

SIMULASI PENINGKATAN LEBAR TEGANGAN INPUT *BUCK-BOOST CONVERTER* DENGAN PERANCANGAN *COUPLED INDUCTOR*

Tivani M. Christien DS¹, Dian Yayan Sukma²

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro ²Dosen Program Studi Teknik Elektro
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru, Riau 28293
Program Studi Teknik Elektro S1, Fakultas Teknik Universitas Riau
Email: tivani.m@student.unri.ac.id

ABSTRACT

This paper describes the design and simulation of a dc-dc buck-boost converter using the buck-boost coupled inductor topology to equalize the dc input voltage source to the load voltage with a wide voltage conversion range. The buck-boost converter coupled inductor system with a closed circuit that is controlled by PI control, voltage mode control, and current mode control on the PWM (Pulse Width Modulation). This circuit is simulated using the PSIM software, and the outputs are analyzed then compared to a buck-boost converter that does not use a coupled inductor. It is indicated that the buck-boost converter without coupled inductor has an input voltage width in the range of 4-21 Volt result in the output voltage of 14 Volt, while a converter using a coupled inductor has an input voltage width in the range of 3-64 Volt, and it generates the steady output voltage of 14 Volt.

Key Words: buck and boost converter, coupled inductor, PWM, voltage-mode control, current-mode control, PI control.

1. PENDAHULUAN

Seiring perkembangan zaman yang semakin modern, penggunaan pembangkit listrik menggunakan sistem fotovoltaik sebagai salah satu energi terbarukan semakin berkembang dalam satu dekade terakhir. Sumber energi surya adalah energi terbarukan yang cukup melimpah persediaanya di Indonesia karena termasuk bagian negara tropis dimana intensitas matahari cukup tinggi sepanjang tahunnya.

Akibatnya, para peneliti-peneliti yang memanfaatkan sumber energi terbarukan salah satunya sumber energi surya semakin memperhatikan optimisasi konversi energi dari sumber energi surya tersebut yakni dengan memperhatikan perkembangan teknologi konverter. Hal ini disebabkan tegangan input yang berubah-ubah setiap waktu akibat intensitas matahari yang tidak stabil sehingga membutuhkan kinerja konverter yang baik untuk membuat tegangan tersebut stabil.

Penggunaan *coupled inductor* pada konverter dapat memperoleh rentang konversi tegangan yang lebih lebar dari sebelumnya, sehingga dapat meningkatkan lama pengisian baterai dan tegangan menjadi lebih stabil dikarenakan dapat mengangkat tegangan tinggi ke tegangan yang lebih rendah atau sebaliknya tegangan rendah ke tegangan yang lebih tinggi dengan lebih efisien.

Paper ini memberikan analisa dan desain dari konverter *coupled inductor* dalam bentuk dua mode yaitu *buck* dan *boost*. Dari kedua mode tersebut diberikan tahap *charging* dan *discharging*. Simulasi dilakukan pada konverter dc dc ini dengan memvariasikan tegangan input dan memperhatikan tegangan keluaran yang mantap pada 14 Volt.

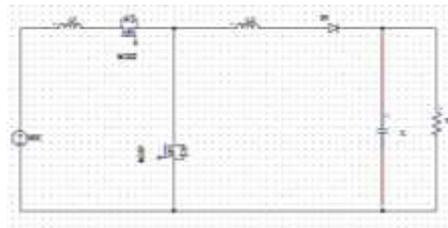
2. LANDASAN TEORI

2.1 Konverter DC DC

Konverter DC-DC adalah rangkaian elektronika daya digunakan untuk mengubah tegangan DC ke tegangan DC dengan level yang berbeda. Pada artikel ini, rangkaian DC-DC *converter* yang akan dibahas merupakan konverter DC-DC berbasis *buck boost* menggunakan *coupled inductor* pada rangkaiannya. Hidayat, 2010).

2.2 Topologi Buck Boost Converter Coupled Inductor

Rangkaian konverter berbasis *buck boost* dc dc menggunakan *coupled inductor* dengan tegangan keluaran konstan yang diinginkan sebesar 14 Volt. Jika pada rangkaian konverter *buck boost* pada umumnya didesain secara konvensional yaitu terdiri dari masing-masing satu induktor, mosfet, dioda, kapasitor dan resistor. Rangkaian ini didesain dengan cara yang sama, dapat diamati pada Gambar 1, letak perbedaan rangkaian ini adalah memiliki sepasang induktor pada rangkaiannya dengan ratio lilitan yang sama besarnya dan juga memiliki dua mosfet (Mohan, 1995).



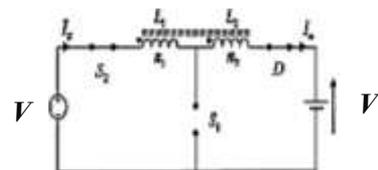
Gambar 1 Topologi Rangkaian Konverter Buck Boost Converter Coupled Inductor

Tahapan Operasi Dasar Rangkaian Konverter Buck Boost Coupled Inductor

Konverter *buck boost* ini memiliki 4 tahapan mode operasi (Liya, 2014):

1. Tahap mode *charging buck* ($t_0 \leq t < t_1$)

Pada tahap operasi ini, dapat dilihat pada Gambar 2 dibawah saklar S2 hidup sementara S1 off dan bekerja saling melengkapi. Saat ini sumber mengirim energi kepada L1 dan L2 sehingga kedua induktor mengecap dan pada saat yang sama dioda D konduksi. Pada tahap ini energi juga ditransfer langsung dari sumber DC sampai ke beban pada kondisi seri.

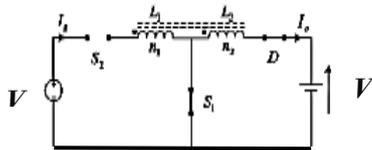


Gambar 2 Tahap Mode Buck Charging

2. Tahap mode *discharging buck* ($t_1 \leq t < t_2$)

Pada tahap operasi yang kedua, saklar S2 OFF sementara saklar S1 ON. Energi yang disimpan pada L1 dan L2 kemudian ditransfer ke

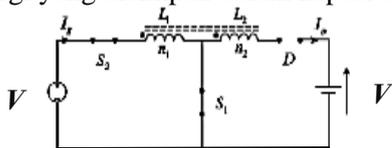
output dari induktor L_2 . Seperti pada Gambar 3, arus mengalir melewati dioda D dan kemudian menyuplai beban sambil mengecap kapasitor keluaran.



Gambar 3 Tahap Mode Buck Discharging

3. Tahap mode *charging boost* ($t_0 \leq t < t_1$)

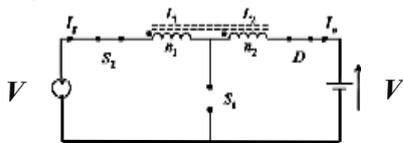
Pada tahanan operasi ini, kedua saklar S1 dan S2 dalam keadaan ON. Gambar 4 menunjukkan bahwa sumber energi masukan mengirim energi mengecap induktor L_1 dan juga mengirim energi melalui tegangan negatif terimbas ke lilitan induktor L_2 , sementara disisi lain beban disuplai oleh energi yang disimpan dalam kapasitor C.



Gambar 4 Tahap Mode Boost Charging

4. Tahap mode *discharging boost* ($t_1 \leq t < t_2$)

Pada tahap operasi yang terakhir, pada Gambar 5 ditunjukkan saklar S2 masih keadaan ON sementara saklar S1 OFF. Lilitan kedua induktor L_1 dan L_2 konduksi melewati dioda D dan melepaskan energi yang disimpan kepada keluaran. Pada saat ini energi juga dikirim pada kapasitor C.



Gambar 5 Tahap Mode Boost Discharging

A. Mode Boost

Tegangan masukan dan tegangan keluaran berkaitan dengan nilai *duty cycle*. Dengan menerapkan prinsip *inductor volt-second balance* terhadap kopel induktor, maka rasio konversi dari konverter pada mode *boost* diberikan:

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{n+d}{n(1-d)} \quad (1)$$

Hubungan tegangan dan arus,

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{I_{in}}{I_o} \quad (2)$$

Pada Gambar 4 yaitu mode operasi 3, terlihat kedua saklar konduksi sehingga pada saat itu energi dilepas oleh V_{in} kepada induktor terkopel primer dan imbas negatif ke induktor terkopel sekunder. Nilai n_1 dan n_2 memiliki rasio=1.

B. Mode Buck

Rasio konversi dari konverter pada mode *buck* dengan menggunakan juga prinsip *inductor volt-second balance* terhadap kopel induktor maka diberikan (Liya, 2014):

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{dn}{n+1-d} \quad (3)$$

Hubungan tegangan dan arus,

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{I_{in}}{I_o} \quad (4)$$

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 pada mode operasi 1, energi dari sumber ditransfer ke beban melalui L_1 dan L_2 yang mengecap. Induktor terkopel pada rangkaian dihubungkan seri, sehingga nilai total induktansinya diberikan persamaan dibawah ini:

$$L = L_1 + L_2 + 2M \quad (5)$$

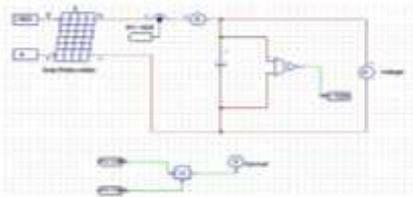
Dimana nilai M adalah mutual induktansi, yang dihitung (Liya, 2014):

$$M = K \sqrt{L_1 L_2} \quad (6)$$

3. METODE PENELITIAN

3.1 Desain Solar Cell

Rangkaian solar *photovoltaic* menggunakan *software* PSIM dengan masukan nilai *irradiance* dan *temperature* dapat dilihat pada Gambar 7 dibawah ini:

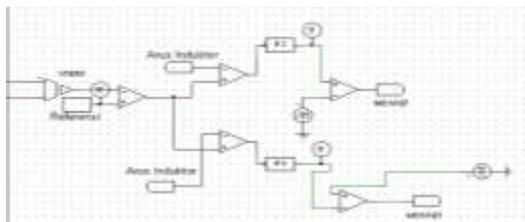


Gambar 7 Modul solar cell pada software PSIM

3.2 Metode Pengontrolan

3.2.1 Kontrol PWM

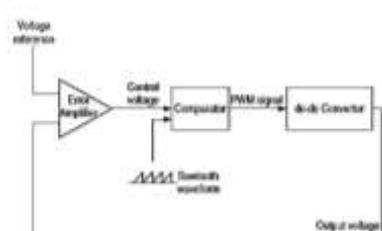
Teknik pemberian pulsa pada konverter *buckboost* ini menggunakan metode modulasi lebar pulsa yang digunakan sebagai *switching power supply* dalam mengontrol *on* dan *off* saklar pada rangkaian konverter yang mana dibangkitkan dengan membandingkan level sinyal tegangan kontrol $V_{kontrol}$ dengan bentuk gelombang *repetitive*. Dapat dilihat pada Gambar 8 dibawah ini, sinyal tegangan kontrol diperoleh dengan membangkitkan *error* atau perbedaan antara tegangan keluaran yang sebenarnya dengan nilai tegangan referensi. Disini komparator digunakan dalam memperoleh sinyal *switching* yang diperlukan untuk switch *on/off* kedua mosfet. Sementara untuk mode kontrol arus dan mode kontrol tegangannya menggunakan amplifier (Rashid, 2011).



Gambar 8 Desain Rangkaian Kontroler PWM

Dua metode rangkaian tertutup yang digunakan untuk rangkaian kontrol PWM pada konverter dc-dc tersebut yakni:

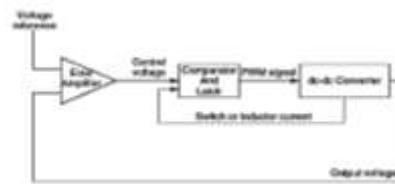
A. Voltage Mode Control



Gambar 9 Skema Voltage Mode Control Konverter DC DC

Tegangan keluaran konverter dirasakan dari tegangan referensi eksternal dalam *error amplifier*. Skema untuk VMC dapat dilihat pada Gambar 9. *Dutyratio* dari sinyal PWM tergantung pada nilai kontrol tegangan. Dimana frekuensi sinyal PWM sama dengan frekuensi dari *sawtooth waveform* (Rashid, 2011).

B. Current Mode Control



Gambar 10 Skema Current Mode Control pada Konverter DC DC

Ini merupakan tambahan dari dalam rangkaian kontrol untuk mengembalikan sinyal induktor. Sinyal arus ini, diubah ke tegangan analog, kemudian dibandingkan ke tegangan kontrol. Skema rangkaian kontrol ini diberikan pada Gambar 10 (Rashid, 2011).

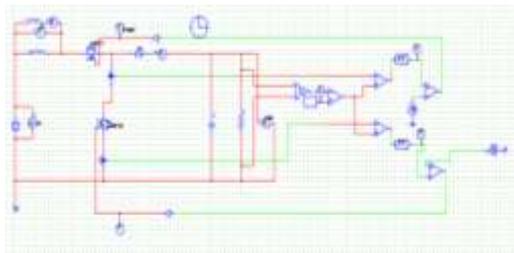
3.3 Perancangan Rangkaian Konverter DC DC Berbasis Buck-Boost Dengan Coupled Inductor

Pada Tabel 1 dibawah ini memberikan nilai-nilai dari beberapa parameter yang merupakan desain spesifikasi konverter:

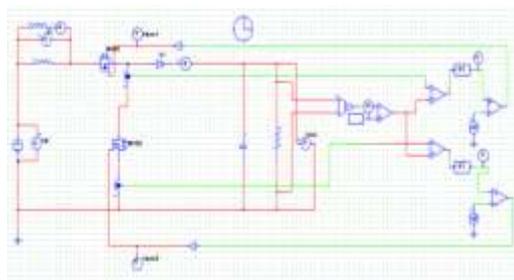
Tabel 1. Spesifikasi Desain Konverter

Parameter	Nilai
Tegangan <i>output</i>	14 V
N	1
Frekuensi Saklar	200k Hz
Ripple Tegangan <i>Output</i> (ΔV_o)	0,03
<i>Duty cycle</i>	$D_{boost} = 0,555$ $D_{buck} = 0,636$
Resistansi Beban (R_L)	100 Ω
Daya Output	1.96 W

Dengan menggunakan pengontrolan yang sama, diberikan topologi konverter dc dc *buck boost* yang tidak menggunakan *coupled inductor* seperti terlihat pada Gambar 11 dibawah ini.



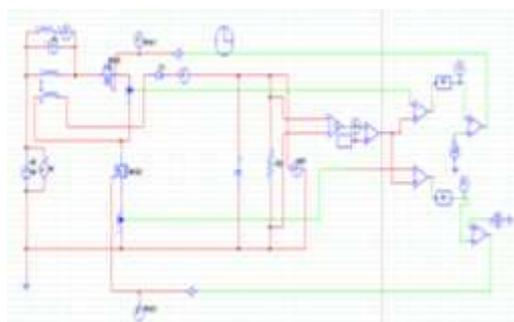
a.)



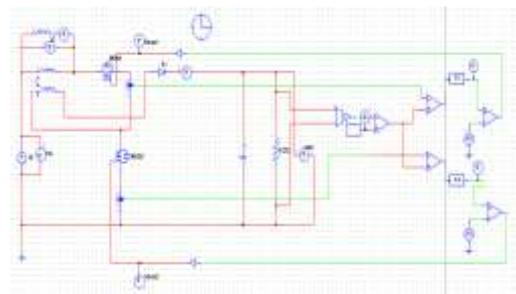
b.)

Gambar 11 Desain Rangkaian Tanpa *Coupled Inductor*; a.) *Buck Converter* b.) *Boost Converter*

Topologi konverter DC DC *coupled inductor* berbasis *buck* dan *boost* dengan kontrol PWM ditunjukkan pada Gambar 12 dibawah ini:



a.)



b.)

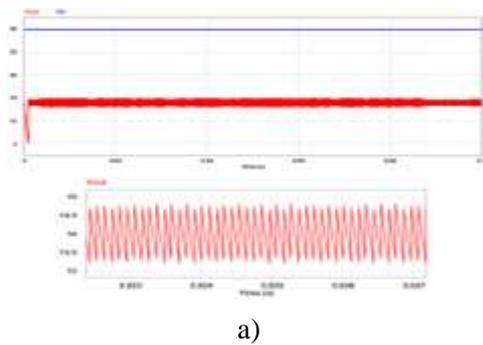
Gambar 12 Desain Rangkaian *Coupled inductor*; a.) *Buck Converter* b.) *Boost Converter*

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

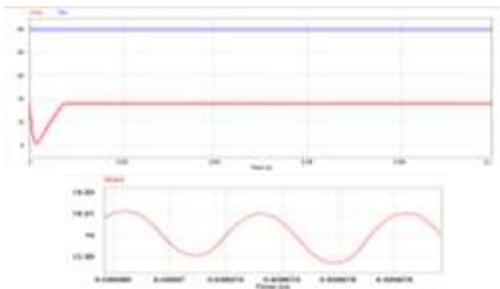
4.1 Hasil Simulasi

Hasil dari pengujian simulasi peningkatan lebar tegangan input *buck-boost converter* dengan perancangan *coupled inductor* akan ditampilkan penulis pada bagian ini. Penulis membandingkan hasil pengujian rangkaian konverter *buck boost* yang tidak menggunakan *coupled inductor* terhadap yang menggunakan *coupled inductor*. Pengujian ini diberikan untuk mengetahui perbandingan kemampuan konverter dalam mengkonversi tegangan masukan dengan tetap memberikan sistem pengontrolan yang sama pada PWM-nya. Masing-masing model konverter dc dc tanpa dan menggunakan *coupled inductor* dalam simulasi ini diberikan beban resistansi 100 Ohm pada terminal keluarannya dan nilai frekuensi sebesar 200kHz pada masing-masing frekuensi saklarnya. Tegangan masukan dc pada masing-masing konverter ini divariasikan selama diperoleh tegangan keluaran yang mantap pada nilai 14 Volt dc. Hasil simulasi menunjukkan bahwa konverter *buck boost* tanpa *coupled inductor* memiliki lebar tegangan masukan pada rentang 4-21 Volt. Sedangkan konverter dengan menggunakan *coupled inductor* memiliki lebar tegangan masukan pada rentang 3-64 Volt terhadap tegangan keluaran mantap sebesar 14 Volt.

Untuk pengujian mode *buck* dibawah ini, diberikan hasil pengujian simulasi konverter tanpa *coupled inductor* dan dengan *coupled inductor* dimana kondisi tegangan masukan ditunjukkan dengan garis berwarna biru dan kondisi tegangan keluaran ditunjukkan dengan garis berwarna merah.



a)

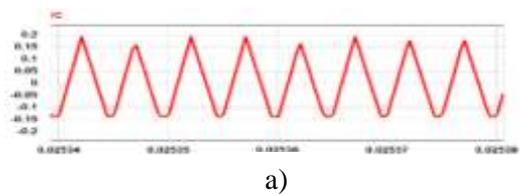


b)

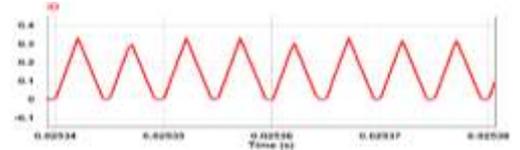
Gambar 13 Hasil Pengujian *Buck Converter*; a.) Tanpa *Coupled Inductor* b.) Menggunakan *Coupled Inductor*

Melalui hasil pengujian simulasi pada Gambar 13(a) diatas menunjukkan peningkatan osilasi tegangan keluaran dari konverter dc dc tanpa *coupled inductor*. Dapat dilihat tegangan keluaran yang dihasilkan mencapai nilai 14.75 Volt. Dimana hal ini menjadi masalah yang mengurangi kehandalan konverter tersebut. Sementara hasil pengujian simulasi pada Gambar 13 (b) yang menggunakan *coupled inductor* menghasilkan tegangan keluaran yang lebih stabil atau *ripple* lebih kecil. Dimana hasil tegangan keluaran mendekati nilai 14.02 Volt. Kedua topologi *buck converter* ini diberikan tegangan masukan sebesar 30 Volt dengan tegangan keluaran yang diinginkan sebesar 14 Volt.

Arus yang melewati kapasitor, dioda dan induktor pada konverter dc dc *coupled inductor* mode *buck* diilustrasikan pada Gambar 14 (a,b&c) dibawah ini. Sementara tegangan yang menyeberangi induktor saat *switch on* dan *off* ditunjukkan pada Gambar 14(d).



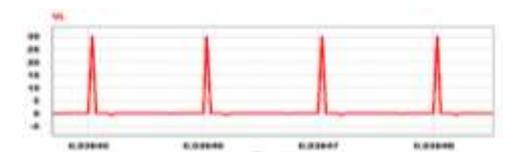
a)



b)



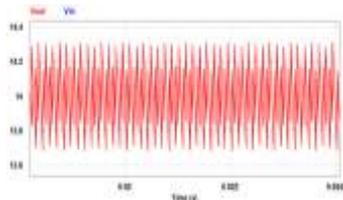
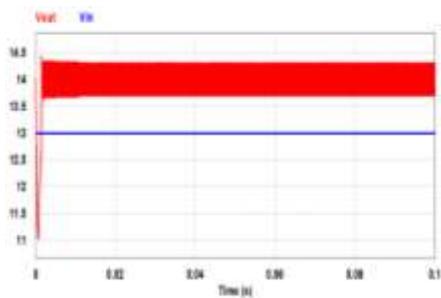
c)



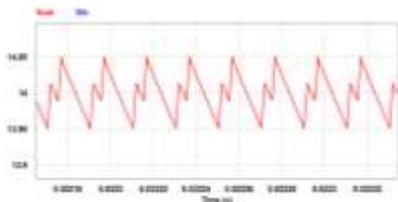
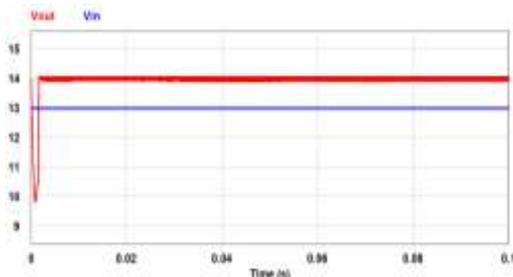
d)

Gambar 14 Hasil Bentuk Gelombang Konverter DC DC *Coupled Inductor* Pada Mode *Buck*; a.) Arus Kapasitor b.) Arus dioda c.) Arus Induktor d.)Tegangan Induktor

Sementara untuk mode pengujian *boost converter*, hal yang sama dilakukan pada masing-masing konverter. Dapat diamati pada Gambar 15, diberikan hasil pengujian tanpa *coupled inductor* dan dengan menggunakan *coupled inductor* agar dapat diberikan perbandingan analisisnya.



a)



b)

Gambar 15 Hasil Pengujian *Boost Converter* a.) Tanpa *Coupled Inductor* b.) Menggunakan *Coupled Inductor*

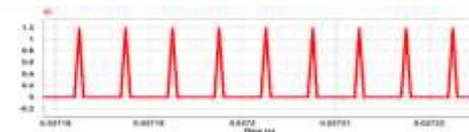
Melalui hasil pengujian simulasi konverter dc dc pada mode *boost* tanpa menggunakan *coupled inductor* didapati menghasilkan tegangan keluaran yang tidak lebih baik jika dibandingkan dengan yang menggunakan *coupled inductor*. Dapat dilihat pada Gambar 15(a) nilai tegangan keluaran yang dihasilkan mencapai 14.4 Volt. Sementara yang menggunakan *coupled inductor* menghasilkan *ripple* tegangan keluaran yang lebih kecil seperti yang terlihat pada Gambar 15 (b) yakni mencapai nilai 14.05 Volt. Pada mode *boost* ini, masing-

masing konverter diberikan tegangan masukan sebesar 13 Volt dengan tegangan disisi keluaran sebesar 14 Volt.

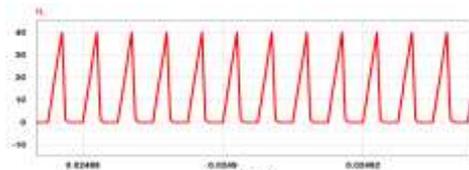
Arus yang melewati kapasitor, dioda dan induktor pada konverter dc dc *coupled inductor* mode *boost* diilustrasikan pada Gambar 16 (a,b&c). Tegangan yang menyebrangi induktor saat *switch on* dan *off* ditunjukkan pada Gambar 16 (d).



a)



b)



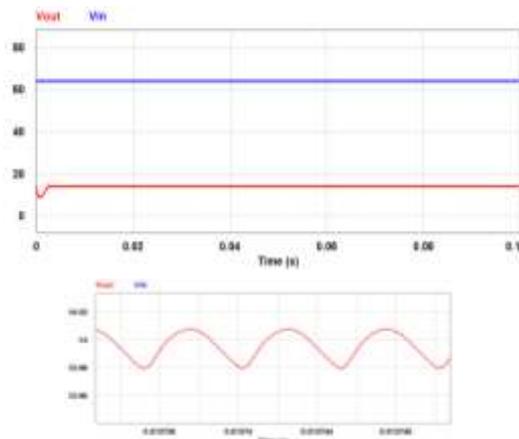
c)



d)

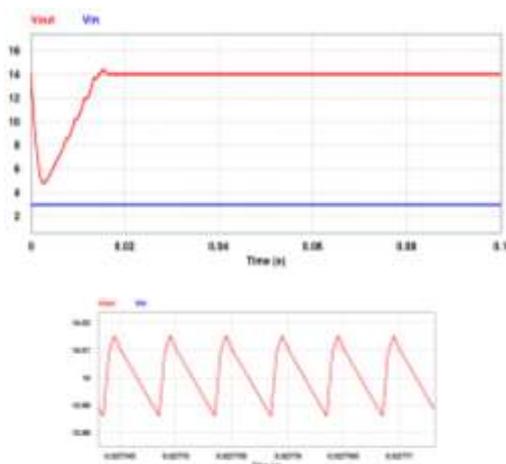
Gambar 16 Hasil Bentuk Gelombang *Coupled Inductor* Pada Mode *Boost*; a.) Arus Kapasitor b.) Arus dioda c.) Arus Induktor d.)Tegangan Induktor

Diberikan hasil pengujian pada Gambar 17 dibawah ini untuk menunjukkan kondisi tegangan keluaran konverter dc dc pada mode *buck* dengan tegangan *input* yang diberikan sebesar 64 Volt dan tegangan *output* sebesar 14 Volt menggunakan *coupled inductor*.



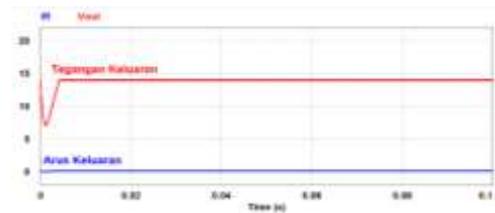
Gambar 17 Line Regulation Mode Buck dengan Tegangan Input 64 Volt

Sementara Gambar 18 dibawah ini menunjukkan kondisi tegangan keluaran konverter dc dc pada mode *boost* dengan menggunakan *coupled inductor*. Tegangan input yang diberikan sebesar 3 Volt dan tegangan output sebesar 14 Volt.

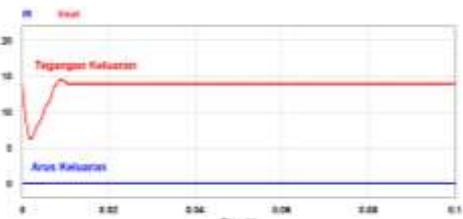


Gambar 18 Line Regulation Mode Boost dengan Tegangan Input 3 Volt

Gambar 19 dibawah ini merupakan hasil pengujian yang menunjukkan regulasi beban konverter dc dc pada mode *buck* dan mode *boost*. Dikarenakan nilai beban yang meningkat maka arus beban berkurang, dan tegangan keluaran masih dapat dipertahankan sebesar 14 Volt.



a)



b)

Gambar 19 Regulasi Beban; a.) Mode *Buck* b.) Mode *Boost*

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan pengujian simulasi peningkatan lebar tegangan input *buck-boost converter* dengan perancangan *coupled inductor*, dapat disimpulkan bahwa menggantikan induktor dengan *coupled inductor* dapat menghasilkan konversi tegangan yang lebih lebar jika dibandingkan konverter yang tidak menggunakan *coupled inductor*. Hasil simulasi pada penelitian ini menunjukkan bahwa konverter *buck boost* tanpa *coupled inductor* memiliki lebar tegangan masukan pada rentang 4-21 Volt terhadap tegangan keluaran mantap sebesar 14 Volt. Sedangkan konverter dengan menggunakan *coupled inductor* memiliki lebar tegangan masukan pada rentang 3-64 Volt terhadap tegangan keluaran mantap sebesar 14 Volt.

DAFTAR PUSTAKA

- Hart, D. W. (2011). *Power Electronics*. New York: McGraw-Hill.
- Hidayat, S.M. (2010). Rancang Bangun Buck Boost Konverter. Teknik Elektro Universitas Indonesia.
- Mohan, N., Undeland, T.M., & Robbins, W.P. (1995). *Power Electronics: converters, applications & design*. Canada: John Wiley & Sons Inc.

P.F, Liya, K.V, Aathira. (2014). A Coupled Inductor Buck-Boost DC-DC Converter with Wide Voltage Conversion Range. *International Conference on Circuit, Power and Computing* (hal. 708-713). India: ICCPCT.

Rashid, M. H. (2011). *Power Electronics Handbook*. Burlington: Elsevier Inc.