

# KONVERTER ARUS SEARAH KE ARUS SEARAH TIPE PENAİK TEGANGAN DENGAN DAN TANPA MOSFET SINKRONISASI

Mohamad Isnaeni Romadhon<sup>\*)</sup>, Trias Andromeda, and Mochammad Facta

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

<sup>\*)</sup>E-mail: mohamadisnaeni116@gmail.com

## Abstrak

Efisiensi merupakan salah satu ciri khas pada sistem elektronika modern. Konverter arus searah ke arus searah (konverter DC) sebagai sumber daya sistem elektronika dapat ditingkatkan efisiensinya dengan cara mengganti dioda pada konverter DC dengan MOSFET. MOSFET dapat mengurangi rugi konduksi pada konverter DC sinkron karena rugi daya konduksi MOSFET yang lebih rendah dari rugi daya konduksi diode. Pada penelitian ini menggunakan konverter DC tipe penaik tegangan dan rangkaian pembangkit pulsa PWM (pemicuan) menggunakan IC TL 494. Perancangan alat pada penelitian ini akan mengaplikasikan metode MOSFET sinkronisasi dengan mengganti diode pada rangkaian konverter DC tipe penaik tegangan biasa dengan MOSFET yang memiliki  $R_{ds(on)}$  rendah. Kemudian akan dibandingkan efisiensi antara konverter DC tipe penaik tegangan dengan MOSFET sinkronisasi dan konverter DC tipe penaik tegangan tanpa MOSFET sinkronisasi. Pada konverter DC tipe penaik tegangan dengan MOSFET sinkronisasi semakin tinggi duty cycle maka akan semakin tinggi nilai efisiensinya. Pada konverter DC tipe penaik tegangan tanpa MOSFET sinkronisasi nilai efisiensi cenderung stabil pada duty cycle berapapun. Pada konverter DC dengan MOSFET sinkronisasi efisiensi akan terus meningkat dan saat duty cycle diatas 40% melebihi nilai efisiensi konverter DC tanpa MOSFET sinkronisasi.

*Kata kunci: Konverter DC, MOSFET sinkronisasi, efisiensi*

## Abstract

Modern electronic systems require resources with high efficiency. The efficiency of direct current (DC to DC) converters as power source of electronic equipment can be increased by replacing diode in the DC to DC converter with MOSFET. The use of MOSFET is expected to reduce power losses at DC to DC converter as it replace the diode at conventional topology of DC to DC converter. A step up DC to DC converter or Boost DC chopper and TL494 as PWM generator circuit were applied in this work.. MOSFET was used in synchronization mode to replace diode at conventional topology of boost DC chopper because MOSFET has low internal resistance ( $R_{ds(on)}$ ) during conduction mode. The proposed circuit and conventional topology were made and their performance were observed. The efficiency of both circuit were compared and analyzed. The result of the experiments showed that the efficiency of DC to DC converter within MOSFET synchronization mode proportional with duty cycle. At conventional topology the efficiency still consistent with regardless duty cycle. At duty cycle over 40%, DC to DC converter within MOSFET synchronization mode more efficient than conventional topology.

*Keywords: DC Chopper, MOSFET synchronization, efficiency*

## 1. Pendahuluan

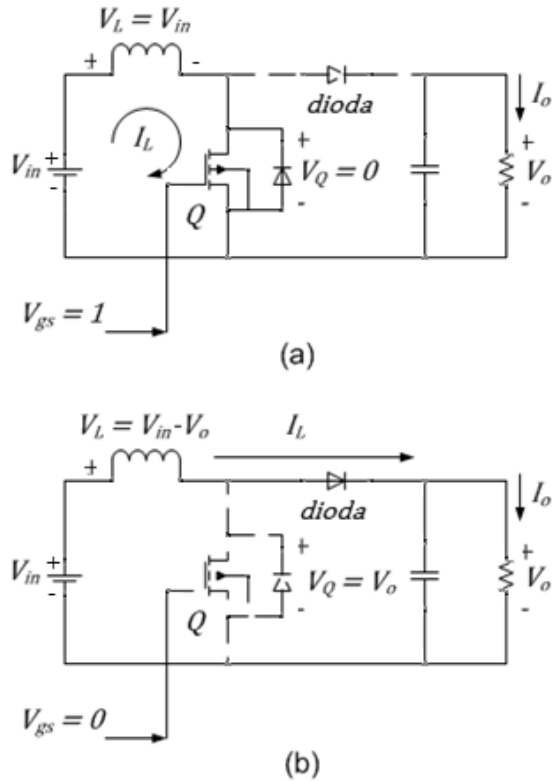
Efisiensi merupakan salah satu ciri khas pada sistem elektronika modern [3]. Konverter DC sebagai sumber daya peralatan elektronika dapat ditingkatkan efisiensinya dengan cara mengganti dioda pada konverter DC dengan MOSFET [2]. Konverter DC yang telah menggunakan MOSFET sebagai pengganti dioda disebut sebagai konverter DC sinkron. Kedua MOSFET pada konverter

DC sinkron harus memiliki frekuensi yang sama serta tidak aktif secara bersamaan sehingga MOSFET pengganti dioda disebut MOSFET sinkronisasi. MOSFET dapat mengurangi rugi konduksi pada konverter DC sinkron karena rugi daya konduksi MOSFET yang lebih rendah dari rugi daya konduksi dioda [19][16]. Penelitian ini akan menghitung dan membandingkan nilai rugi konduksi yang terjadi pada konverter DC dengan MOSFET sinkronisasi dan konverter DC tanpa MOSFET sinkronisasi serta membandingkan dan menganalisa

efisiensi antara konverter DC dengan MOSFET sinkronisasi dan konverter DC tanpa MOSFET sinkronisasi dengan nilai beban dan tegangan masukan yang sama[5].

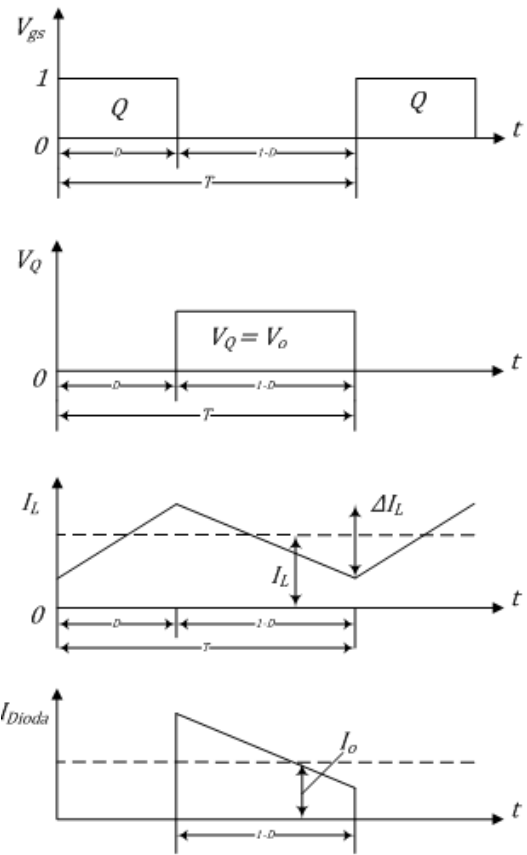
## 2. Metode

### 2.1. Konverter DC Penaik Tegangan Tanpa MOSFET sinkronisasi



**Gambar 1. Prinsip Kerja Konverter DC tipe penaik tegangan tanpa MOSFET sinkronisasi**  
 (a) Rangkaian ekuivalen saat Q aktif dan dioda tidak aktif  
 (b) Rangkaian ekuivalen saat Q tidak aktif dan dioda aktif

Ketika MOSFET ( $Q$ ) aktif konverter DC bekerja dalam durasi  $D$ , tegangan sumber hanya akan mensuplay induktor ( $L$ ) sehingga tegangan induktor ( $V_L$ ) sama tegangan masukan ( $V_{in}$ ), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1a, dan arus induktor ( $I_L$ ) naik secara linear sedikit demi sedikit sampai meningkatkan energi pada  $L$  (Gambar 2). Nilai  $I_L$  yang berubah linear meningkat dalam waktu  $D$  disebut sebagai  $\Delta I_L$ .



**Gambar 2. Gelombang arus induktor dan arus keluaran ideal konverter DC tipe penaik tegangan tanpa MOSFET sinkronisasi**

Ketika  $Q$  tidak aktif konverter DC bekerja dalam durasi ( $1-D$ ),  $I_L$  mengalir melalui dioda seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1b, energi yang tersimpan pada  $L$  saat  $Q$  aktif dialirkan ke kapasitor dan beban melalui dioda sehingga ( $I_L$ ) turun secara linear sedikit demi sedikit sampai menurunkan energi pada  $L$ . Nilai  $I_L$  yang berubah linear menurun dalam waktu ( $1-D$ ) disebut  $-\Delta I_L$  (Gambar 2).

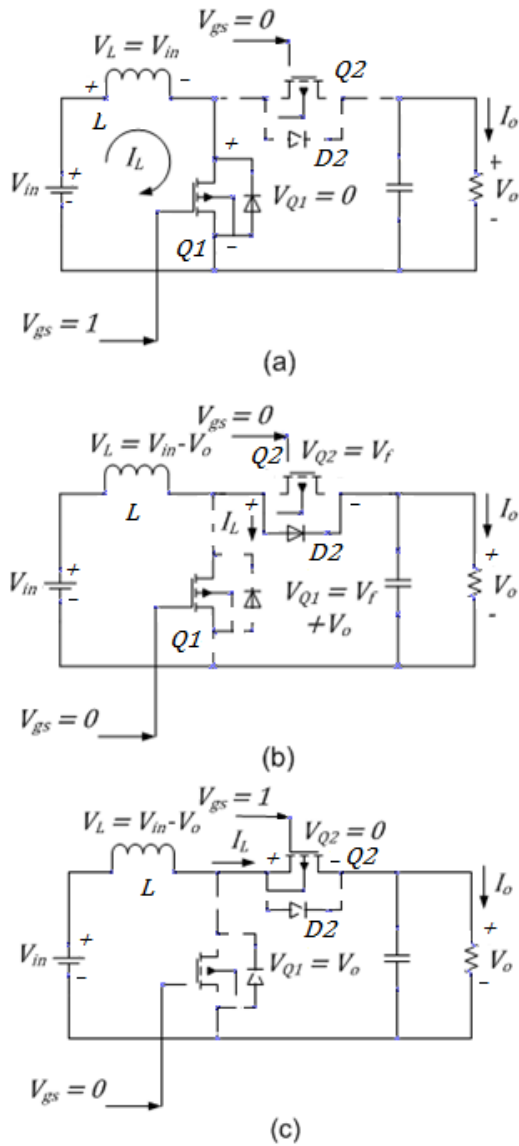
Pada konverter DC tipe penaik tegangan arus yang mengalir pada induktor akan sama dengan arus masukan, sehingga arus induktor dan arus masukan dapat dihitung dengan menggunakan bantuan persamaan daya masukan dan daya keluaran seperti Persamaan 1 berikut:

$$V_{in} \times I_{in} = V_{out} \times I_{out} \tag{1}$$

Persamaan 2.1 dapat diubah menjadi Persamaan 2 berikut:

$$I_{in} = \frac{V_{out}}{V_{in}} \times I_{out} = \frac{I_{out}}{(1-D)} \tag{2}$$

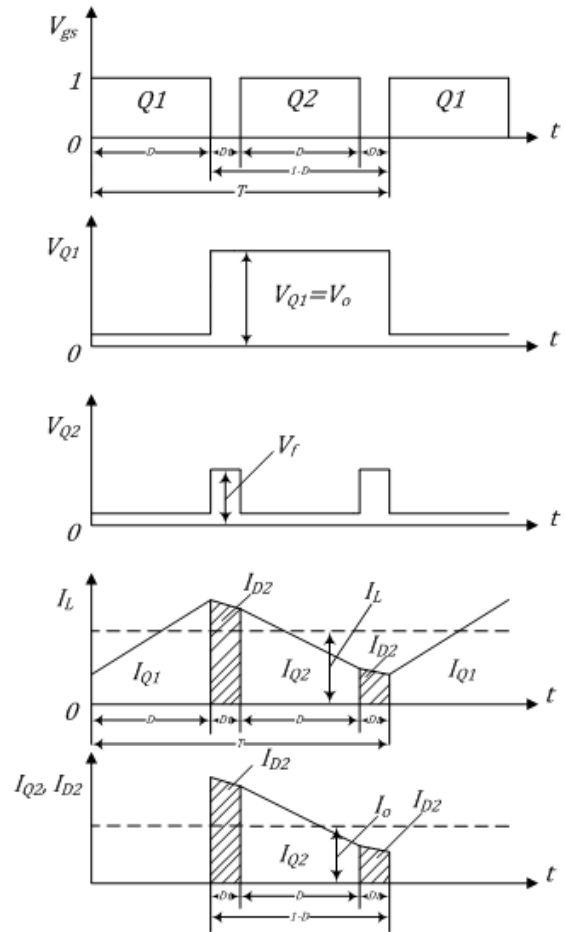
2.2. Konverter DC Penaik Tegangan dengan MOSFET Sinkronisasi



Gambar 3. Prinsip Kerja Konverter DC tipe penaik tegangan dengan MOSFET sinkronisasi  
 (a) Saat Q1 aktif dan Q2 tidak aktif  
 (b) Saat Q1 tidak aktif dan Q2 tidak aktif  
 (c) Saat Q1 tidak aktif dan Q2 aktif

Kemudian konverter DC bekerja dalam durasi *deadtime* ( $D_t$ ), pada kondisi ini  $Q1$  tidak aktif.  $I_L$  mengalir melalui *body diode* MOSFET *high-side* ( $D2$ ) karena MOSFET *high-side* ( $Q2$ ) belum aktif. Energi yang tersimpan pada  $L$  dialirkan ke kapasitor dan beban melalui  $D2$  (Gambar 3b), sehingga  $I_L$  turun linear sedikit demi sedikit (Gambar 4). Selanjutnya konverter DC bekerja dalam durasi  $D$  lagi tetapi pada kondisi ini  $Q2$  aktif dan  $Q1$  masih tidak aktif (Gambar 3c), energi yang tersimpan pada  $L$  dialirkan ke kapasitor dan beban melalui  $Q2$ ,  $I_L$  terus turun linear

sedikit demi sedikit menurunkan energi pada  $L$  seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Gelombang arus induktor dan arus keluaran ideal pada konverter DC tipe penaik tegangan dengan MOSFET sinkronisasi

Ketika MOSFET pada sisi *low-side* ( $Q1$ ) aktif konverter DC bekerja dalam durasi  $D$ , tegangan masukan ( $V_{in}$ ) hanya akan mensupply induktor ( $L$ ), sehingga tegangan induktor ( $V_L$ ) sama dengan  $V_{in}$  (Gambar 3a). Arus induktor ( $I_L$ ) naik linear sedikit demi sedikit sampai meningkatkan energi pada  $L$  (Gambar 4).

3. Hasil dan Analisa

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[5]. Kerugian daya pada MOSFET terjadi akibat adanya tahanan dalam pada MOSFET ketika MOSFET pada daerah saturasi. Semakin tinggi arus pada konverter maka akan semakin besar daya yang hilang akibat proses konduksi. Pada dasarnya nilai  $I^2 R_{ds(on)}$  akan lebih kecil dari  $IV_{FD}$  pada beban yang sama. Hal tersebut terjadi karena nilai  $R_{ds(on)}$  MOSFET yang rendah.

Efisiensi pada suatu sistem secara umum dapat dihitung dengan Persamaan 3 berikut:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (3)$$

Dimana:

- $\eta$  = efisiensi
- $P_{out}$  = daya keluaran
- $P_{in}$  = daya masukan

Pada konverter DC,  $P_{in}$  adalah daya masukan yang tersusun atas daya keluaran ( $P_{out}$ ), rugi daya yang terdiri atas rugi daya *rectifier* ( $P_{Rec}$ ) dan rugi daya diluar *rectifier* ( $P_{loss}$ ). Seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 4 berikut[5]:

$$P_{in} = P_{out} + P_{loss} + P_{Rec} \quad (4)$$

Dimana:

- $P_{in}$  = daya masukan
- $P_{loss}$  = daya yang hilang akibat proses lain selain proses *rectifier*
- $P_{out}$  = daya keluaran
- $P_{Rec}$  = daya yang hilang akibat proses *rectifier*

$P_{loss}$  merupakan rugi daya diluar proses *rectifier* seperti rugi pada induktor dan kapasitor, sehingga persamaan 4 dapat disederhanakan dengan menganggap nilai  $P_{loss}$  dapat diabaikan. Persamaan 4 akan menjadi Persamaan 5 berikut[5]:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{Rec}} \quad (5)$$

Dimana:

- $\eta$  = efisiensi
- $P_{out}$  = daya keluaran
- $P_{Rec}$  = daya yang hilang akibat proses *rectifier*

$P_{Rec}$  adalah rugi daya akibat proses *rectifier*.  $P_{Rec}$  pada konverter DC tanpa MOSFET sinkronisasi ( $P_{RecD}$ ) merupakan akumulasi dari semua rugi-rugi yang terjadi pada  $Q$  dan dioda sehingga  $P_{RecD}$  dapat dihitung dengan Persamaan 6 berikut[5]:

$$P_{RecD} = P_{conQ} + P_{swQ} + P_{conD} + P_{gateQ} + P_{rrecQ,D} \quad (6)$$

Dimana:

- $P_{RecD}$  = rugi daya akibat proses pensaklaran
- $P_{conQ}$  = rugi daya konduksi  $Q$
- $P_{conD}$  = rugi konduksi dioda
- $P_{gateQ}$  = rugi daya *gate* pada  $Q$
- $P_{rrecQ,D}$  = rugi daya *reverse-recovery* pada  $Q$  dan dioda
- $P_{swQ}$  = rugi daya pensaklaran  $Q$

$P_{gateQ}$  dan  $P_{rrecQ,D}$  merupakan rugi-rugi yang berhubungan dengan frekuensi. Pada konverter DC yang bekerja pada frekuensi rendah yakni dibawah 300kHz,  $P_{gateQ}$  dan  $P_{rrecQ,D}$  dapat diabaikan karena  $P_{gateQ}$  dan  $P_{rrecQ,D}$  sangat kecil jika dibandingkan dengan daya keluaran sehingga dianggap  $P_{gateQ}$  dan  $P_{rrecQ,D}$  tidak ada[5].

Efisiensi pada konverter DC tanpa MOSFET sinkronisasi pada Persamaan 5 akan menjadi Persamaan 7 berikut[5]:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{conQ} + P_{swQ} + P_{conD}} \quad (7)$$

Dimana:

- $\eta$  = efisiensi
- $P_{out}$  = daya keluaran
- $P_{conQ}$  = rugi daya konduksi  $Q$
- $P_{conD}$  = rugi konduksi dioda
- $P_{swQ}$  = rugi pensaklaran pada  $Q$

Rugi daya konduksi  $Q$  ( $P_{conQ}$ ) adalah rugi konduksi saat  $Q$  aktif.  $Q$  aktif saat konverter DC bekerja pada durasi  $D$ , sehingga  $P_{conQ}$  dihitung dengan kuadrat  $I_L$  yang dikalikan dengan parameter  $D$  dan  $R_{ds(on)Q}$ .  $P_{conQ}$  diberikan oleh Persamaan 8[2]:

$$P_{conQ} = R_{ds(on)Q} \times \frac{I_o}{(1-D)} \times D \quad (8)$$

Dimana:

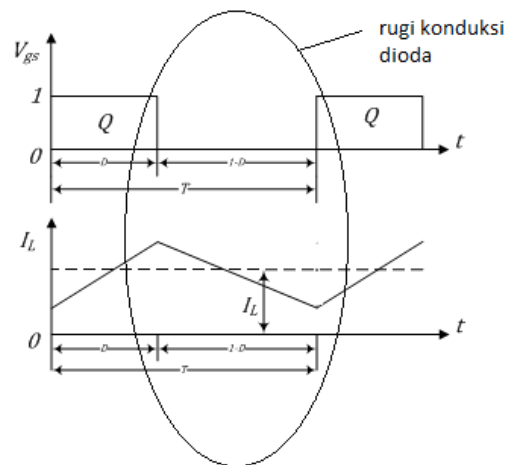
- $P_{conQ}$  = rugi daya konduksi  $Q$
- $R_{ds(on)Q}$  = tahanan dalam  $Q$
- $I_o$  = arus keluaran
- $D$  = *duty cycle*

Rugi konduksi dioda ( $P_{conD}$ ) adalah rugi konduksi yang terjadi pada dioda saat  $Q$  tidak aktif.  $Q$  tidak aktif saat konverter DC bekerja pada durasi  $(1-D)$  seperti terlihat pada Gambar 5, sehingga  $P_{conD}$  dihitung dengan  $I_L$  yang dikalikan dengan parameter  $(1-D)$  dan tegangan maju dioda ( $V_{fd}$ ).  $P_{conD}$  diberikan oleh Persamaan 9[2]:

$$P_{conD} = V_{fd} \times I_o \quad (9)$$

Dimana:

- $P_{conD}$  = rugi daya konduksi dioda
- $V_{fd}$  = tegangan maju dioda
- $I_o$  = arus output



Gambar 5. Daerah rugi konduksi dioda ideal pada konverter DC tipe penaik tegangan tanpa MOSFET sinkronisasi

Perhitungan  $P_{conQ}$  maupun  $P_{conD}$  menggunakan arus induktor ( $I_L$ ) karena pada konverter DC tipe penaik tegangan arus keluaran ( $I_o$ ) hanya ada saat  $Q$  tidak aktif seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2.

$P_{Rec}$  pada konverter DC dengan MOSFET sinkronisasi ( $P_{RecSM}$ ) merupakan akumulasi dari semua rugi-rugi yang terjadi pada Q1 dan Q2, sehingga  $P_{RecSM}$  dapat dihitung dengan Persamaan 10 berikut[5]:

$$P_{RecSM} = P_{conQ1} + P_{swQ1} + P_{conQ2} + P_{conD2} + P_{gateQ1,Q2} + P_{rrecQ1,D2} \quad (10)$$

Dimana:

$P_{RecSM}$  = rugi daya akibat proses pensaklaran pada konverter DC dengan MOSFET sinkronisasi

$P_{conQ1}$  = rugi daya konduksi Q1

$P_{swQ1}$  = rugi daya pensaklaran Q1

$P_{conQ2}$  = rugi daya konduksi Q2

$P_{conD2}$  = rugi daya konduksi D2

$P_{gateQ1,Q2}$  = rugi daya gate pada Q1 dan Q2

$P_{rrecQ1,D2}$  = rugi daya reverse-recovery pada Q1 dan D2

$P_{gateQ1,Q2}$  dan  $P_{rrecQ1,D2}$  merupakan rugi-rugi yang berhubungan dengan frekuensi. Pada konverter DC yang bekerja pada frekuensi rendah yakni dibawah 300kHz,  $P_{gateQ1,Q2}$  dan  $P_{rrecQ1,D2}$  dapat diabaikan karena  $P_{gateQ1,Q2}$  dan  $P_{rrecQ1,D2}$  sangat kecil jika dibandingkan dengan daya keluaran sehingga dianggap  $P_{gateQ1,Q2}$  dan  $P_{rrecQ1,D2}$  tidak ada[5].

Efisiensi pada konverter DC dengan MOSFET sinkronisasi dapat dihitung dengan Persamaan 11 berikut[5]:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{conQ1} + P_{swQ1} + P_{conQ2} + P_{conD2}} \quad (11)$$

Dimana:

$\eta$  = efisiensi

$P_{out}$  = daya keluaran

$P_{conQ1}$  = rugi daya konduksi Q1

$P_{conQ2}$  = rugi daya konduksi Q2

$P_{conD2}$  = rugi daya konduksi D2

$P_{swQ1}$  = rugi daya pensaklaran Q1

Rugi daya konduksi Q1 ( $P_{conQ1}$ ) merupakan rugi konduksi pada Q1 saat Q1 aktif. Q1 aktif saat konverter DC bekerja pada durasi  $D$ , sehingga  $P_{conQ1}$  dihitung dengan kuadrat  $I_L$  (Persamaan 2) yang dikalikan dengan parameter  $D$  dan  $R_{ds(on)Q1}$ . Rugi konduksi saat Q1 aktif diberikan oleh Persamaan 12[2].

$$P_{conQ1} = R_{ds(on)Q1} \times \frac{I_o}{(1-D)} \times D \quad (12)$$

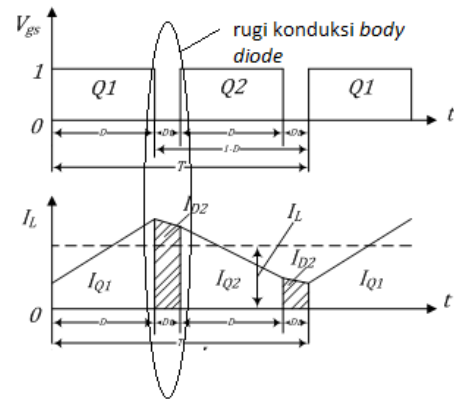
Dimana:

$P_{conQ1}$  = rugi daya konduksi Q1

$R_{ds(on)Q1}$  = tahanan dalam Q1

$I_o$  = arus keluaran

$D$  = duty cycle



Gambar 6. Daerah rugi konduksi body diode ideal pada konverter DC tipe penaik tegangan dengan MOSFET sinkronisasi

Rugi daya konduksi D2 ( $P_{conD2}$ ) merupakan rugi konduksi pada D2 yang terjadi ketika Q1 tidak aktif dan Q2 belum aktif. Pada kondisi Q1 tidak aktif dan Q2 belum aktif konverter DC bekerja pada durasi  $D_t$  (Gambar 6), sehingga  $P_{conD2}$  dihitung dengan  $I_L$  (Persamaan 2) yang dikalikan dengan parameter  $D_t$  dan tegangan maju D2 ( $V_{fD2}$ ).  $P_{conD2}$  diberikan oleh Persamaan 13 berikut[2]:

$$P_{conD2} = 2 \times D_t \times V_{fD2} \times \frac{I_o}{(1-D)} \quad (13)$$

Dimana:

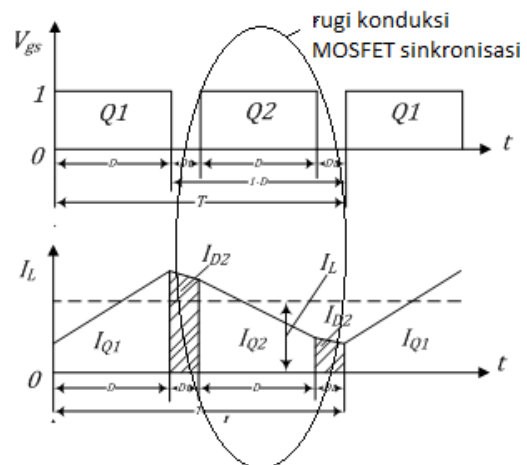
$P_{conD2}$  = rugi daya konduksi D2

$I_o$  = arus keluaran

$D_t$  = deadtime saat Q2 belum aktif

$V_{fD2}$  = tegangan maju D2

$D$  = duty cycle



Gambar 7. Daerah rugi konduksi ideal pada konverter DC tipe penaik tegangan dengan MOSFET sinkronisasi saat MOSFET sinkronisasi aktif

Rugi daya konduksi Q2 ( $P_{conQ2}$ ) merupakan rugi konduksi pada Q2 yang terjadi ketika Q1 tidak aktif dan Q2 aktif. Pada kondisi Q1 tidak aktif dan Q2 aktif konverter DC

bekerja pada durasi  $D$  (Gambar 7), sehingga  $P_{conQ2}$  dihitung dengan kuadrat  $I_L$  (Persamaan 2) yang dikalikan dengan parameter  $D$  dan  $R_{ds(on)Q2} \cdot P_{conQ2}$  diberikan oleh Persamaan 14[2].

$$P_{conQ2} = R_{ds(on)Q2} \times \frac{I_o}{(1-D)} \times D \quad (14)$$

Dimana:

$P_{conQ2}$  = rugi daya konduksi Q2

$R_{ds(on)Q2}$  = tahanan dalam Q2

$I_o$  = arus keluaran

$D$  = duty cycle

Hasil perbandingan nilai rugi daya akibat proses *rectifier* pada konverter DC dengan MOSFET sinkronisasi dan konverter DC tanpa MOSFET sinkronisasi dapat dilihat pada Tabel 1:

**Tabel 1. Perhitungan perbandingan rugi konduksi konverter DC dengan dan tanpa MOSFET sinkronisasi.**

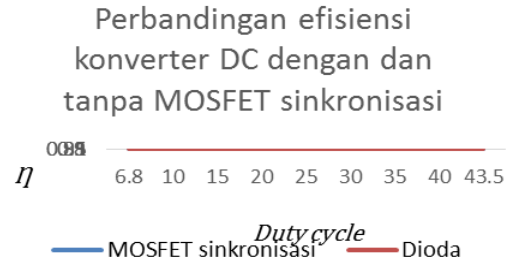
Duty cycle (%)	Rugi daya konduksi konverter DC dengan MOSFET sinkronisasi (W)	Rugi daya konduksi konverter DC tanpa MOSFET sinkronisasi (W)
6,8	1,411719	0,531607
10	1,44159	0,50175
15	1,479826	0,575158
20	1,312618	0,595362
25	1,271958	0,63057
30	1,134797	0,658106
35	0,957773	0,704584
40	0,856632	0,804452
43,5	0,729494	0,943483

Tabel 1 memperlihatkan perbandingan rugi daya konduksi antara konverter DC dengan MOSFET sinkronisasi dan konverter DC tanpa MOSFET sinkronisasi. Rugi daya konduksi konverter DC dengan MOSFET sinkronisasi akan semakin besar ketika *duty cycle* diperkecil. Rugi daya konduksi konverter DC tanpa MOSFET sinkronisasi akan semakin besar ketika *duty cycle* diperbesar.

Karakteristik keluaran IC TL494 yang bekerja pada mode *pushpull* adalah ketika *duty cycle* diperbesar *deadtime* akan semakin kecil dan sebaliknya ketika *duty cycle* diperkecil *deadtime* akan semakin besar. Saat *duty cycle* diperkecil dan *deadtime* semakin besar, arus tiap satuan waktu yang melewati *body diode* MOSFET sinkronisasi pada konverter DC dengan MOSFET sinkronisasi akan semakin besar. *Body diode* MOSFET sinkronisasi memiliki tegangan maju ( $V_{FD}$ ) sebesar 1,6V sedangkan dioda MUR460 memiliki tegangan maju ( $V_{FD}$ ) sebesar 1,05V, sehingga pada Tabel 4.4 terlihat rugi daya konduksi konverter DC dengan MOSFET sinkronisasi akan semakin besar ketika *duty cycle* diperkecil.

Berdasarkan data pada Tabel 1 dapat diperoleh perbandingan efisiensi antara konverter DC tipe penaik tegangan dengan MOSFET sinkronisasi dan konverter DC

tipe penaik tegangan tanpa MOSFET sinkronisasi dengan perhitungan menggunakan Persamaan 5. Perbandingan nilai efisiensi disajikan pada Gambar 6 seperti berikut:



**Gambar 8. Grafik Perbandingan Efisiensi antara konverter DC tipe penaik tegangan dengan dan tanpa MOSFET sinkronisasi**

Pada Gambar 8 terlihat bahwa semakin tinggi *duty cycle* maka akan semakin tinggi nilai efisiensi dari konverter DC tipe penaik tegangan dengan MOSFET sinkronisasi. Pada konverter DC tipe penaik tegangan tanpa MOSFET sinkronisasi nilai efisiensi cenderung stabil pada *duty cycle* berapapun. Pada konverter DC dengan MOSFET sinkronisasi efisiensi akan terus meningkat dan saat *duty cycle* diatas 40% melebihi nilai efisiensi konverter DC tanpa MOSFET sinkronisasi. Hal tersebut disebabkan akibat dari nilai rugi konduksi pada MOSFET sinkronisasi akan semakin kecil ketika *duty cycle* diperbesar. Jika *duty cycle* diperbesar maka *deadtime* akan semakin kecil sehingga rugi konduksi pada *body diode* MOSFET sinkronisasi akan semakin kecil. Pemilihan komponen pada rangkaian konverter DC dengan MOSFET sinkronisasi sangat penting untuk efisiensi yang lebih tinggi.

#### 4. Kesimpulan

Pada konverter DC tipe penaik tegangan dengan MOSFET sinkronisasi yang menggunakan TL494 sebagai PWM semakin tinggi *duty cycle* maka akan semakin tinggi nilai efisiensinya. Pada konverter DC tipe penaik tegangan tanpa MOSFET sinkronisasi nilai efisiensi cenderung stabil pada *duty cycle* berapapun. Pada konverter DC dengan MOSFET sinkronisasi efisiensi akan terus meningkat dan saat *duty cycle* diatas 40% melebihi nilai efisiensi konverter DC tanpa MOSFET sinkronisasi. Hal tersebut disebabkan akibat dari nilai rugi konduksi pada MOSFET sinkronisasi akan semakin kecil ketika *duty cycle* diperbesar. Jika *duty cycle* diperbesar maka *deadtime* akan semakin kecil sehingga rugi konduksi pada *body diode* MOSFET sinkronisasi akan semakin kecil. Pemilihan komponen yang tepat pada rangkaian konverter DC dengan MOSFET sinkronisasi sangat penting untuk efisiensi yang lebih tinggi

## 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]. Zhang et al., "Design Considerations and Performance Evaluations of Synchronous Rectification in Flyback Converters", IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 13, No. 3 (May 1998).
- [6]. Zuhail, Dkk. 2004, *Prinsip Dasar Elektronika*, Jakarta, Gramedia.
- [7]. Ilmanda, Hermawan, "Pembuatan Catu Daya Arus DC Menggunakan Topologi Inverter Jembatan Penuh dan Penyearah", Skripsi S-1, Universitas Diponegoro, Semarang, 2013.
- [8]. Texas Instruments "TL494 Pulse Width Modulation Control Circuits", Texas, SLVS074G, January 1983 Revised January 2015.
- [9]. Dittmer, Greg "Synchronous Boost Converter Provide High Voltage Without The Heat", Linear Technology Magazine, January 2008.
- [10]. Juarsah, Marco A., "Perancangan DC Chopper Tipe Buck-Boost Converter Penguatan Umpan Balik IC TL494", TRANSIENT, VOL.4, NO. 3( SEPTEMBER 2015)
- [11]. Sadewa, Prama G., "Kinerja DC-DC Converter Tipe Buck-Boost Dengan Variasi Beban Serta THD Yang Ditimbulkan Di Rangkaian Penyearah Utama", Skripsi S-1, Universitas Diponegoro, Semarang, 2015.
- [12]. Marsal, Renaldo, "Perancangan DC-DC Converter Buck Quasi Resonant Dengan Mode Pensaklaran Zero Current Switching (ZCS) Dan Zero Voltage Switching (ZVS)", Skripsi S-1, Universitas Diponegoro, Semarang, 2014.
- [13]. Chapman, Stephen J., "Electric machinery fundamentals – 4<sup>th</sup> Edition", McGraw-Hill Companies Inc., New York, 2005
- [14]. Vishay General Semiconductor, "1N4001 thru 1N4007", Document Number: 88503, Revision: 23-Feb-11.
- [15]. Fairchild Semiconductor, "LM78XX/LM78XXA 3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator", Fairchild Semiconductor Corporation, 2006.
- [16]. - , On Semiconductor, "MUR405, MUR410, MUR415, MUR420, MUR440, MUR460", <http://onsemi.com>
- [17]. - , Nell Semiconductor, "IRF460 Series", [www.nellsemi.com](http://www.nellsemi.com)
- [18]. - , TOSHIBA Photocoupler GaAlAs Ired & Photo-IC, TLP250, 2004.
- [19]. - , International Rectifier, IRF4905, <http://www.irf.com/package/>
- [20]. McLyman, Colonel Wm. T., "Transformer and Inductor design Handbook – 3th Edition, Revised and Expanded", Kg Magnetics Inc, California, 2004.