

PERANCANGAN KONVERTER ARUS SEARAH TIPE PENURUN TEGANGAN DENGAN MOSFET SINKRON DAN TANPA MOSFET SINKRON

Muhammad Irfan Dzakwan^{*)}, Iwan Setiawan, Agung Warsito, dan Trias Andromeda

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

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

Abstrak

Sistem elektronika saat ini membutuhkan sumber daya yang memiliki efisiensi tinggi. Konverter arus searah berfungsi untuk mengkonversi tegangan masukan arus searah menjadi tegangan keluaran arus searah dengan nilai yang berbeda, selain itu dapat juga digunakan untuk mengatur tegangan keluaran terhadap variasi beban. Peningkatan efisiensi pada konverter arus searah dapat dilakukan dengan mengganti saklar pasif yang berupa dioda dengan saklar aktif yang berupa MOSFET. Konverter arus searah yang telah menggunakan MOSFET sebagai pengganti dari dioda bisa disebut sebagai konverter arus searah sinkron. Pada penelitian ini merancang sebuah konverter arus searah tipe penurun tegangan. Perancangan alat pada penelitian ini akan mengaplikasikan metode sinkronisasi MOSFET dengan cara mengaktifkan kedua MOSFET secara bergantian dan bekerja pada besaran frekuensi yang sama. Pada penelitian ini akan dilakukan perbandingan efisiensi antara konverter arus searah dengan MOSFET sinkron dan tanpa MOSFET sinkron. Pada konverter arus searah tipe penurun tegangan tanpa MOSFET sinkron semakin tinggi duty cycle maka akan semakin tinggi nilai efisiensinya. Pada konverter arus searah dengan MOSFET sinkron nilai efisiensi cenderung stabil pada duty cycle berapapun. Pada penelitian ini didapatkan hasil bahwa konverter arus searah tipe penurun tegangan dengan MOSFET sinkron lebih efisien daripada konverter arus searah tipe penurun tegangan tanpa MOSFET sinkron.

Kata kunci : Konverter arus searah, sinkronisasi MOSFET, efisiensi.

Abstract

In this modern electronics systems require power sources that have high efficiency.. Direct current converter serves to convert the direct current input voltage into direct current output voltage with different values, but it can also be used to adjust the output voltage to the load variation. Increasing efficiency in direct current converter can be done by replacing passive switch in the form of diode with active switch in the form of MOSFET. Direct current converters that have used MOSFETs instead of diodes may be referred to as synchronous rectification. In this research, designing a synchronous buck converter. The synchronous direct current converter operates by switching the two MOSFETs in turn and working on the same frequency. In this research will be an efficiency comparison between direct current converter with synchronous MOSFET and without sync MOSFET. In a buck converter the higher the duty cycle that the greater the efficiency. In a with synchronous buck the efficiency values tend to be stable at any duty cycle. In this research, it was found that the direct current converter of the voltage-lowering type with synchronous MOSFET is more efficient than the direct current converter of the voltage-lowering type without the synchronous MOSFET.

Keyword : direct current converter , synchronous MOSFET, efficiency

1. Pendahuluan

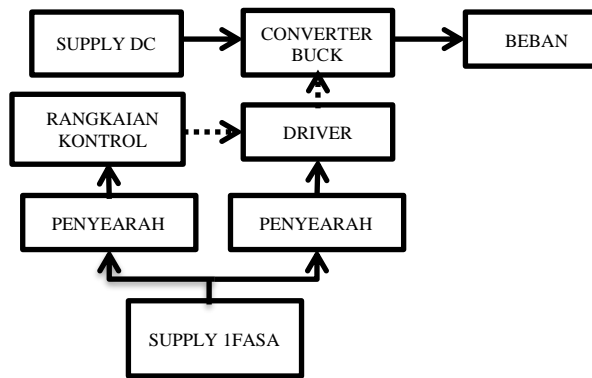
Sistem elektronika saat ini membutuhkan sumber daya yang memiliki efisiensi tinggi. Penggunaan regulator linier dengan berdasarkan prinsip pembagi tegangan atau pembagi arus pada sumber daya dinilai sudah tidak efisien lagi karena hanya bertujuan untuk mendapatkan nilai output yang lebih kecil dari nilai input. Untuk kebutuhan daya yang lebih tinggi digunakan switching regulator.

Switching regulator menggunakan semikonduktor sebagai saklar, saklar tersebut beralih dari off ke on secara cepat atau bekerja pada frekuensi tinggi. Konverter arus searah berfungsi untuk mengkonversi tegangan masukan arus searah menjadi tegangan keluaran arus searah dengan nilai yang berbeda, selain itu dapat juga digunakan untuk mengatur tegangan keluaran terhadap variasi beban.[1] Peningkatan efisiensi pada konverter arus searah dapat dilakukan dengan mengganti saklar pasif yang berupa dioda dengan saklar aktif yang berupa MOSFET [2].

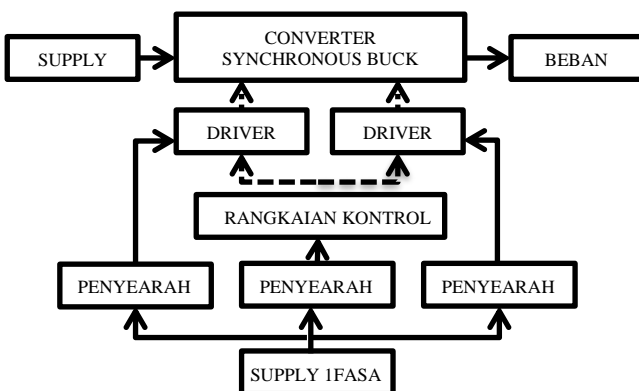
Konverter arus searah yang telah menggunakan MOSFET sebagai pengganti dari dioda bisa disebut sebagai konverter arus searah sinkron. Konverter arus searah sinkron beroperasi dengan cara mengaktifkan kedua MOSFET secara bergantian dan bekerja pada besaran frekuensi yang sama. MOSFET dapat mengurangi rugi konduksi pada diode karena rugi konduksi pada MOSFET yang lebih rendah dari rugi konduksi terkait dengan dioda[3]. Pada penelitian ini akan dilakukan perbandingan efisiensi antara konverter arus searah dengan MOSFET sinkronisasi dan tanpa MOSFET sinkronisasi

2. Metode

Perancangan penelitian ini terdiri dari rangkaian konverter arus searah dengan MOSFET sinkronisasi dan tanpa MOSFET sinkronisasi, rangkaian penyearah, dan rangkaian kontrol pembangkit sinyal PWM.

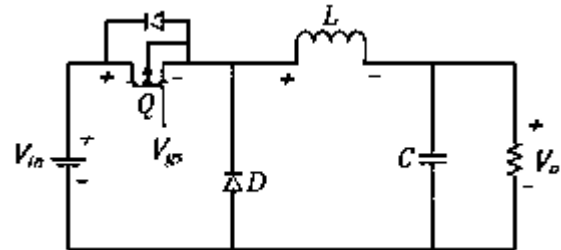


Gambar 1. Blok diagram konverter arus searah tanpa MOSFET sinkronisasi

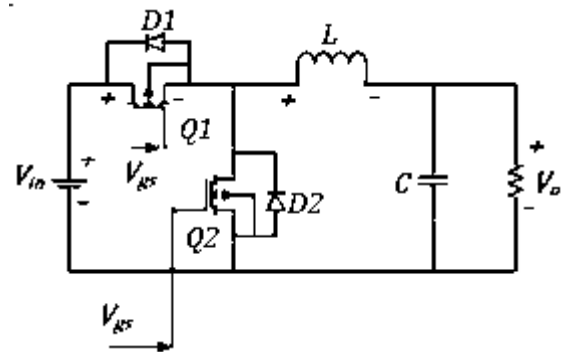


Gambar 2. Blok diagram konverter arus searah dengan MOSFET sinkronisasi

2.1. Perancangan Rangkaian Konverter Arus Searah Dengan MOSFET Sinkronisasi dan Tanpa MOSFET Sinkronisasi



Gambar 3. Rangkaian konverter arus searah tipe penurun tegangan tanpa MOSFET sinkronisasi



Gambar 4. Rangkaian konverter arus searah tipe penurun tegangan dengan MOSFET sinkronisasi

Komponen – komponen penyusun yang digunakan pada konverter arus searah dengan MOSFET sinkronisasi dan tanpa MOSFET sinkronisasi antara lain:

1. Sumber Tegangan Arus Searah

Sumber yang dipakai rangkaian konverter arus searah untuk menyuplai rangkaian arus searah didapat dari *power supply*. Sumber tegangan arus searah ini memberikan tegangan sebesar 13,5V untuk mensuplai

2. Saklar

Komponen pensaklaran yang digunakan pada konverter arus searah pada penelitian ini adalah MOSFET. Pemilihan MOSFET harus mempertimbangkan nilai tegangan dan arus operasi selain itu untuk pemilihan MOSFET sinkronisasi perlu diperhatikan juga tahanan dalamnya $R_{ds(on)}$. Tujuan pemilihan MOSFET dengan $R_{ds(on)}$ yang rendah agar terlihat perbedaan rugi daya yang terjadi. Tegangan masukan konverter arus searah adalah 13,5V.

MOSFET yang dipakai adalah MOSFET IRFP460 yang mempunyai tegangan breakdown Drain-Source $V_{(BR)DS}$ adalah 500 V dan kemampuan arus drain maksimal 20 A, sehingga pemakaian MOSFET tipe IRFP460 ini aman untuk dipakai karena arus rata-rata yang dialirkan rangkaian daya yaitu

dibawah 5 A [13]. Sedangkan pada MOSFET sinkronisasi digunakan MOSFET IRFZ44N yang mempunyai $R_{ds(on)}$ rendah yaitu $17,5m\Omega$ dengan tegangan *breakdown drain-source* sebesar 55V dan kemampuan arus drain maksimal 49 A [14].

3. Dioda yang digunakan adalah MUR460. Dioda ini dipilih karena mempunyai sifat ultrafast recovery dengan waktu pemulihan 75ns [12].
4. Induktor
Induktor yang digunakan pada konverter arus searah ini diperhitungkan nilainya untuk disesuaikan dengan parameter lain yang berhubungan. Induktor yang digunakan merupakan induktor jenis toroid yang dibuat dari kawat tembaga yang dililitkan pada inti ferit toroid.

$$L_{min} = \frac{(V_{in} - V_{out}) \times D}{I_{LR} \times I_{out} \times f_{sw}} = \frac{(12 - 5) \times 0,416}{0,3 \times 5 \times 15000} = 129,6 \mu H$$

Pemilihan nilai induktor lebih besar dari nilai induktor minimal ($L > L_{min}$) agar konverter arus searah bekerja pada *Continuous Conduction Mode* (CCM). Pada penelitian ini digunakan induktor dengan nilai sebesar 5 mH.

5. Kapasitor
Kapasitor berfungsi sebagai filter tegangan untuk membatasi *ripple* tegangan yang disebabkan kenaikan nilai beban. Kapasitor yang digunakan untuk perancangan konverter arus searah ini bernilai 470 μF . Hal ini dilakukan untuk mendapatkan tegangan *ripple* puncak ke puncak kapasitor (ΔV_0) yang kecil.

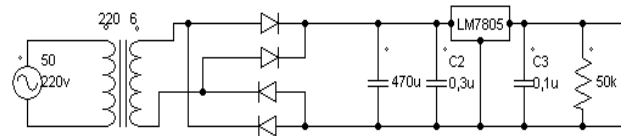
$$C_{min} = \frac{I_{LR} \times I_{out,max}}{8 \times f_{sw} \times C_{VR} \times V_{out}} = \frac{0,3 \times 5}{8 \times 15000 \times 0,04 \times 5} = 62,5 \mu F$$

Pada perhitungan kapasitor didapat nilai kapasitansi kapasitor sebesar 62,5 μF . Pada realisasinya kapasitor yang dipasang adalah 470 μF . Nilai kapasitansi sebesar 62,5 μF tidak dapat ditemukan dipasaran, sehingga dipilih nilai kapasitansi kapasitor diatas nilai perhitungan. Pemilihan nilai kapasitansi kapasitor diatas nilai perhitungan bertujuan untuk mengurangi *ripple* tegangan keluaran.

2.2. Rangkaian Penyearah

Penyearah berfungsi sebagai pengubah tegangan arus bolak-balik (*Alternating Current*) menjadi tegangan arus searah (*Direct Current*). Rangkaian penyearah ini digunakan sebagai suplai rangkaian kontrol pembangkit sinyal PWM *microcontroller* dan rangkaian *driver* MOSFET. Gambar 4. adalah rangkaian penyearah

yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 5. Rangkaian Penyearah

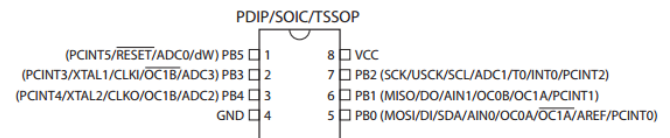
Penyearah pada penelitian ini dilengkapi dengan kapasitor sebagai filter tegangan keluaran.

2.3. Perancangan Rangkaian Kontrol

Rangkaian kontrol terdiri dari rangkaian sistem minimum mikrokontroler ATTiny85 dan rangkaian *driver* MOSFET. Rangkaian kontrol menggunakan suplai dari 3 buah rangkaian penyearah dengan tegangan keluaran 5V_{DC} untuk menyuplai mikrokontroler dan tegangan 15 V_{DC} untuk menyuplai rangkaian *driver* MOSFET.

2.3.1. Sistem Minimum Kontroler

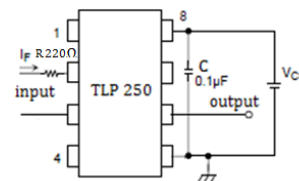
Sistem minimum mikrokontroler adalah sebuah rangkaian elektronika sederhana yang terdiri dari komponen - komponen dasar yang dibutuhkan oleh mikrokontroler agar dapat berfungsi dengan baik. Mikrokontroler digunakan sebagai pembangkit sinyal PWM yang digunakan untuk pensaklaran rangkaian daya.



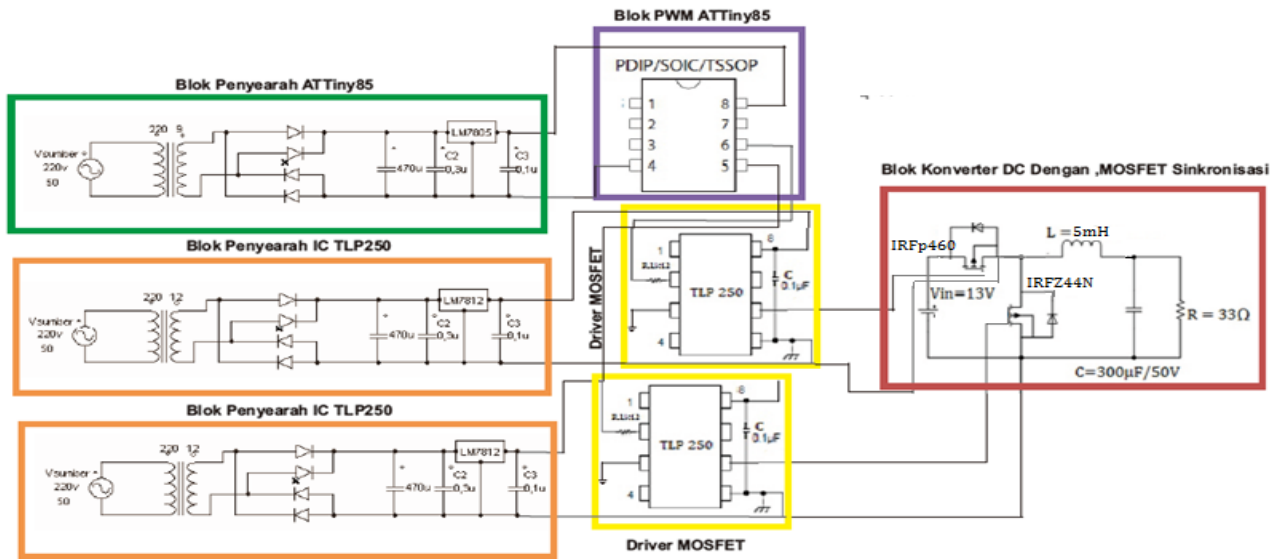
Gambar 6. Mikrokontroler ATTiny85 [7]

2.3.2. Rangkaian Driver MOSFET

Rangkaian TLP250 digunakan untuk mengisolasi dan menguatkan sinyal PWM tegangan 5 volt yang dibangkitkan mikrokontroler menjadi level tegangan yang lebih tinggi dengan sistem ground terpisah dan cukup untuk memicu MOSFET yang membutuhkan tegangan $V_{GS} \pm 20V$.



Gambar 7. Rangkaian TLP250 [15]



Gambar 8. Skema rangkaian keseluruhan

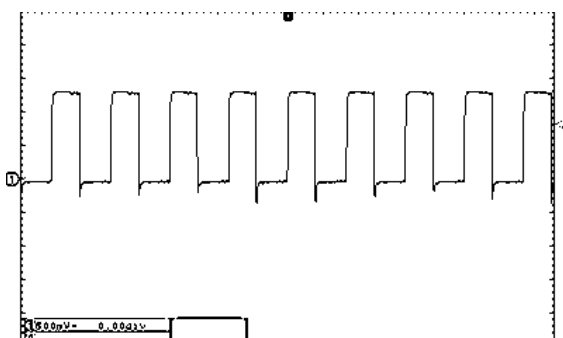
3. Hasil dan Analisa

3.1. Pengujian Rangkaian Kontrol

Pengujian subbab ini akan membahas mengenai hasil pengujian nilai keluaran pada blok rangkaian control yang terdiri dari rangkaian PWM mikrokontroler, MOSFET Driver TLP250.

3.1.1. Pengujian PWM Mikrokontroler

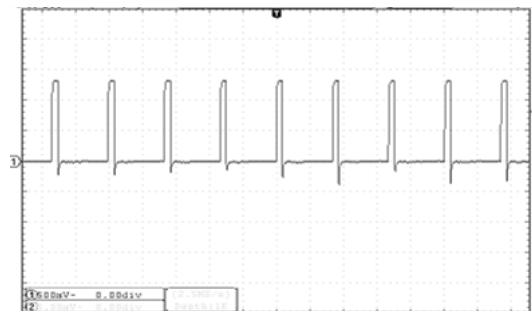
Gambar 9 menunjukkan output pin PWM dimana pengamatan dilakukan pada V/div500mV dan T/div 20µs dengan probe dikali 10.



Gambar 9. Gelombang keluaran PWM D=45%

3.1.2. Pengujian Rangkaian MOSFET Driver TLP250

Gambar 10 menunjukkan output pin 6 dengan ground TLP250 dimana pengamatan dilakukan pada V/div 500mV dan T/div 10 µ dengan probe dikali 10.

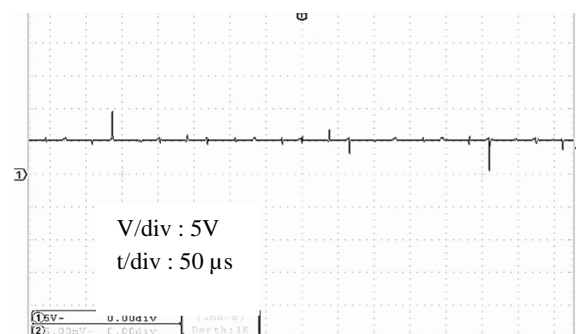


Gambar 10. Gelombang keluaran TLP250 D=10%

3.2. Pengujian Rangkaian Daya

Pengujian rangkaian daya dilakukan dengan mengukur tegangan masukan, arus masukan, tegangan keluaran, arus keluaran, dan perhitungan efisiensi rangkaian konverter. Pengujian untuk dapat mengetahui efisiensi dari rangkaian konverter arus searah dengan MOSFET sinkron dan tanpa MOSFET sinkron.

3.2.1. Pengujian Konverter Arus Searah Tipe Penurun Tegangan



Gambar 11. Gelombang tegangan keluaran konverter

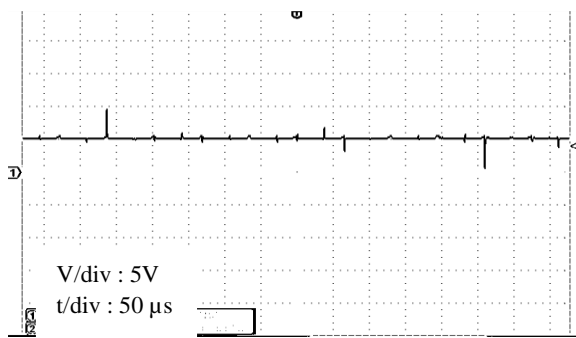
Berdasarkan gambar 11 gelombang tegangan keluaran konverter berbentuk garis lurus yang merupakan bentuk dari gelombang tegangan arus searah.

Tabel 1. Hasil pengujian konverter arus searah tipe penurun tegangan

Duty Cycle (%)	$V_{in}(V)$	$I_{in}(A)$	$V_o(V)$	$I_o(A)$
10	13,58	0,0053	0,928	0,038
20	13,58	0,022	2,12	0,096
30	13,56	0,061	3,39	0,152
40	13,56	0,123	4,59	0,21
50	13,56	0,182	5,76	0,262
60	13,56	0,246	7,00	0,318
70	13,55	0,31	8,20	0,373
80	13,55	0,388	9,40	0,427
90	13,54	0,464	10,80	0,489
96,8	13,54	0,497	11,3	0,513

Tabel 1 adalah tabel pengujian saat konverter arus searah tipe penurun tegangan tanpa MOSFET sinkronisasi dibebani dengan tahanan 20Ω.

3.2.2. Pengujian Konverter Arus Searah Tipe Penurun Tegangan Dengan MOSFET Sinkron



Gambar 12. Gelombang tegangan keluaran konverter arus searah tipe penurun tegangan dengan MOSFET sinkron

Berdasarkan gambar 11 gelombang tegangan keluaran konverter berbentuk garis lurus yang merupakan bentuk dari gelombang tegangan arus searah.

Tabel 2. Hasil pengujian konverter arus searah tipe penurun tegangan dengan MOSFET sinkronisasi

Duty Cycle (%)	$V_{in}(V)$	$I_{in}(A)$	$V_o(V)$	$I_o(A)$
10	13,45	0,008	1,43	0,064
20	13,45	0,028	2,64	0,118
30	13,45	0,07	3,82	0,172
40	13,44	0,12	5,18	0,225
50	13,44	0,18	6	0,271
60	13,42	0,251	7,23	0,33
70	13,42	0,314	8,47	0,381
80	13,42	0,383	9,49	0,426
90	13,41	0,465	10,82	0,487
96,8	13,41	0,512	11,6	0,525

3.3. Perbandingan Efisiensi

Berdasarkan Tabel 1, dapat dihitung rugi-rugi yang terjadi saat proses pensaklaran pada konverter arus searah tipe penurun tegangan tanpa MOSFET sinkronisasi (P_{RecD}).

Tabel 3. Rugi-rugi yang terjadi saat proses pensaklaran pada konverter arus searah tanpa MOSFET sinkronisasi.

DUTY CYCLE (%)	P_{conQ}	P_{swQ}	P_{conD}	P_{RecD}
10	0,00003898	0,0359	0,000483013	0,036432001
20	0,00049766	0,0806	0,001220244	0,082357908
30	0,00187142	0,1117	0,001929208	0,115520632
40	0,0047628	0,1323	0,002665354	0,139728154
50	0,0092669	0,1375	0,003325346	0,150142286
60	0,01638208	0,1335	0,004036107	0,153978195
70	0,02629538	0,1174	0,004730684	0,148521065
80	0,03938306	0,0896	0,005415556	0,13446862
90	0,05810640	0,0513	0,006197312	0,115648715
96,8	0,06878185	0,01723	0,006501475	0,092520125

Berdasarkan Tabel 2, dapat dihitung rugi-rugi yang terjadi saat proses pensaklaran pada konverter arus searah tipe penurun tegangan dengan MOSFET sinkronisasi (P_{RecSM}).

Tabel 4. Rugi-rugi yang terjadi saat proses pensaklaran pada konverter arus searah dengan MOSFET sinkronisasi.

Duty cycle (%)	P_{conQ1}	P_{swQ1}	P_{conQ2}	P_{conD2}	P_{RecSM}
10	0,00011059	0,001081	0,00098095	5,99E-06	0,00217
20	0,00075189	0,001994	0,00295871	2,21E-05	0,00572
30	0,00239630	0,002906	0,00548753	4,83E-05	0,01083
40	0,0054675	0,003802	0,00802355	8,42E-05	0,01737
50	0,00991453	0,004579	0,00965675	0,00012	0,02427
60	0,0176418	0,005577	0,01137896	0,00018	0,03478
70	0,02743542	0,006438	0,0124852	0,00025	0,04537
80	0,03919881	0,007199	0,00916272	0,00031	0,05588
90	0,05763206	0,008230	0,0055711	0,00041	0,07184
96,8	0,07203735	0,0088725	0,001413956	0,000476	0,082799

Berdasarkan Tabel 3 dan 4 dapat dilakukan perbandingan daya yang hilang akibat proses konduksi antara konverter arus searah tipe penurun tegangan dengan MOSFET sinkronisasi (P_{RecSM}) dengan konverter arus searah tipe penurun tegangan tanpa MOSFET sinkronisasi (P_{RecD}).

Tabel 5. Perbandingan rugi daya konduksi antara konverter arus searah dengan MOSFET sinkronisasi dan konverter arus searah tanpa MOSFET sinkronisasi.

Duty cycle (%)	$P_{RecSM} (W)$	$P_{RecD} (W)$
10	0,002179	0,036432001
20	0,005727	0,082357908
30	0,010839	0,115520632
40	0,017378	0,139728154
50	0,024278	0,150142286
60	0,034783	0,153978195
70	0,045372	0,148521065
80	0,05588	0,13446862
90	0,071844	0,115648715
96,8	0,082799	0,092520125

Berdasarkan data pada Tabel 4.6 dapat diperoleh efisiensi pada konverter arus searah tipe penurun tegangan dengan MOSFET sinkronisasi yang dihitung menggunakan persamaan:

$$\eta_{SM} = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{conQ1} + P_{swQ1} + P_{conQ2} + P_{conD2}}$$

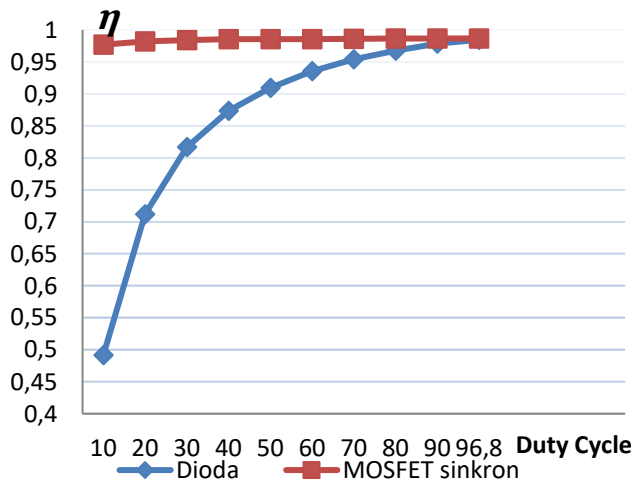
dan konverter arus searah tipe penurun tegangan tanpa MOSFET sinkronisasi yang dihitung menggunakan persamaan:

$$\eta_D = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{conQ} + P_{swQ} + P_{conD}}$$

Maka didapat hasil sebagai berikut:

Tabel 6. Perbandingan efisiensi antara konverter arus searah dengan MOSFET sinkronisasi dan konverter arus searah tanpa MOSFET sinkronisasi.

Duty cycle (%)	η_D	η_{SM}
10	0,491854	0,976743
20	0,711912	0,981948
30	0,816867	0,983771
40	0,873392	0,985309
50	0,909513	0,985289
60	0,935303	0,985631
70	0,95369	0,986135
80	0,967584	0,986366
90	0,978571	0,986549
96,8	0,98429	0,986586



Gambar 13. Grafik Perbandingan Efisiensi konverter arus searah tipe penurun tegangan dengan MOSFET sinkronisasi (η_{SM}) dan konverter arus searah tipe penurun tegangan tanpa MOSFET sinkronisasi(η_D)

Berdasarkan Gambar 13 dan Tabel 6 di atas terlihat bahwa nilai *duty cycle* berbanding lurus dengan efisiensi yang dihasilkan dari konverter, dan terlihat bahwa konverter arus searah yang menggunakan MOSFET sinkron memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan

konverter arus searah tipe penurun tegangan tanpa MOSFET sinkron.

4. Kesimpulan

Rugi konduksi yang terjadi pada konverter arus searah penurun tegangan tanpa MOSFET sinkron menunjukkan nilai 0,1501 W pada duty cycle 50%, sedangkan pada konverter dengan MOSFET sinkron menunjukkan 0,0242 W, dari data tersebut menunjukkan bahwa konverter arus searah tanpa MOSFET sinkron menghasilkan rugi daya konduksi yang lebih besar. Nilai rugi konduksi pada dioda akan semakin kecil ketika duty cycle diperbesar. Hal ini dikarenakan rugi konduksi dipengaruhi nilai duty cycle. Pada penelitian ini didapatkan hasil bahwa konverter arus searah tipe penurun tegangan dengan MOSFET sinkron lebih efisien daripada konverter arus searah tipe penurun tegangan tanpa MOSFET sinkron. Penelitian ini dapat dikembangkan lagi dengan mengaplikasikan metode ZVT (*Zero Current Transition synchronous buck converter*) untuk mengurangi rugi-rugi dan meningkatkan efisiensi.

Referensi

- [1] Hart, Daniel W., "Power Electronics – DC-DC Converter", Valparaiso University, Valparaiso, Indiana, 2011.
- [2] Jaunay, Serge and Brown, Jess, "DC to DC Design Guide", Vishay Siliconix, AN607, 71917.
- [3] Rashid, Muhammad H., "Power Electronics Handbook", University of Florida, Florida, 2001.
- [4] Mohan, Ned, "Power Electronic – A First Course", John Wiley & Sons, Inc., University of Minnesota, Minneapolis, 2012.
- [5] Cheng, Yuhua and Hu, Chenming, "§2.1 MOSFET classification and operation", MOSFET modeling & BSIM3 user's guide, Springer. p. 13, ISBN 0-7923-8575-6(1999).
- [6] Atmel Corporation "Atmel 8-bit AVR Microcontroller with 2/4/8K Bytes In-System Programmable Flash", Revision: 2586Q-AVR-08, Agustus 2013
- [7] Dittmer, Greg "Synchronous Boost Converter Provide High Voltage Without The Heat", Linear Technology Magazine, January 2008.
- [8] "Capacitor Reports-Resistor Reports-Electronic Analysis-Dennis Zogbi-Paumanok Publications", Paumanokgroup.com, 2013-11-08, Retrieved 2014-03-02.
- [9] Vishay General Semiconductor, "1N4001 thru 1N4007", Document Number: 88503, Revision: 23-Feb-11.
- [10] Fairchild Semiconductor, "LM78XX/LM78XXA 3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator", Fairchild Semiconductor Corporation, 2006.
- [11] On Semiconductor, "MUR405, MUR410, MUR415, MUR420, MUR440, MUR460",
- [12] Nell Semiconductor, "IRF460 Series",
- [13] International Rectifier, IRFZ44N,
- [14] TOSHIBA Photocoupler GaAlAs Ired & Photo-IC, TLP250, 2004.