawback of low efficiency, while switching regulators (SMPS converters) have higher efficiency. However the diode components in conventional SMPS converters contribute considerable power losses so that a synchronous rectifier converter is developed which uses a MOSFET component instead of a diode. The MOSFET component instead of a diode is called a low-side MOSFET that can reduce conduction loss resulting in higher efficiency. The design of PWM control circuit for high-side and low-side MOSFET triggering in this Final Project use ATmega16 microcontroller. This Final Project focuses on the power losses and efficiency in the synchronous buck-boost converters and conventional buck-boost, efficiency and power loss in converters compared and analyzed. The test results show that the efficiency of synchronous buck-boost converter in all duty cycle variations at 50 Ω and 65 Ω loads has a higher value and reaches the highest efficiency of 92,84% when 50% of duty cycle with 50 Ω load then 93,72% when 50% of duty cycle with 65 Ω load. The efficiency of synchronous buck-boost converter with dead-time variation for 2 μ s has the highest value compared to the efficiency when dead-time is set for 4 μ s, and 6 μ s.

Keyword: synchronous buck-boost, SMPS, conduction losses.

1. Pendahuluan

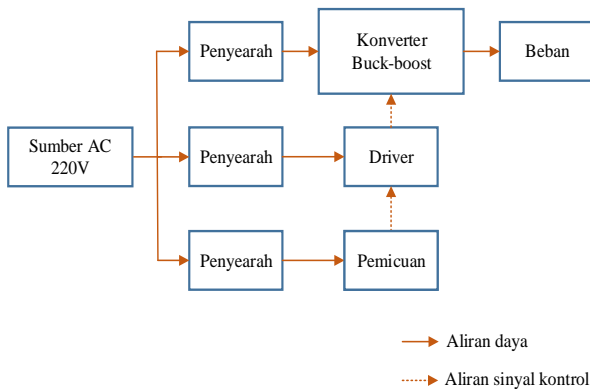
Setiap peralatan elektronik membutuhkan sumber tegangan untuk dapat beroperasi. Sumber tegangan yang diberikan harus sesuai dengan spesifikasi peralatan tersebut dan diasumsikan bernilai konstan, oleh karena itu regulator tegangan menjadi peralatan utama yang digunakan. Regulator tegangan berfungsi untuk

menghasilkan dan menjaga tegangan keluaran tetap konstan sesuai yang dibutuhkan [1]. Ada dua jenis regulator tegangan searah yang populer digunakan secara luas, yaitu *linear regulators* dan *switching-mode power supplies* (SMPS). Regulator linier memiliki kelemahan yaitu efisiensi yang rendah jika bandingkan dengan *switching* regulator [2]. Salah satu jenis dari *switching* regulator adalah *pulse-width modulated* (PWM) *DC-DC*

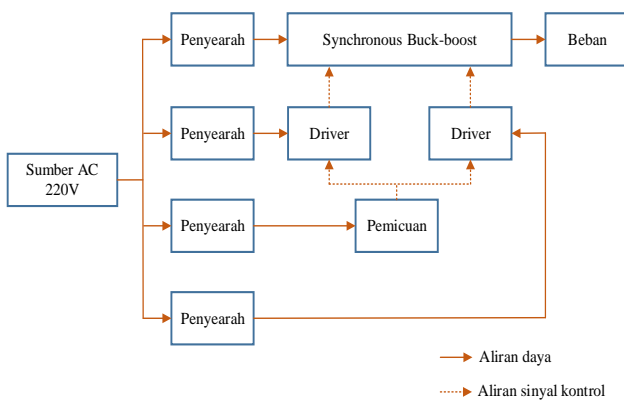
converters atau yang dikenal dengan konverter DC. Konverter DC digunakan untuk mengkonversi tegangan searah menjadi tegangan searah namun dengan nilai keluaran yang lebih kecil atau lebih besar dari masukannya [3]. Konverter DC konvensional (generasi keempat dan sebelumnya) menggunakan komponen dioda pada rangkaian konverternya. Berbeda dengan generasi kelima yang menggunakan komponen MOSFET sebagai pengganti komponen dioda. Konverter ini disebut dengan *synchronous rectifier converter* [4]. Dalam *synchronous rectifier converter*, MOSFET utama disebut sebagai *high-side* MOSFET sedangkan MOSFET pengganti dioda disebut dengan *low-side* MOSFET. Komponen *low-side* MOSFET pada *synchronous rectifier converter*, dapat mengurangi rugi konduksi. Hal ini dikarenakan rugi konduksi dioda lebih besar dari pada konduksi MOSFET sehingga dapat meningkatkan efisiensi konverter [5]. Dalam Tugas Akhir ini akan dibandingkan kinerja antara konverter *synchronous buck-boost* dengan konverter *buck-boost* konvensional.

2. Metode

2.1. Diagram Blok Konverter DC Topologi Buck-boost



Gambar 1. Diagram blok konverter *buck-boost* konvensional



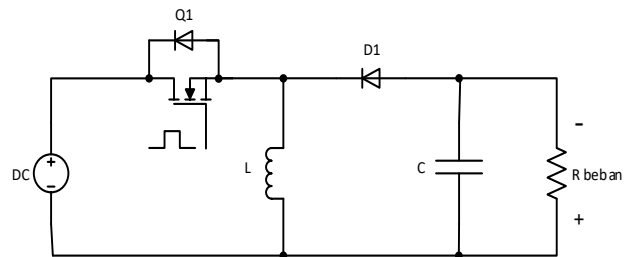
Gambar 2. Diagram blok konverter *synchronous buck-boost*

Gambar 1 merupakan blok diagram rangkaian konverter *buck-boost* konvensional. *High-side* MOSFET diaktifkan

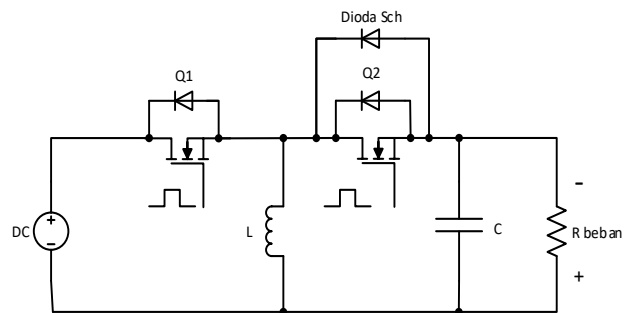
melalui rangkaian pemecuan yang terdiri dari *driver* MOSFET dan pembangkit PWM. Gambar 2 merupakan blok diagram rangkaian konverter *synchronous buck-boost*. *High-side* dan *low-side* MOSFET diaktifkan oleh rangkaian pemecuan yang terdiri dari dua buah *driver* MOSFET dan sinyal PWM dihasilkan oleh rangkaian pembangkit PWM.

2.2. Perancangan Rangkaian Daya

Konverter topologi *buck-boost* adalah konverter DC-DC yang berfungsi menurunkan maupun menaikkan tegangan dari tegangan masukan menuju beban.



Gambar 3. Rangkaian konverter *buck-boost* konvensional



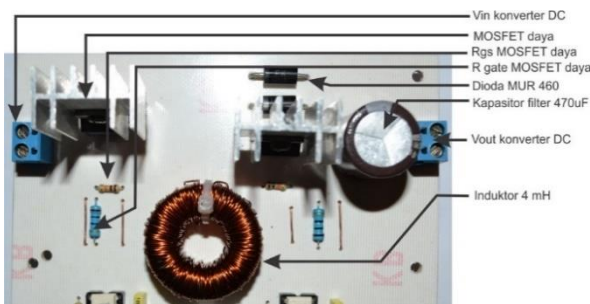
Gambar 4. Rangkaian konverter *synchronous buck-boost*

Gambar 3 dan Gambar 4 merupakan konverter *buck-boost* konvensional dan konverter *synchronous buck-boost*. Terlihat bahwa rangkaian konverter *synchronous buck-boost* menggunakan MOSFET sebagai pengganti dioda yang disebut dengan *low-side* MOSFET. Pemilihan *low-side* MOSFET harus memperhatikan nilai $R_{DS(on)}$ yang rendah sehingga rugi daya yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan dengan dioda. MOSFET IRFB4110PbF memiliki nilai $R_{DS(on)}$ yang rendah yaitu maksimal $4.5\text{m}\Omega$ [6]. Dalam konverter *synchronous buck-boost* dipasang dioda MUR460 sebagai dioda sinkronisasi (*dioda_{Sch}*) secara anti paralel dengan MOSFET sinkronisasi. Dioda MUR460 memiliki tegangan maju (V_f) yang lebih kecil dibandingkan dengan *body-diode* pada MOSFET, sehingga dengan pemasangan dioda MUR460 dapat mengurangi rugi daya yang terjadi ketika interval waktu *dead-time*. Spesifikasi konverter *synchronous buck-boost* disajikan pada Tabel 1.

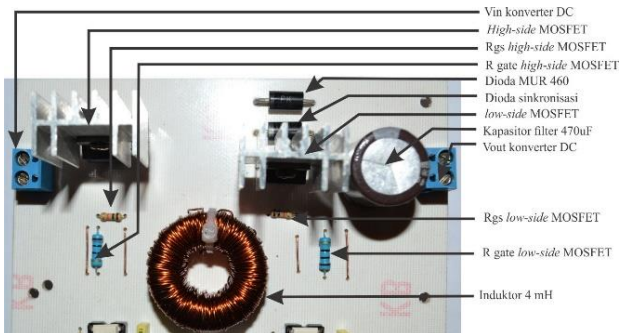
Tabel 1. Data parameter konverter DC topologi *buck-boost*

Parameter	Spesifikasi/Nilai Besaran
Tegangan Masukan maksimal (V_{in})	16,97 VDC
Frekuensi Pemicuan (f_{sw})	25000 Hz
Duty Cycle	0,1-0,8
Hambatan Beban (R)	50 Ω
	65 Ω
High-side MOSFET	IRFB4110PbF
Low-side MOSFET	IRFB4110PbF
Dioda	MUR460
Induktor	4 mH
Kapasitor	470 μ F/100V

Hasil perancangan rangkaian daya konverter *buck-boost* konvensional dan konverter *synchronous buck-boost* dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5. Rangkaian daya konverter *buck-boost* konvensional



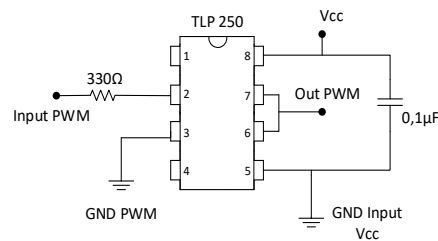
Gambar 6. Rangkaian daya konverter *buck-boost synchronous*

2.3. Perancangan Rangkaian Kontrol PWM

Rangkaian pembangkit sinyal PWM pada Tugas Akhir ini menggunakan mikrokontroler ATmega16. Sinyal PWM yang dihasilkan oleh mikrokontroler ATmega16 bersifat komplementer. Sistem minimum mikrokontroler adalah sebuah rangkaian elektronika sederhana yang terdiri dari komponen-komponen dasar yang dibutuhkan oleh mikrokontroler agar dapat berfungsi dengan baik [7]. Rangkaian sistem minimum menggunakan sumber *clock* yang terdapat pada *crystal oscillator* eksternal 16MHz.

2.4. Perancangan Rangkaian Driver MOSFET TLP250

Rangkaian TLP250 digunakan untuk menguatkan sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*) yang dibangkitkan oleh rangkaian kontrol PWM menjadi level tegangan yang lebih tinggi. Tegangan sinyal PWM 5V akan dikuatkan menjadi 15V sehingga cukup untuk memicu MOSFET pada rangkaian konverter DC yang dirancang. Pada *datasheet* TLP 250, nilai arus *forward* (I_f) yang direkomendasikan adalah sebesar 10mA. Tegangan *forward* tipikal berkisar antara 1,6V hingga 1,8V [8].



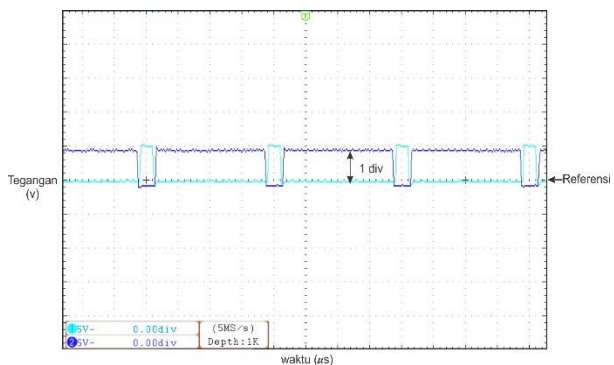
Gambar 7. Rangkaian skematik *driver* MOSFET TLP250

Gambar 7 menunjukkan rangkaian skematik *driver* MOSFET TLP250. Resistor 330 Ω pada pin 2 digunakan untuk membatasi arus *forward* (I_f) pada masukan TLP250 sehingga sesuai dengan *datasheet*.

3. Hasil dan Analisa

3.1. Pengujian Rangkaian Kontrol PWM

Pengujian pada subbab ini akan membahas mengenai hasil pengujian nilai keluaran pada blok kontrol PWM.



Gambar 8. Gelombang keluaran sinyal PWM *high-side* dan *low-side* MOSFET dengan *Time/Div* 10 μ s, 5V/div dan *Probe x1*.

Gambar 8 merupakan gelombang keluaran sinyal PWM *duty cycle* 10% untuk pemicuan *high-side* dan *low-side* MOSFET dari PORTD.5 dan PORTD.4 mikrokontroler ATmega16. Dari pengujian yang telah dilakukan didapat frekuensi gelombang pemicuan sebesar 25kHz dan besar tegangan 5 Volt serta kedua gelombang berkebalikan atau komplemen.

3.2. Pengujian Rangkaian Konverter DC Topologi Buck-boost

3.2.1. Konverter Buck-boost Konvensional

Hasil pengukuran konverter *buck-boost* konvensional disajikan pada Tabel 2 dan 3.

Tabel 2. Hasil pengukuran konverter *buck-boost* konvensional beban 50Ω.

Duty Cycle (%)	V_{in} (V)	I_{in} (A)	V_o (V)	I_o (A)
10	15,73	0,006	1,73	0,035
20	15,62	0,022	3,65	0,073
30	15,43	0,059	6,18	0,124
40	15,13	0,138	9,52	0,192
50	14,6	0,31	14,08	0,284
60	13,83	0,621	19,25	0,39
70	12,46	1,288	25,72	0,521
80	10,12	2,703	31,39	0,635

Tabel 3. Hasil pengukuran konverter *buck-boost* konvensional beban 65Ω.

Duty Cycle (%)	V_{in} (V)	I_{in} (A)	V_o (V)	I_o (A)
10	15,79	0,005	1,84	0,028
20	15,69	0,017	3,73	0,058
30	15,42	0,053	6,19	0,111
40	15,26	0,112	9,85	0,153
50	14,92	0,232	14,08	0,219
60	14,23	0,489	19,96	0,31
70	12,91	1,09	27,84	0,434
80	10,72	2,345	35,13	0,548

Tabel 2 dan 3 menunjukkan bahwa ketika *duty cycle* <50% konverter bekerja dalam mode penurun tegangan (*buck*) sedangkan ketika *duty cycle* >50% konverter bekerja dalam mode penaik tegangan (*boost*).

3.2.2. Konverter Synchronous Buck-boost

Hasil pengukuran konverter *synchronous buck-boost* disajikan pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4. Hasil pengukuran konverter *synchronous buck-boost* beban 50Ω.

Duty Cycle (%)	V_{in} (V)	I_{in} (A)	V_o (V)	I_o (A)
10	15,89	0,008	2,19	0,044
20	15,73	0,027	4,36	0,088
30	15,51	0,068	6,91	0,141
40	15,18	0,152	10,29	0,208
50	14,67	0,321	14,67	0,297
60	13,84	0,651	20,12	0,408
70	12,38	1,378	26,85	0,545
80	10,09	2,749	31,93	0,648

Tabel 5. Hasil pengukuran konverter *synchronous buck-boost* beban 65Ω.

Duty Cycle (%)	V_{in} (V)	I_{in} (A)	V_o (V)	I_o (A)
10	15,89	0,007	2,21	0,034
20	15,76	0,023	4,48	0,07
30	15,58	0,057	7,2	0,112
40	15,31	0,124	10,64	0,166
50	14,87	0,265	15,36	0,239
60	14,2	0,517	20,85	0,325
70	12,94	1,095	28,42	0,442
80	10,67	2,386	35,81	0,56

Tabel 4 dan 5 menunjukkan bahwa ketika *duty cycle* <50% konverter bekerja dalam mode penurun tegangan (*buck*) sedangkan ketika *duty cycle* >50% konverter bekerja dalam mode penaik tegangan (*boost*). Sehingga sudah sesuai dengan karakteristik konverter DC topologi *buck-boost*.

3.3. Perbandingan Rugi Konduksi dan Efisiensi

Rugi konduksi dan pensaklaran yang terjadi saat proses pensaklaran pada konverter *buck-boost* konvensional adalah (P_{RecD}) adalah penjumlahan dari 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}). Rugi konduksi dan pensaklaran yang terjadi saat proses pensaklaran pada konverter *synchronous buck-boost* adalah (P_{RecSM}) adalah penjumlahan dari rugi pengisian muatan pada *gate* MOSFET $Q1$ dan $Q2$ ($P_{GateQ1Q2}$), rugi konduksi pada $Q1$ (P_{conQ1}), rugi konduksi pada $Q2$ (P_{conQ2}), rugi *switching* pada MOSFET $Q1$ (P_{swQ1}) dan rugi konduksi pada dioda sinkronisasi ($P_{conSch2}$).

3.3.1. Perbandingan Rugi Konduksi dan Efisiensi Beban 50Ω

Hasil perbandingan rugi daya konduksi pada konverter *buck-boost* konvensional dengan konverter *synchronous buck-boost* beban resistor sebesar 50Ω dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan rugi daya konduksi antara konverter *buck-boost* konvensional dengan konverter *synchronous buck-boost* beban 50Ω.

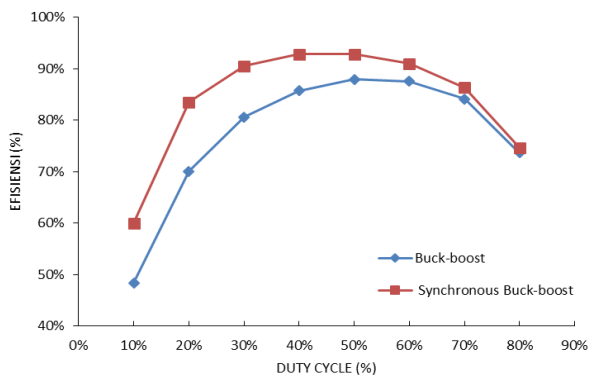
Duty cycle (%)	P_{RecSM} (W)	P_{RecD} (W)
10	0,062580	0,063511
20	0,06767	0,108668
30	0,075271	0,164781
40	0,087318	0,240382
50	0,107809	0,344114
60	0,143058	0,466986
70	0,20905	0,626037
80	0,328839	0,788092

Tabel 6 menunjukkan perbandingan rugi daya konduksi antara konverter *buck-boost* konvensional dengan konverter *synchronous buck-boost*. Rugi daya konduksi pada komponen pensaklaran konverter *buck-boost* konvensional maupun konverter *synchronous buck-boost* akan semakin besar ketika *duty cycle* diperbesar. Hal tersebut dikarenakan arus keluaran yang dihasilkan akan semakin meningkat seiring kenaikan *duty cycle*, kenaikan arus akan berdampak pada semakin besarnya rugi pada konverter.

Tabel 7. Perbandingan efisiensi antara konverter *buck-boost* konvensional dengan konverter *synchronous buck-boost* beban 50Ω.

Duty cycle (%)	η_D (%)	η_{SM} (%)
10	48.43	60.03
20	70.05	83.54
30	80.59	90.54
40	85.70	92.83
50	87.96	92.84
60	87.57	91.00
70	84.14	86.31
80	73.63	74.69

Berdasarkan Tabel 7 dapat dibuat perbandingan efisiensi antara konverter *buck-boost* konvensional dengan konverter *synchronous buck-boost* beban 50Ω pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik perbandingan efisiensi konverter *synchronous buck-boost* (η_{SM}) dan konverter *buck-boost* konvensional (η_D) beban 50Ω.

Gambar 9 menunjukkan grafik perbandingan efisiensi pada beban 50Ω. Terlihat bahwa pada semua variasi *duty-cycle*, efisiensi konverter *synchronous buck-boost* lebih tinggi jika dibandingkan dengan efisiensi konverter *buck-boost* konvensional. Namun semakin besarnya nilai *duty cycle* perbedaan efisiensi diantara keduanya semakin kecil. Saat *duty-cycle* 80% perbedaan efisiensi antara konverter *synchronous buck-boost* dengan konverter *buck-boost* konvensional hanya sekitar 1% saja. Ini artinya ketika konverter *buck-boost* dalam mode penaik tegangan maka tegangan dan arus keluaran konverter akan besar sehingga menghasilkan daya keluaran yang besar juga. Dengan

demikian untuk rugi daya yang reatif kecil baik pada konverter *synchronous buck-boost* maupun konverter *buck-boost* konvensional hanya akan memberikan dampak yang kecil terhadap efisiensi konverter.

3.3.2. Perbandingan Rugi Konduksi dan Efisiensi Beban 65Ω

Hasil perbandingan rugi daya konduksi pada konverter *buck-boost* konvensional dengan konverter *synchronous buck-boost* beban 65Ω dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Perbandingan rugi daya konduksi antara konverter *buck-boost* konvensional dengan konverter *synchronous buck-boost* beban 65Ω.

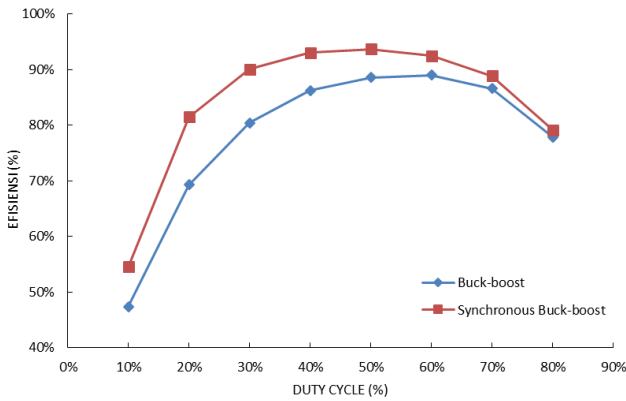
Duty cycle (%)	P_{RecSM} (W)	P_{RecD} (W)
10	0.06165	0.05666
20	0.06574	0.09181
30	0.07176	0.15002
40	0.08143	0.19753
50	0.09816	0.27221
60	0.12572	0.37744
70	0.18042	0.52656
80	0.29097	0.68376

Berdasarkan Tabel 8 didapatkan perbandingan rugi daya konduksi antara konverter *buck-boost* konvensional dengan konverter *synchronous buck-boost* pada beban resistor sebesar 65 Ω. Rugi daya konduksi pada komponen pensaklaran konverter *buck-boost* konvensional maupun konverter *synchronous buck-boost* akan semakin besar ketika *duty cycle* diperbesar. Hal tersebut dikarenakan arus keluaran yang dihasilkan akan meningkat seiring kenaikan *duty cycle*, kenaikan arus akan berdampak pada semakin besarnya rugi daya pada konverter.

Tabel 9. Perbandingan efisiensi antara konverter *buck-boost* konvensional dengan konverter *synchronous buck-boost* beban 65Ω.

Duty cycle (%)	η_D (%)	η_{SM} (%)
10	47.34	54.54
20	69.26	81.50
30	80.44	90.08
40	86.27	93.08
50	88.61	93.72
60	89.01	92.49
70	86.62	88.89
80	77.89	79.15

Berdasarkan Tabel 9 dapat dibuat perbandingan efisiensi antara konverter *buck-boost* konvensional dengan konverter *synchronous buck-boost* beban 65Ω pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik perbandingan efisiensi konverter *synchronous buck-boost* (η_{SM}) dan konverter *buck-boost* konvensional (η_D) beban 65Ω .

Gambar 10 menunjukkan grafik perbandingan efisiensi pada beban 65Ω . Terlihat bahwa pada semua variasi *duty-cycle*, efisiensi secara keseluruhan antara konverter *synchronous buck-boost* lebih tinggi jika dibandingkan dengan efisiensi konverter *buck-boost* konvensional. Ketika *duty-cycle* sebesar 80% perbedaan efisiensi konverter DC dengan dan tanpa MOSFET sinkronisasi hanya sekitar 1% saja. Ini artinya ketika konverter DC *buck-boost* dalam mode penaik tegangan maka tegangan dan arus keluaran konverter akan besar sehingga menghasilkan daya keluaran yang besar juga. Dengan demikian untuk rugi daya yang reatif kecil baik pada konverter *synchronous buck-boost* maupun konverter *buck-boost* konvensional hanya akan memberikan dampak yang kecil terhadap efisiensi konverter.

3.4. Perbandingan Efisiensi Konverter *Synchronous Buck-boost* dengan Variasi *Dead-time*

Rugi daya *dead-time* merupakan salah satu rugi daya terbesar yang terjadi pada konverter *synchronous buck-boost*. Rugi daya ini terjadi ketika waktu peralihan *high-side* MOSFET tidak aktif dan *low-side* MOSFET masih belum aktif. Semakin kecil waktu *dead-time* maka arus yang mengalir tiap satuan waktu pada dioda sinkronisasi akan semakin singkat. Semakin besar arus yang mengalir maka rugi daya pada dioda sinkronisasi akan semakin besar. hal ini mengakibatkan rugi daya akibat *dead-time* patut diperhitungkan. Interval waktu *deadtime* pada alat yang dirancang dalam Tugas Akhir ini dapat diatur, hal ini menjadi kelebihan dibandingkan dengan IC pembangkitan sinyal PWM biasa. Dalam Tugas Akhir ini *dead-time* yang akan divariasikan berjumlah 3, yaitu *dead-time* selama $2\mu s$, $4\mu s$, dan $6\mu s$ dari total periode (T) waktu *on* dan *off* selama $40\mu s$. Konverter *synchronous buck-boost* diberikan beban yang sama pada setiap variasi sebesar 50Ω . Perbandingan besar rugi daya *dead-time* yang terjadi dan efisiensi terhadap *duty cycle* ketika nilai *dead-time* divariasikan dapat dilihat pada Tabel 9 dan 10.

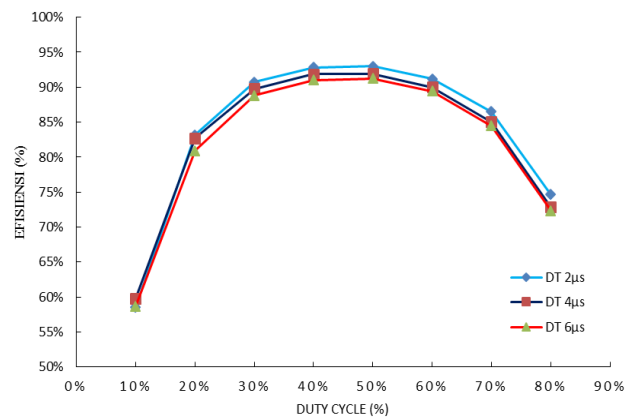
Tabel 9. Perbandingan rugi daya *dead-time* pada konverter *synchronous buck-boost* saat *dead-time* selama $2\mu s$, $4\mu s$, dan $6\mu s$.

Duty Cycle (%)	Rugi daya DT (W)		
	DT $2\mu s$	DT $4\mu s$	DT $6\mu s$
10	0.00245	0.00537	0.00805
20	0.00558	0.01208	0.01752
30	0.01043	0.02220	0.03263
40	0.01759	0.03745	0.05486
50	0.03066	0.06363	0.09356
60	0.05158	0.10841	0.16262
70	0.09258	0.19110	0.29243
80	0.16643	0.34073	0.50321

Tabel 10. Perbandingan efisiensi pada konverter *synchronous buck-boost* saat *dead-time* selama $2\mu s$, $4\mu s$, dan $6\mu s$.

Duty Cycle (%)	Efisiensi (%)		
	DT $2\mu s$	DT $4\mu s$	DT $6\mu s$
10	58.57	59.84	58.70
20	83.18	82.70	80.92
30	90.75	89.80	88.82
40	92.84	91.87	91.05
50	93.00	91.92	91.26
60	91.17	90.01	89.43
70	86.50	85.04	84.50
80	74.69	72.88	72.35

Berdasarkan Tabel 10 dapat dibuat grafik perbandingan efisiensi konverter terhadap *duty cycle* dengan variasi *deadtime* selama $2\mu s$, $4\mu s$, dan $6\mu s$ sebagai berikut:



Gambar 11. Perbandingan efisiensi terhadap *duty cycle* pada konverter *synchronous buck-boost* beban 50Ω dengan variasi *dead-time*.

Gambar 11 menunjukkan perbandingan nilai efisiensi terhadap *duty cycle* pada konverter *synchronous buck-boost* beban 50Ω dengan variasi nilai *dead-time* selama $2\mu s$, $4\mu s$, dan $6\mu s$. Secara umum dapat dilihat bahwa efisiensi konverter *synchronous buck-boost* akan semakin tinggi ketika interval waktu *dead-time* semakin singkat. Saat *duty cycle* 10% hingga 20%, efisiensi dari konverter *synchronous buck-boost* pada ketiga variasi *dead-time* hampir sama, hal ini terjadi karena rugi daya yang dominan pada saat *duty cycle* 10% hingga 20% adalah rugi daya *gate* pada *high-side* dan *low-side* MOSFET. Ketika *duty cycle*

>20% efisiensi konverter *synchronous buck-boost* saat interval waktu *dead-time* selama 2 μ s memiliki efisiensi yang lebih tinggi dari pada efisiensi konverter *synchronous buck-boost* dengan interval waktu *dead-time* selama 4 μ s, dan 6 μ s. Hal ini dikarenakan interval waktu ketika *dead-time* selama 2 μ s lebih singkat dibandingkan dengan keduanya sehingga rugi daya yang terjadi lebih kecil. Begitupula dengan interval waktu *dead-time* selama 4 μ s memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan efisiensi konverter *synchronous buck-boost* dengan interval waktu *dead-time* selama 6 μ s.

4. Kesimpulan

Efisiensi konverter *synchronous buck-boost* pada semua variasi *duty cycle* beban 50 Ω maupun 65 Ω memiliki nilai yang lebih tinggi dari pada efisiensi konverter *buck-boost* konvensional dan mencapai efisiensi maksimum sebesar 92,84% ketika *duty cycle* 50% beban 50 Ω kemudian sebesar 93,72% ketika *duty cycle* 50% beban 65 Ω . Efisiensi konverter *buck-boost* konvensional maupun *synchronous* ketika *duty cycle* 10% memiliki efisiensi yang relatif rendah yaitu dibawah 61%. Ketika *duty cycle* 80% untuk semua variasi beban, efisiensi konverter *synchronous buck-boost* hampir sama dengan konverter *buck-boost* konvensional. Efisiensi konverter *synchronous buck-boost* ketika variasi *dead-time* selama 2 μ s memiliki nilai paling tinggi dibandingkan dengan interval waktu selama 4 μ s, dan 6 μ s.

Referensi

- [1] Roberts, Steve. "DC/DC Book of Knowledge – Practical Tips For The User" RECOM, Austria, 2014.
- [2] Kazimierczuk, Marian. "Pulse-width Modulated DC-DC Power Converters" Ohio, Wright State University Dayton, 2008.
- [3] Hart, Daniel W., "Introduction to Power Electronics", Printice-Hall International, International Edition, 1997.
- [4] Luo, Fang Lin. "Advanced DC/DC Converters", CRC Press LLC, Third Edition, 2004.
- [5] Jaunay, Serge and Brown, Jess, "DC to DC Design Guide", Vishay Siliconix, AN607, 71917.
- [6] -, International Rectifier, IRFB4110PbF, <http://www.irf.com/package/>.
- [7] *ATmega16*, Atmel Corporation, San Jose, CA, USA, 2010.
- [8] -, TOSHIBA Photocoupler GaAlAs Ired & Photo-IC, TLP250, 2004.