

Perancangan dan Implementasi Konverter Zeta dengan Induktor Gandeng dan Kapasitor Pengali Untuk Aplikasi Fotovoltaik

Andri Pradipta, dan Heri Suryoatmojo, ST.,MT.,Ph.D, Dedet Candra Riawan,S.T., M.Eng., Ph.D
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail: andri14@mhs.ee.its.ac.id,

Abstrak— Konverter Zeta merupakan salah satu topologi konverter DC – DC yang banyak digunakan untuk penaik dan penurun tegangan DC. Namun penguatan tegangan DC dari zeta konverter masih rendah, dimana besar tegangan keluaran konverter DC – DC tergantung besarnya *duty cycle* pensakelaran. Untuk mendapatkan rasio yang tinggi tanpa harus dioperasikan pada *duty cycle* yang tinggi dapat digunakan induktor gandeng. Dengan mendesain rasio belitan induktor gandeng yang tinggi maka akan diperoleh rasio tegangan yang tinggi pula. Namun Semakin besar rasio Induktor gandeng maka rugi-rugi yang berupa induktansi bocor juga meningkat. Pada penelitian ini didesain dan diimplementasikan Zeta konverter dengan menggunakan induktor gandeng dan kapasitor pengali. Dengan rasio belitan *inductor* gandeng didesain 4 dan penambahan kapasitor pengali, dihasilkan rasio tegangan yang tinggi hingga mencapai 19,28 kali. Dengan efisiensi maksimal mencapai 88%. *duty cycle* maksimal yang dapat dijangkau konverter maksimal 75%. Dengan penambahan system kendali PI, tegangan keluaran konverter dapat dijaga konstan 311volt untuk masukan inverter.

Kata Kunci—konverter Zeta, induktor gandeng, induktansi bocor, kapasitor pengali, PI.

I. PENDAHULUAN

ENERGI surya merupakan salah satu dari sumber energi baru dan terbarukan. Energi surya banyak dimanfaatkan untuk pembangkit listrik. Dengan menggunakan teknologi panel surya energi matahari dapat dirubah menjadi energi listrik. Teknologi ini bersifat ramah lingkungan. Panel surya bekerja berdasarkan efek cahaya matahari (photon) yang menyebabkan mengalirnya electron pada sel fotovoltaik. Hal ini menyebabkan sel surya memiliki karakteristik berupa arus keluaran berupa arus searah (DC), sementara tegangan, arus dan daya keluaran bervariasi tergantung dari intensitas cahaya matahari. Selain itu tegangan keluaran dari panel surya berupa tegangan rendah sehingga cara konvensional yang bisa dilakukan untuk mendapatkan tegangan tinggi dengan menghubungkan beberapa panel surya secara seri [2], atau menggunakan konverter DC – DC dengan rasio tinggi [1],[4] supaya dapat dimanfaatkan untuk berbagai aplikasi.

Konverter Zeta merupakan salah satu topologi konverter DC – DC yang digunakan untuk penaik dan penurun tegangan DC [3]. Namun penguatan tegangan DC dari zeta konverter masih rendah, dimana besar tegangan keluaran konverter DC – DC

tergantung besarnya *duty cycle* pensakelaran. Sementara jika konverter DC – DC dioperasikan pada *duty cycle* yang sangat tinggi akan menyebabkan rugi rugi konduksi yang besar pada konverter, khususnya pada induktor yang digunakan. Semakin besar *duty cycle* maka arus yang mengalir pada induktor juga akan semakin besar. Bila induktor dialiri arus yang melebihi ratingnya, maka induktor akan panas sehingga rugi rugi daya semakin besar.

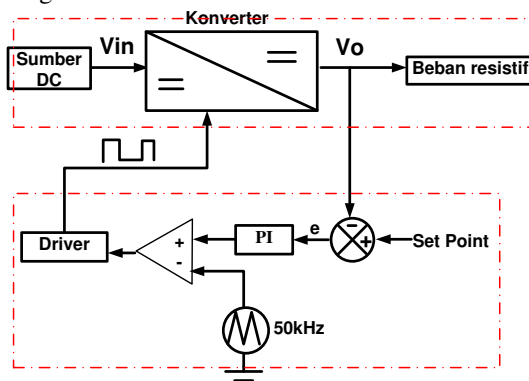
Untuk mendapatkan rasio yang tinggi tanpa harus dioperasikan pada *duty cycle* yang tinggi dapat digunakan induktor gandeng [5]. Dengan mendesain rasio belitan induktor gandeng yang tinggi maka akan diperoleh rasio tegangan yang tinggi pula. Banyak penelitian tentang konverter DC-DC rasio tinggi yang menggunakan analisis *switched-inductor* dan *switched-capasitor* [6],[7].

Pada penelitian ini akan didesain dan diimplementasikan Zeta konverter dengan rasio tinggi dengan menggunakan induktor gandeng dan kapasitor pengali. Konverter ini memiliki karakteristik penguatan tegangan yang tinggi, *spike* tegangan yang cukup tinggi pada sakelar utama, dengan adanya kapasitor maka dapat me-*recycle* induktansi bocor pada induktor gandeng.

II. PERANCANGAN

A. Blok Diagram Sistem

Diagram blok sistem secara keseluruhan yang terbagi menjadi 2 bagian yaitu rangkaian utama dan rangkaian pendukung.



Gambar 1 Blok diagram system

B. Desain Konverter Zeta dengan Induktor Gandeng dan Kapasitor Pengali

Desain konverter dilakukan untuk menentukan parameter rangkaian. Dalam hal ini akan dihitung dan ditentukan nilai-nilai dari setiap komponen yang digunakan, yang selanjutnya akan dilakukan simulasi untuk mengetahui kesesuaian hasil simulasi dengan desain konverter. Tabel 1 menunjukkan parameter awal yang digunakan sebagai acuan dalam mendesain konverter Zeta dengan induktor gandeng dan kapasitor pengali.

Tabel 1
Spesifikasi Desain awal konverter

Parameter	Nilai
P_{rated}	50watt
V_{in-min}	14volt
V_{in-max}	22volt
V_{out}	350volt
F_{Sw}	50kHz
N	4
ΔI_{L-pp}	20%
I_{L-avg}	
ΔV_{o-pp}	0,01%
V_{o-avg}	

Tegangan input minimal konverter ditentukan sebesar 14volt dengan pertimbangan agar konverter tidak bekerja pada *duty cycle* yang terlalu tinggi untuk mencapai tegangan output sesuai spesifikasi awal. Tegangan input maksimal konverter sebesar 22volt ditentukan berdasarkan tegangan open circuit PV modul 50watt yang besarnya ± 22 volt. Parameter N menunjukkan nilai perbandingan belitan sekunder dan primer induktor gandeng. Nilai N ditentukan 4, artinya jumlah belitan sekunder 4 kali jumlah belitan primer.

C. Penentuan nilai Induktor Gandeng

Operasi konverter diharapkan bekerja pada mode CCM (*Continuous conduction mode*) maka besar nilai induktor minimum dapat ditentukan dengan rumus :

$$L_m = \frac{(D - 2D^2 + D^3)R_B}{(2 + 2n + n^2)f_s} \tag{1}$$

Dimana :

- R_B ditentukan dari besar tahanan ketika konverter beroperasi pada mode BCM (*Boundary conduction mode*). $R_{oB} = 24509,8ohm$
 - D (*duty cycle*) ditentukan pada operasi nominal konverter sesuai perancangan awal
 - n adalah rasio belitan inductor gandeng
 - f_s adalah frekuensi kerja konverter
- Sehingga nilai induktor magnetisasi minimumnya:
 $L_m = 0.0003136H$

D. Hasil Implementasi induktor gandeng

Untuk hasil implementasi induktor gandeng ditunjukkan pada Gambar (2). Pengukuran parameter induktor gandeng dilakukan dengan LCR meter digital yang terdapat pada

laboratorium Konversi Energi, Teknik Elektro - ITS. Untuk hasil pengukuran ditunjukkan pada Tabel 2

Tabel 2
Hasil Pengukuran Gandeng Induktor

Parameter	Nilai
L_{11}	380,5 μ H
L_{22}	5496 μ H
$L_{leak-primer}$	4,506 μ H
$L_{leak-sekunder}$	62,07 μ H
$F_{pengukuran}$	100kHz

Dari data pengukuran induktor gandeng tersebut dapat dihitung nilai induktansi magnetisasinya dengan persamaan

$$L_m = \left(\frac{1}{4}\right) \times \sqrt{380,5 \times 5496 - 4,506 \times 5496}$$

$$L_m = 359,38 \mu H$$

Sehingga dengan nilai induktor magnetisasi L_m yang diperoleh sebesar 359,38 μ H, maka konverter bekerja pada mode operasi CCM sesuai perancangan awal.



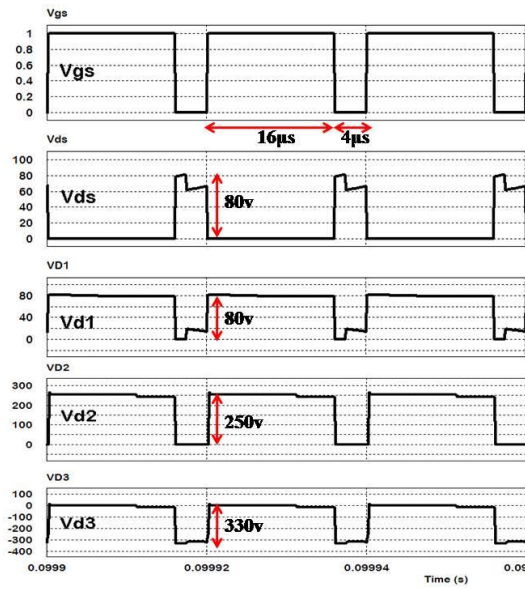
Gambar 2 Hasil Implementasi Induktor gandeng

E. Hasil Simulasi

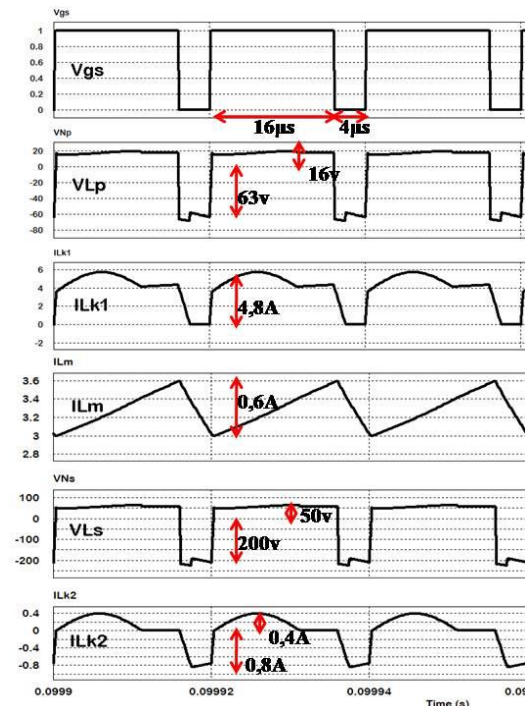
Simulasi dilakukan pada kondisi steady state dengan parameter – parameter yang sudah ditentukan dengan memasukkan hasil pengukuran induktor gandeng yang sudah dibuat yaitu $L_{k_p} = 359,38\mu H$, $L_{k_s} = 4,506\mu H$ dan $L_{k_3} = 62,07\mu H$.

Hasil Simulasi dilihat pada kondisi steady state pada tegangan input V_{in} 14volt, dengan lebar *Duty cycle* 80% dan Tahanan beban 2450ohm. Hasil simulasi proses pensakelaran ditunjukkan pada Gambar 3. Dari Gambar tersebut dapat diketahui bahwa sinyal pensakelaran diode sudah sesuai dengan sinyal pensakelaran *mosfet*. Dengan frekuensi pensakelaran sebesar 50kHz didapatkan periode sinyal 20 μ s, dengan *Duty cycle* 80% maka periode sakelar ON 16 μ s dan periode sakelar OFF 4 μ s.

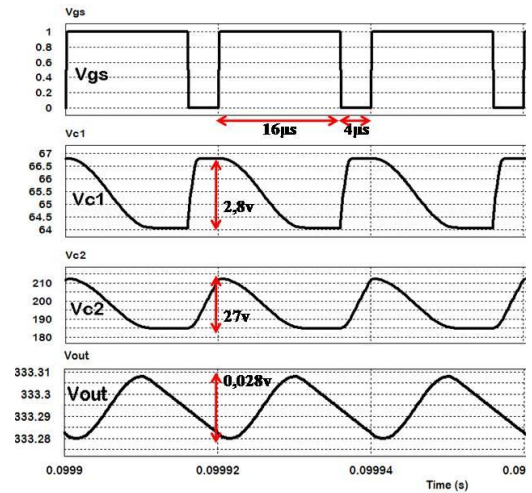
Hasil simulasi tegangan dan arus induktor ditunjukkan pada Gambar 4. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa proses pengisian dan pembuangan energi pada induktor gandeng sesuai dengan sinyal pensakelaran yaitu ketika sakelar tertutup arus yang mengalir mengalami kenaikan hingga pergantian sakelar terjadi, pada hal ini induktor diisi muatan dan ketika sakelar terbuka arus yang mengalir mengalami penurunan, pada hal ini induktor membuang energi dan nilai ripple arus induktor magnetisasi sebesar 0,6A yaitu 18,18%. Hal ini sudah sesuai dengan perancangan tidak lebih dari 20%.



Gambar 3 Sinyal pensakelaran pada konverter



Gambar 4 Sinyal tegangan dan arus induktor gandeng



Gambar 5 Sinyal ripple tegangan pada kapasitor

Untuk tegangan pada kapsitor C1 dan C2 masing-masing adalah 65,4volt dan 198,5volt. Untuk sinyal ripple tegangan pada masing – masing kapasitor ditunjukkan pada Gambar 5. Dari gambar tersebut dapat diketahui besar ripple tegangan kapasitor C1 dan C2 adalah 2,8volt dan 27volt sementara besar ripple tegangan kapasitor output sebesar 0,028volt atau 0.008% dari tegangan output dimana dalam perancangan ditentukan 0,01%. Perbedaan ini dikarenakan kapasitor untuk simulasi dan implementasi disesuaikan dengan nilai kapasitor yang ada di pasaran yang nilainya mendekati nilai perancangan.

F. Implementasi Konverter

Implementasi dilakukan untuk mengetahui kinerja dari konverter berdasarkan desain dan simulasinya. Pada tahap pertama dilakukan pembuatan sinyal PWM digital dengan mikrokontroller ATmega16 dan Driver dengan TLP-250, pada tahap kedua dilakukan pembuatan rangkaian utama konverter, dan selanjutnya tahap pengujian sinyal dengan osiloskop, setelah itu tahap terakhir yaitu pengujian dengan modul fotovoltaik 50Wp. Untuk nilai komponen yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3
Spesifikasi komponen yang digunakan pada implementasi

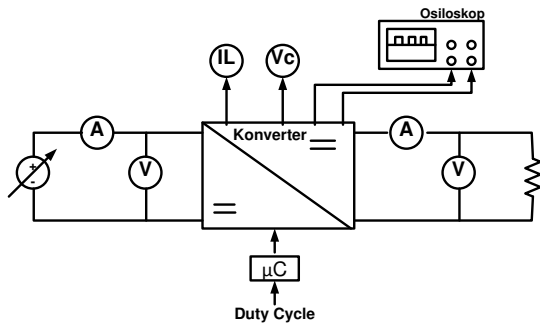
Komponen	Nilai
Induktor Gandeng	$L_m = 359,38\mu H; N=4$
Kapasitor C1	1µF/400V
Kapasitor C2	100nF/630V
Kapasitor Cout	50µF/400V
Mosfet	IRFP460
Diode D1, D2, D3	FR307
Driver	TLP-250
Resistor Beban	2450ohm
Kontroller	ATmega16

III. PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA

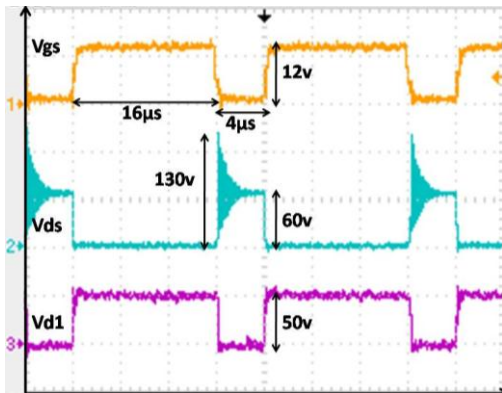
Pengujian yang dilakukan antara lain pengujian sinyal PWM dan pensakelaran, pengujian arus induktor dan tegangan kapasitor, pengujian rasio konversi, efisiensi, pengujian respon kontrol PI dan pengujian menggunakan modul fotovoltaik. Untuk rangkaian pengujian ditunjukkan pada Gambar 6.

A. Pengujian Sinyal PWM dan Pensakelaran

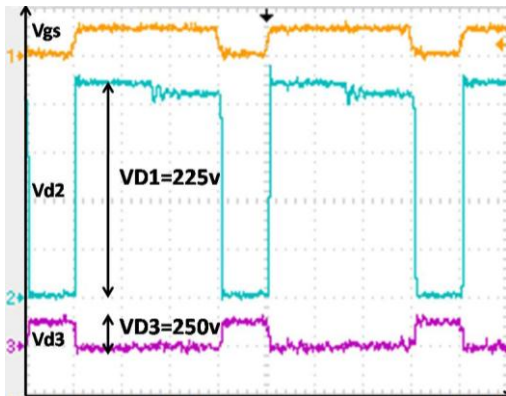
Pengujian ini dilakukan dengan tegangan input $V_{in} = 14\text{volt}$, frekuensi pensakelaran $f=50\text{kHz}$ dan *Duty cycle*=75%. Sehingga periode sinyal PWM sebesar $20 \mu\text{s}$. Hasil dari pengujian sinyal PWM dan proses pensakelaran *mosfet* dan dioda ditunjukkan pada Gambar 7 dan 8



Gambar 6 Rangkaian pengujian konverter



Gambar 7 Hasil pengujian sinyal Vgs, Vds, Vd1



Gambar 8 Hasil pengujian sinyal Vgs, VD2, VD3

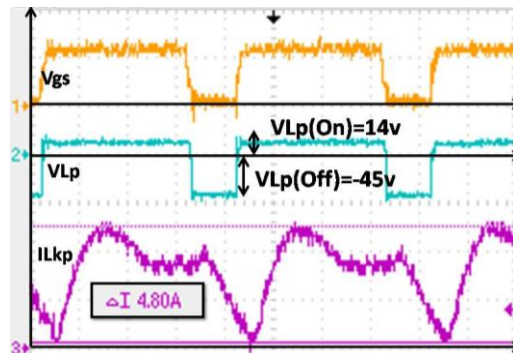
Dari hasil pengujian yang ditunjukkan pada Gambar 7 dan Gambar 8 dapat diketahui bahwa sinyal PWM dan proses pensakelaran dioda D1, D2 dan D3 sudah sesuai dengan perancangan. Dengan besar *duty cycle* 75% dan frekuensi pensakelaran 50kHz, didapatkan periode sakelar On dan sakelar Off $16\mu\text{s}$ dan $4\mu\text{s}$. Dilihat dari sinyal tegangan pada *mosfet* *Vds* terdapat spike tegangan yang nilainya dua kali tegangan *Vds*. Besarnya spike tegangan ini tidak melebihi tegangan *rating mosfet* IREFP460 yang memiliki *breakdown voltage* 500volt.

Dioda yang digunakan adalah jenis dioda *fast recovery switching* FR307 dengan *breakdown voltage* 1000volt dengan *reverse recovery time* 500ns. Ketika sakelar utama On, dioda D1 dan D2 tidak konduksi, sementara dioda D3 konduksi. Besar tegangan dioda D1, D2 dan D3 masing-masing 50volt, 225volt dan 250volt, sementara pada simulasinya masing-masing 60volt, 211volt, 271volt. Perbedaan ini dikarenakan komponen yang digunakan pada implementasi tidak ideal.

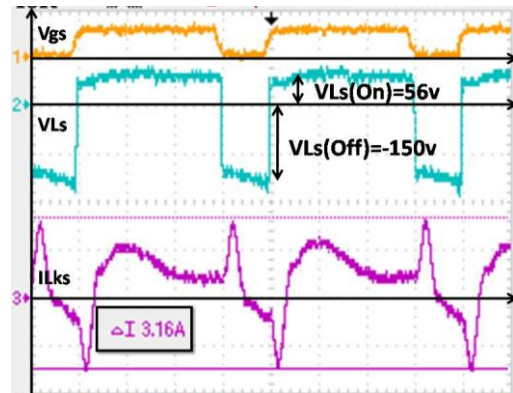
B. Pengujian arus induktor gandeng

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sinyal arus induktor apakah sudah sesuai dengan *typical* dari konverternya. Untuk hasil pengujian dengan tegangan input $V_{in} = 14\text{v}$, *duty cycle* = 75% ditunjukkan pada Gambar 9.

Dari pengujian sinyal tegangan dan arus induktor Gambar 9 dapat diketahui bahwa ketika sakelar utama konduksi, besar tegangan induktor gandeng sisi primer V_{Lp} 14volt. Pada kondisi ini induktor terhubung dengan tegangan sumber sehingga terjadi pengisian energi (*charging energi*) pada induktor gandeng yang ditunjukkan dengan arus yang mengalami kenaikan secara perlahan hingga saat pergantian sakelar menjadi terbuka. Pernyataan ini akan lebih jelas ketika dilihat arus induktor magnetisasinya pada simulasi, tetapi dalam kenyataannya arus induktor magnetisasi ILM tidak dapat dilihat dikarenakan arus yang mengalir pada induktor gandeng terbagi menjadi arus magnetisasi ILM dan arus induksi yang ditransfer ke sisi sekunder nIL_s , dimana n adalah rasio belitan dari induktor gandeng.



Gambar 9 Hasil pengujian sinyal Vgs, VLp dan ILkp



Gambar 10 hasil pengujian sinyal Vgs, VLs dan ILks

Ketika sakelar utama tidak konduksi (*Mosfet* = *OFF*), tegangan induktor gandeng sisi primer V_{Lp} bernilai negatif

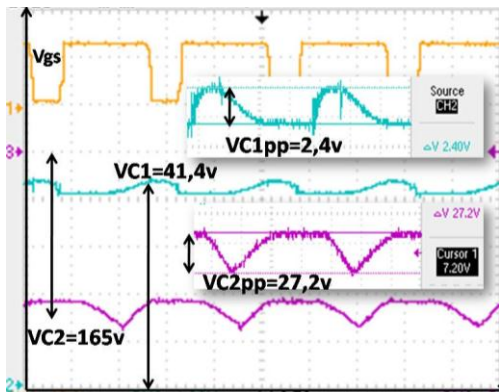
yaitu -45volt. Pada kondisi ini induktor tidak terhubung dengan tegangan sumber sehingga terjadi pembuangan energi (*discharging energi*) pada induktor gandeng yang ditunjukkan dengan arus yang mengalami penurunan secara perlahan hingga saat pergantian sakelar menjadi konduksi.

Dari gambar 10 dapat diketahui bahwa tegangan di sisi sekunder induktor gandeng VLs mengalami kenaikan 4 kali dari tegangan sisi primer induktor gandeng. Hal ini menunjukkan bahwa induktor gandeng dapat menaikkan tegangan tergantung dengan rasio belitannya. Sementara arus disisi sekunder induktor gandeng sudah sesuai dengan *typical*-nya.

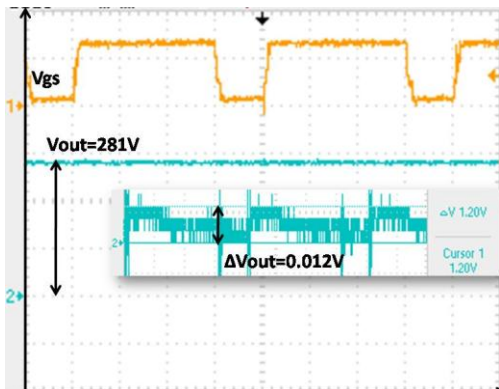
C. Pengujian Tegangan Kapasitor

Pengujian kapasitor dilakukan untuk mengetahui apakah besar tegangan pada masing-masing kapasitor sudah sesuai dengan desain dan simulasi. Pengujian ini juga dilakukan pada tegangan input $V_{in} = 14v$ dan *duty cycle* $D = 75\%$.

Gambar 11 dan 12 menunjukkan hasil pengujian tegangan kapasitor menggunakan osiloskop. Dari gambar 11 dan 12 dapat diketahui bahwa besar tegangan rata-rata kapasitor C1, C2 dan Cout pada implementasi masing-masing 41,4volt, 165volt dan 270volt, sementara pada simulasi masing-masing 47volt, 152volt dan 271. Besar ripple tegangan kapasitor C1, C2 dan Cout pada implementasi masing-masing 2,4volt, 27,2volt dan 12milivolt, sementara pada simulasinya masing-masing 2,2volt, 22,5volt dan 24milivolt. Perbedaan ini dikarenakan komponen yang digunakan pada implementasi tidak ideal.



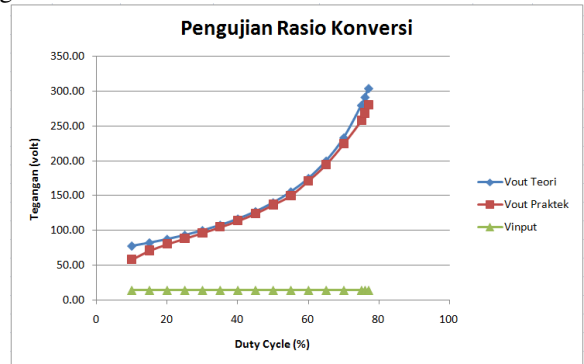
Gambar 11 hasil pengujian sinyal V_{gs} , V_{C1} dan V_{C2}



Gambar 12 hasil pengujian sinyal V_{Co} , V_{gs}

D. Pengujian Rasio Konversi

Pengujian rasio konversi dilakukan untuk mengetahui kemampuan konverter dalam menaikkan tegangan input ke level tegangan yang lebih tinggi dengan mengatur *duty cycle*. Pengujian rasio konversi dilakukan pada tegangan input tetap sebesar $V_{in} = 14v$ dan *duty cycle* dinaikkan secara bertahap dari 0,1 hingga 0,75 dengan step 0,05. Beban yang digunakan adalah resistor dengan resistansi sebesar 2450 Ω . Gambar 13 menunjukkan grafik hasil pengujian rasio konversi konverter zeta dengan induktor gandeng dan kapasitor pengali.

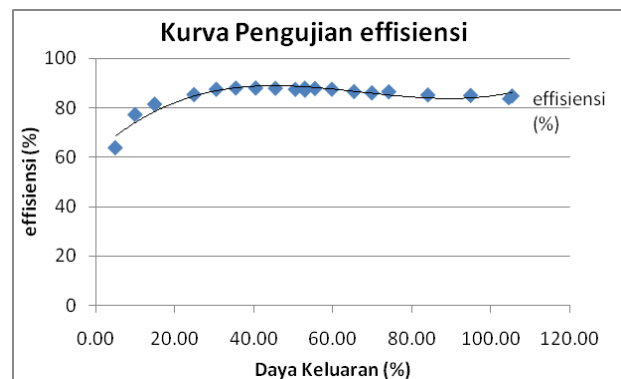


Gambar 13 Grafik hasil pengujian rasio konversi konverter

Pada rentang *duty cycle* antara 0,25 hingga 0,7 dapat diketahui bahwa tegangan output hasil implementasi dengan perhitungan terdapat sedikit perbedaan. Hal ini dikarenakan terdapat drop tegangan pada konverter (tegangan drop pada drain-source *mosfet*, tegangan drop dioda, tegangan drop pada induktor gandeng akibat kebocoran arus induktor gandeng) namun masih dibawah 5%. Sedangkan pada rentang *duty cycle* kurang dari 0,25 dan lebih dari 0,7 terdapat perbedaan yang cukup besar antara tegangan output perhitungan dengan hasil pengujian yaitu sekitar 25volt. Perbedaan ini disebabkan karena faktor ketidakidealan pada komponen yang digunakan untuk implementasi. Semakin besar *duty cycle*, semakin besar arus yang mengalir pada tiap-tiap komponen, semakin besar pula drop tegangan sehingga error rasio konversi konverter juga semakin besar.

E. Pengujian Efisiensi Konverter

Pengujian efisiensi dari kurva diatas dilakukan pada tegangan input 15 volt dan tegangan keluaran dijaga konstan 311 volt ketika beban berubah.

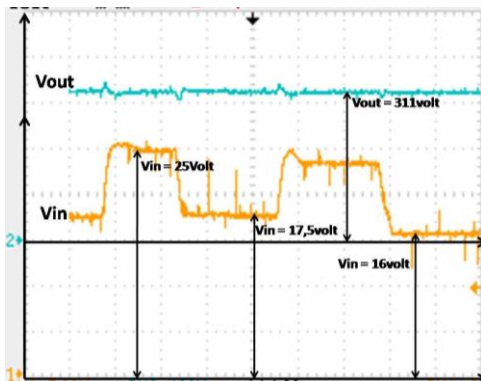


Gambar 14 Kurva pengujian efisiensi konverter

Dari kurva tersebut dapat diketahui bahwa efisiensi maksimum didapat ketika beban 20 watt. Ketika beban dinaikkan lagi maka efisiensi semakin turun. Hal ini dikarenakan semakin besar beban maka arus juga semakin besar sehingga drop tegangan semakin besar. Dan ketika beban terlalu kecil efisiensi juga turun signifikan. Hal ini dikarenakan daya keluaran terlalu kecil bila dibandingkan dengan rating daya konverter.

F. Pengujian Tegangan Output Konstan

Untuk menjaga tegangan keluaran tetap konstan meskipun tegangan masukan berubah dibutuhkan system kendali. Dalam implementasi ini dipilih system kendali PI. Dalam system kendali PI terdapat 2 tipe sistem kendali yaitu system kendali proporsional dan system kendali integral, dimana masing-masing system kendali memiliki konstanta yang nilainya harus ditentukan terlebih dahulu yaitu Kp dan Ki. Dalam penentuan Kp dan Ki ditentukan dengan cara *trial and error*. Respon tegangan keluaran terhadap perubahan tegangan input sudah cukup bagus yang ditunjukkan pada Gambar 15 pada nilai Kp=0,05 dan Ki=0,5.

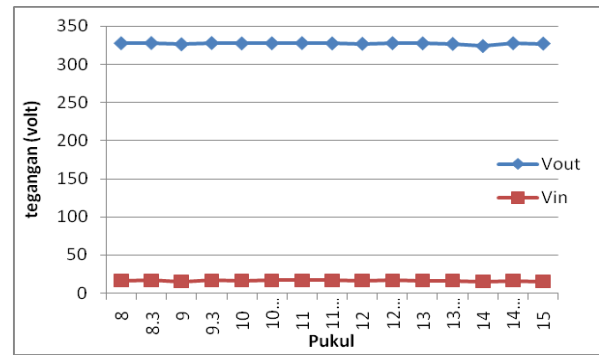


Gambar 15 Sinyal respon tegangan keluaran dengan PI

Dari Gambar 15 dapat diketahui bahwa tegangan keluaran selalu konstan meskipun tegangan input berubah. Dalam hal ini artinya *controller* sudah bekerja sebagaimana mestinya. Namun masih terdapat sedikit *overshoot* ketika perubahan tegangan input yang ekstrim. Namun tidak menjadi masalah karena perubahan sinar matahari tidak terlalu ekstrim. Sehingga konverter ini sudah bisa digunakan untuk aplikasi fotovoltaik.

G. Pengujian dengan Modul Fotovoltaik

Pengujian ini dilakukan pada beban 20watt atau dengan tahanan 4800ohm ketika besar tegangan keluarannya 311volt.



Gambar 16 Hasil Pengujian dengan PV

Hal ini dilakukan karena daya yang dihasilkan pada 1 modul fotovoltaik 50Wp pada saat pengujian dilakukan hanya berkisar 60% hingga 75% dari kapasitas fotovoltaik dikarenakan irradiant sinar matahari tidak mencapai maksimal saat pengujian berlangsung. Foto pengujian ditunjukkan pada Gambar 61.

Dari pengujian tersebut dapat diketahui bahwa kendali PI dapat mengatur tegangan keluaran konverter tetap konstan 311volt ketika tegangan masukan konverter atau irradiant sinar matahari berubah.



Gambar 17 Pengujian dengan fotovoltaik

IV. KESIMPULAN

Dari pengujian dengan simulasi dan implementasi konverter dapat disimpulkan bahwa dalam aplikasi fotovoltaik tanpa *system* baterai, penggunaan konverter dengan inductor gandeng dan kapasitor pengali sangat cocok digunakan karena didapatkan rasio tinggi hingga 19 kali dengan efisiensi yang tinggi mencapai 88%. Dan dengan system kendali PI, Tegangan keluaran dapat dijaga konstan ketika irradiant cahaya matahari berubah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada bapak Heri Suryoatmojo dan bapak Dedet Candra Riawan yang telah membimbing penulis selama tugas akhir ini dan segenap keluarga dan teman-teman Lab. KE dan LJ Elektro ITS 2014 yang telah membantu dengan do'a dan dukungan dalam penyelesaian tugas akhir ini. Semoga penelitian ini dapat bermanfaat dan bisa menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya. Amiin."

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Shih-Ming Chen, Tsorng-Juu Liang, Lung-Sheng Yang dan Jiann-Fuh Chen, "A Boost Konverter With Capacitor Multiplier and Coupled Inductor for AC Module Applications", IEEE Transactions on industrial Electronics, Vol. 60, No. 4, April 2013
- [2]. T. Shimizu, K. Wada, and N. Nakamura, "Flyback-type single-phase utility interactive inverter with power pulsation decoupling on the dc input for an ac photovoltaic module system," IEEE Trans. Power Electron., vol. 21, no. 5, pp. 1264–1272, Jan. 2006
- [3]. Eng Vuthchhay and Chanin Bunlaksananusorn, "Dynamic modeling of a zeta konverter with state-space averaging technique," Proc. 5th Int. Conf. Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON) 2008, Vol. 2, pp. 969–972.
- [4]. W. Li and X. He, "Review of non-isolated high step-up dc/dc konverters in photovoltaic grid-connected applications," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 58, no. 4, pp. 1239–1250, Apr. 2011.
- [5]. B. Axelrod, Y. Berkovich, S. Tapuchi, and A. Ioinovici, "Steep conversion rasion 'Cuk, Zeta, and sepic konverters based on a switched coupled-inductor cell," in Proc. IEEE Power Electron. Spec. Conf., 2008, pp. 3009–3014
- [6]. F. L. Luo, "Switched-capacitorized dc/dc konverters," in Proc. IEEE ICIEA, 2009, pp. 1074–1079
- [7]. B. Axelrod, Y. Berkovich, and A. Ioinovici, "Switched-capacitor/ switched-inductor structures for getting transformerless hybrid dc-dc PWM konverters," IEEE Trans. Circuits Syst. I, Reg. Papers, vol.55, no. 2, pp. 687–696, Mar. 2008