

KINERJA DC CHOPPER TIPE CUK DENGAN MOSFET DALAM MODE CCM DAN DCM

Satrio Wibowo^{*)}, Mochammad Facta, and Agung Nugroho

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

^{*)}E-mail :satriowibowotr12@gmail.com

Abstrak

DC chopper merupakan peralatan elektronika daya yang berfungsi untuk mengubah nilai tegangan DC menjadi lebih kecil atau lebih besar dari nilai tegangan masukan. Dalam prakteknya DC Chopper mempunyai beberapa konfigurasi yang sering digunakan yaitu buck, boost, buckboost dan cuk. DC Chopper mempunyai 2 mode operasi kerja, yaitu mode DCM (Discontinuous Conduction Mode) dan mode CCM (Continuous Conduction Mode). Banyak penelitian yang memanfaatkan kinerja DC Chopper sebagai penyedia catu daya tegangan searah. Namun dalam penelitian, karakteristik dan mode kerja konverter tidak diperhatikan dan dibahas, sehingga tidak jelas mode operasi apa yang digunakan dalam konverter. Pada penelitian ini dibuat DC Chopper tipe cuk. Cuk converter tersebut menggunakan MOSFET sebagai saklar elektronik yang dipicu oleh rangkaian kontrol IC TL494. Respon keluaran cuk converter yang akan dibahas meliputi respon arus dan tegangan keluaran serta efisiensi daya pada mode operasi DCM dan CCM. Berdasarkan hasil percobaan, cuk converter berhasil bekerja pada mode operasi DCM dan CCM. Pada pengujian mode DCM digunakan induktor dengan nilai induktansi sebesar $L_1 = 1,6$ mH dan $L_2 = 0,7$ mH. Cuk converter menghasilkan tegangan keluaran maksimal sebesar 10,52 V, dan nilai efisiensi tertinggi yang dihasilkan sebesar 96,65 %. Pada pengujian mode CCM digunakan induktor dengan nilai induktansi sebesar $L_1 = 60$ mH dan $L_2 = 40$ mH. Cuk converter menghasilkan tegangan keluaran maksimal sebesar 37,37 V, dan nilai efisiensi tertinggi yang dihasilkan sebesar 98,82 %.

Kata kunci : DC Chopper, Cuk Converter, DCM, CCM.

Abstract

DC chopper is a power electronic device that can change the value of DC voltage into less or greater than the input voltage magnitude. In a real practice, DC chopper has several configurations which are usually used, e.g. buck, boost, buckboost and cuk. Moreover, DC chopper has 2 modes of work operation, i.e. DCM (Discontinuous Conduction Mode) and mode CCM (Continuous Conduction Mode). There have been bundle of researches that used the DC chopper benefits as a provider for power supply of DC voltage. However, most of the result in the researches do not explain and concern to the characteristic and work operation of converter. Thus, it may still not clear regarding the mode of operation which has been used in the converter. In this research, DC chopper is being made by cuk type. The cuk converter used MOSFET as a electronic switching which triggered by control circuit of IC TL494. The output response of cuk converter which are being addressed including curren response and voltage output as well as power efficiency in CCM and DCM operation mode. According to the result of the research, cuk converter successfully worked both in the mode of DCM and CCM operation. The test of DCM mode used inductor with the value of inductance $L_1 = 1,6$ mH and $L_2 = 0,7$ mH. Cuk converter resulted a maximum output voltage is 10.52 V and maximum efficiency is 96,65 %. Besides, the test of CCM mode used inductor with the value of inductance $L_1 = 60$ mH and $L_2 = 40$ mH. Cuk converter resulted a maximum output voltage is 37,37 V and maximum efficiency is 98,82 %.

Key words : DC Chopper, Cuk Converter, DCM, CCM

1. Pendahuluan

DC Chopper merupakan salah satu jenis rangkaian elektronika daya yang berfungsi untuk mengkonversi tegangan masukan searah konstan menjadi tegangan

keluaran searah yang dapat divariasikan dengan mengatur rangkaian kontrolnya. DC chopper terdiri dari beberapa konfigurasi yang sering digunakan yaitu *buck, boost, buckboost dan cuk*. DC Chopper mempunyai 2 mode operasi kerja, yaitu mode DCM (*Discontinuous*

Conduction Mode) dan mode CCM (*Continuous Conduction Mode*). Mode DCM adalah mode dimana arus pada konverter mencapai nilai nol, atau tidak *continue*. Sedangkan mode CCM adalah mode operasi dimana arus pada konverter mengalir secara kontinyu, dalam artian tidak pernah mencapai nilai nol.^[8]

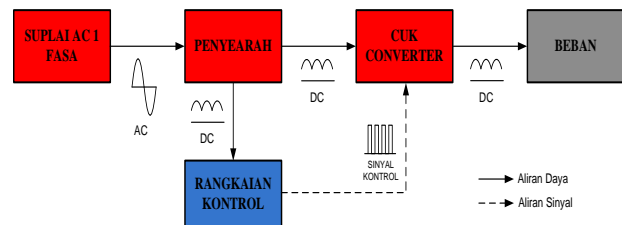
Dalam penelitian sebelumnya [5, 6, 7], catu daya dc-dc konverter telah dibuat. Namun dalam penelitian tersebut hanya mengutamakan nilai tegangan keluaran saja, tanpa meneliti kinerja dc-dc konverter tersebut. Mode operasi DCM atau CCM tidak jelas apakah digunakan dalam penelitian tersebut. Dalam referensi [5] Penggunaan DC Chopper tipe *cuk* bertujuan untuk mengatur tegangan masukan sebagai suplay pada *Flyback converter* yang digunakan untuk driver tegangan tinggi DC. Dalam penelitian tersebut tidak dibahas karakteristik dan mode operasi DC Chopper tipe *cuk* yang digunakan. Ketika *cuk converter* menghasilkan tegangan yang diharapkan maka dianggap masalah tentang DC Chopper selesai. Pada referensi [6] dibuat penelitian yang membahas mengenai *cuk converter* yang digunakan untuk memaksimalkan daya keluaran yang dihasilkan oleh Photovoltaic. Pada penelitian [7] membahas mengenai *cuk converter* yang digunakan sebagai salah satu tahap untuk memperbaiki PFC (*Power Factor Correction*) sebuah motor DC magnet permanen. Mode operasi konverter pada kedua penelitian diatas^{[6][7]} kurang diperhatikan dan dibahas sehingga tidak jelas mode operasi konverter apa yang digunakan. Penggunaan mikrokontroler sebagai rangkaian kontrol pensaklaran dalam dc-dc konverter menambah rumit perancangan dan pembuatan DC Chopper tipe *cuk*.

Berdasarkan pada hal tersebut, penelitian tugas akhir ini akan merancang sebuah modul berupa DC Chopper tipe *cuk* dengan kontrol IC TL494 yang akan membandingkan 2 mode berbeda yaitu CCM dan DCM yang dapat digunakan sebagai modul praktikum elektronika daya. Topologi rangkaian *cuk converter* dipilih karena jika dibandingkan dengan topologi lain seperti *buck*, *boost*, *buck-boost*, topologi *cuk* memiliki tingkat kestabilan yang baik pada sisi keluaran maupun masukan karena dilengkapi kapasitor *filter* pada kedua sisinya. Selain itu *cuk converter* dapat beroperasi sebagai penaik maupun penurunan tegangan sehingga variasi tegangan *output* yang dapat dihasilkan lebih banyak. Untuk penggunaan rangkaian kontrol dengan IC TL494 dipilih karena IC TL494 dapat mengatur frekuensi dan *duty cycle*. Selain itu perancangan dan pembuatannya pun lebih sederhana dibandingkan dengan mikroprosesor. MOSFET digunakan sebagai piranti pensaklaran, karena MOSFET sangat cocok bekerja pada *switching* frekuensi tinggi dan Basis drivernya adalah tegangan sehingga mudah dalam pembuatan rangkaian pemicuannya. Hasil dari penelitian mode kerja DCM dan CCM diharapkan dapat digunakan sebagai tolak ukur dalam pembuatan dc-dc konverter agar sesuai dengan kebutuhan.

Tujuan dari penelitian Tugas Akhir ini antara lain membuat modul DC chopper tipe *cuk* dengan mode operasi CCM dan DCM dengan kontrol IC TL494, mengetahui perbedaan gelombang arus yang dihasilkan pada operasi mode CCM dan DCM, mengetahui pengaruh jenis beban terhadap arus keluaran, tegangan keluaran dan efisiensi DC Chopper tipe *Cuk*.

2. Metode

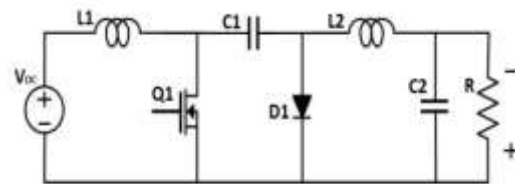
Modul DC chopper tipe *cuk* pada tugas akhir ini terdiri dari beberapa blok yang memiliki fungsi masing – masing pada modul. Blok yang dibuat pada modul DC chopper tipe *cuk* tersebut adalah blok rangkaian daya, blok rangkaian kontrol, blok *Cuk Converter* dan blok beban. Gambar 1 adalah diagram blok perancangan perangkat keras:



Gambar 1 Blok diagram perancangan alat

2.1 Cuk Converter

DC Chopper yang digunakan pada tugas akhir ini adalah DC Chopper tipe *cuk* yang mempunyai karakteristik nilai tegangan keluaran lebih besar atau lebih kecil dari nilai tegangan masukan. *Cuk converter* terdiri dari beberapa komponen penyusun yaitu kapasitor, induktor, MOSFET dan dioda yang tersusun seperti pada Gambar 2.



Gambar 2 Skema DC chopper tipe *cuk*

Komponen penyusun perlu dihitung nilai minimalnya agar *cuk converter* dapat bekerja sesuai yang diinginkan. Penentuan spesifikasi awal juga dilakukan berdasarkan ketersediaan komponen yang mudah didapat dan kemampuan komponen berdasarkan datasheet. Spesifikasi *Cuk Converter* yang akan dibuat adalah sebagai berikut :

- Tegangan masukan : 24 Vdc
- Frekuensi *Switching* : 15 kHz

- C_1
Kapasitor C_1 merupakan media untuk memindahkan daya ke beban. Nilai C_1 minimal:

$$C_{1\min} > \frac{D^2.Ts}{2.R} \quad (1)$$

$$C_{1\min} > \frac{0,9^2.6,7.10^{-5}}{2.40}$$

$$C_{1\min} > 0,678\mu F$$

- C_2
Kapasitor C_2 berfungsi sebagai penekan riak tegangan pada sisi *output* DC *chopper* tipe cuk.

$$\Delta VC_2 = \frac{D.Vs}{8.C2.L2.f^2} \quad (2)$$

$$0,02 = \frac{0,9.24}{8.C2.40.10^{-3}.15000^2}$$

$$C_2 = 15\mu F$$

Namun untuk mengurangi noise, nilai kapasitansi kapasitor yang dipasang diperbesar menjadi $C_1 = 330\mu F/420V$ dan $C_2 = 940/450V$.

- L_1 dan L_2
Nilai L_1 dan L_2 merupakan penentu apakah DC *chopper* tersebut beroperasi pada mode CCM atau DCM. Batas minimum untuk mode operasi CCM adalah:

$$L_{1\min} = \frac{(1-D)^2.R}{2.D.f} \quad (3)$$

$$L_{1\min} = \frac{(1-0,3)^2.40}{2.0,3.15000} = 2,17mH$$

$$L_{2\min} = \frac{(1-D).R}{2.f} \quad (4)$$

$$L_{2\min} = \frac{(1-0,3).40}{2.15000} = 0,93mH$$

Jadi, dari perhitungan batas minimum $L_{1\min}$ dan $L_{2\min}$ di atas, maka nilai masing – masing induktor yang digunakan adalah^[9]

a. Mode CCM

$$L_1 > L_{1\min} \text{ dan } L_2 > L_{2\min}$$

Maka $L_1 = 60 \text{ mH}$ dan $L_2 = 40 \text{ mH}$

b. Mode DCM

$$L_1 < L_{1\min} \text{ dan } L_2 < L_{2\min}$$

Maka $L_1 = 1,6 \text{ mH}$ dan $L_2 = 0,7 \text{ mH}$

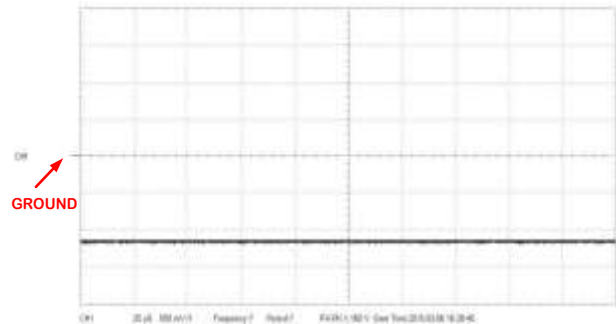
3. Hasil dan Analisa

3.1 Pengujian Rangkaian *Cuk Converter*

Pengujian *Cuk Converter* meliputi pengujian tegangan keluaran, pengujian variasi jenis beban, perhitungan efisiensi, dan pengujian gelombang arus.

3.1.1 Pengujian Tegangan Keluaran

Gambar 3 merupakan hasil pengujian tegangan keluaran *Cuk Converter* pada *duty cycle* 30 %:



Gambar 3 Tegangan keluaran *Cuk Converter*

Dari Gambar 3 diatas, dapat diketahui bahwa tegangan keluaran sebesar 1,2 div., sehingga nilainya dapat dihitung :

$$V_{out} = 2,2 \text{ div} \times 0,5 \text{ V/div} \times 10 = -11 \text{ V}$$

Pada Tabel 1 berikut dapat dilihat hasil pengukuran tegangan keluaran *Cuk Converter*

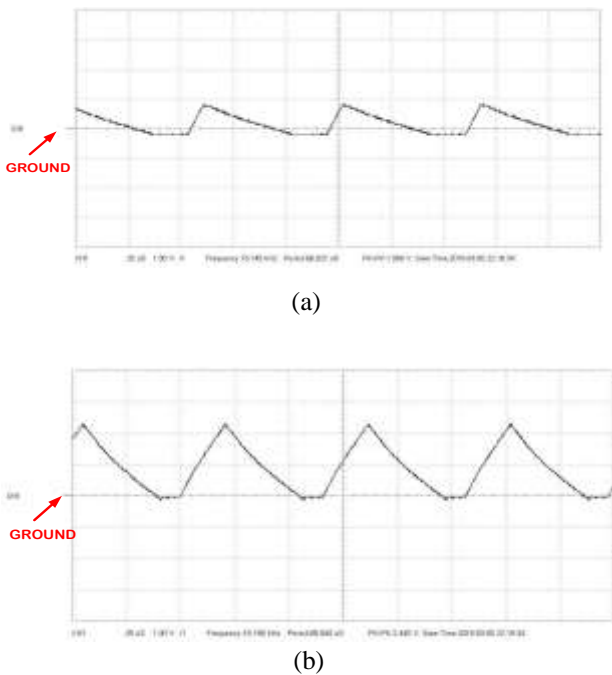
Tabel 1 Pengujian tegangan keluaran rangkaian *cuk converter*

No	Duty Cycle (%)	V_{in} (V)	V_o ukur (V)	V_o hitung (V)
1	10	23,50	-2,93	-2,61
2	20	23,48	-6,25	-5,87
3	30	23,46	-10,7	-10,05
4	40	23,43	-16,8	-15,62
5	50	23,40	-25,21	-23,40
6	60	23,32	-37,73	-34,98

3.1.2 Pengujian Mode Operasai CCM dan DCM

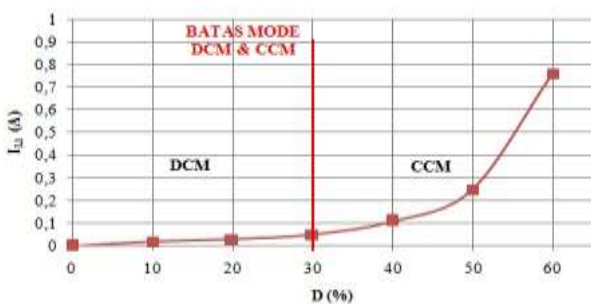
3.1.2.1 Mode DCM

Pengujian mode DCM menggunakan induktor mode DCM yang mempunyai nilai induktansi $L_1 = 1,6 \text{ mH}$ dan $L_2 = 0,7 \text{ mH}$. Variasi *duty cycle* yang dipilih pada pengujian ini adalah 10 % dan 30 %. Berikut adalah gambar rangkaian pengujian gelombang arus induktor mode DCM dan gambar gelombang arus L_1 pada *cuk converter*



Gambar 4 Gelombang arus L_1 cuk converter Mode DCM
 (a) Duty cycle 10%
 (b) Duty cycle 30%

Berdasarkan Gambar 4(a) terlihat bahwa arus mencapai bahkan melewati titik nol atau *ground* pada saat *duty cycle* 10 %, dan pada Gambar 4(b) terlihat pada saat *duty cycle* 30% terlihat bahwa arus mulai naik sejajar dengan titik nol atau *ground*. Semakin *duty cycle* dinaikkan maka arus akan semakin naik melewati titik nol atau *ground*. Dengan demikian maka *cuk converter* sudah bekerja pada mode DCM mulai dari *duty cycle* 10%, dan akan beralih menjadi mode CCM pada saat *duty cycle* dinaikkan menjadi 31%.

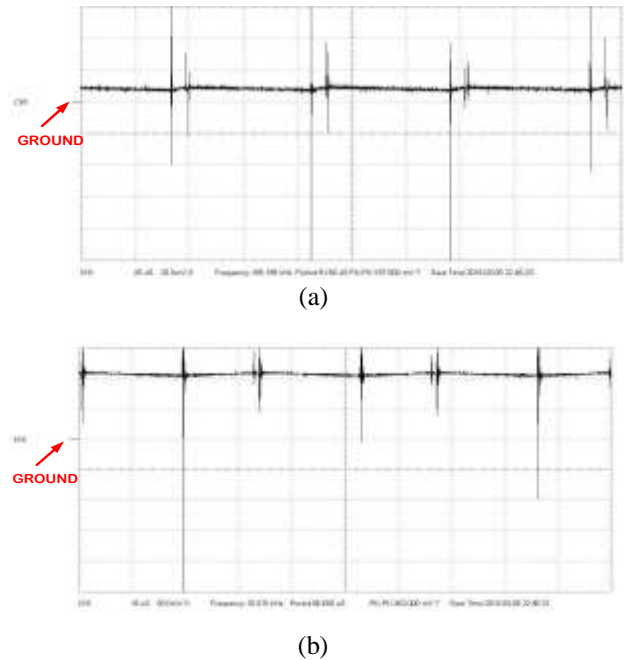


Gambar 5 Batas mode DCM dan CCM untuk $L_1 = 1,6$ mH dan $L_2 = 0,7$ mH

3.1.2.2 Mode CCM

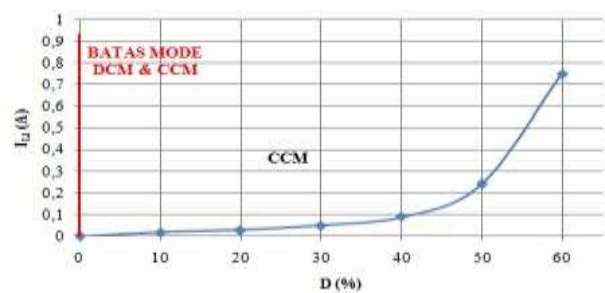
Pengujian mode CCM menggunakan induktor mode CCM yang mempunyai nilai induktansi $L_1 = 60$ mH dan $L_2 = 40$ mH. Variasi *duty cycle* yang dipilih pada pengujian ini adalah 10 % dan 40 %. Berikut adalah

gambar rangkaian pengujian gelombang arus induktor mode CCM dan gambar gelombang arus L_1 pada *cuk converter*



Gambar 6 Gelombang arus L_1 cuk converter Mode CCM
 (a) Duty cycle 10%
 (b) Duty cycle 40%

Berdasarkan Gambar 6 terlihat bahwa arus tidak mencapai titik nol atau *ground* pada saat *duty cycle* 10 % dan 40 %.. Semakin *duty cycle* dinaikkan maka arus akan semakin naik meninggalkan titik nol atau *ground*. Dengan demikian maka *cuk converter* sudah bekerja pada mode CCM mulai dari *duty cycle* 10%.



Gambar 7 Batas mode DCM dan CCM untuk $L_1 = 60$ mH dan $L_2 = 40$ mH

3.1.3 Pengujian *Cuk Converter* dengan Variasi Jenis Beban

3.1.3.1 Pengujian *Cuk Converter* Beban Resistif

Pengujian mode DCM menggunakan induktor mode DCM yang mempunyai nilai induktansi $L_1 = 1,6$ mH dan $L_2 = 0,7$ mH. Pengujian mode CCM menggunakan induktor mode CCM yang mempunyai nilai induktansi L_1

= 60 mH dan $L_2 = 40$ mH. Jenis beban resistif yang digunakan pada pengujian ini adalah beban resistif murni yang mempunyai nilai resistansi sebesar 40Ω . Variasi nilai *duty cycle* yang digunakan pada pengujian ini adalah sebesar 10 %, 20 %, 30 %, 40 %, 50 % dan 60 %.

Tabel 2 Data pengukuran beban resistif mode DCM

Duty cycle	V_{in} (V)	I_{in} (A)	V_{out} (V)		I_{out} (A)	
			DCM	CCM	DCM	CCM
10%	23,50	0,02	2,7	-	0,05	-
20%	23,48	0,03	6,27	-	0,08	-
30%	23,45	0,05	10,52	-	0,1	-
40%	23,42	0,11	-	16,43	-	0,12
50%	23,40	0,25	-	25,21	-	0,18
60%	23,30	0,76	-	37,37	-	0,2

Tabel 3 Data pengukuran beban resistif mode CCM

Duty cycle	V_{in} (V)	I_{in} (A)	V_{out} (V)		I_{out} (A)	
			DCM	CCM	DCM	CCM
10%	23,50	0,02	-	2,93	-	0,05
20%	23,48	0,03	-	6,45	-	0,08
30%	23,45	0,05	-	10,7	-	0,1
40%	23,43	0,1	-	16,67	-	0,13
50%	23,40	0,24	-	25,28	-	0,18
60%	23,30	0,75	-	37,73	-	0,21

Dari Tabel 2 dan 3 terlihat bahwa pada saat *cuk converter* beban resistif mode DCM dan CCM, tegangan keluaran dan arus keluaran *cuk converter* akan naik seiring naiknya *duty cycle*.

Tabel 4 Data perbandingan pengukuran *cuk converter* beba resistif saat mode DCM dan CCM

Duty cycle	V_{in} (V)		I_{in} (A)		V_{out} (V)		I_{out} (A)	
	DCM	CCM	DCM	CCM	DCM	CCM	DCM	CCM
10%	23,50	23,50	0,02	0,02	2,7	2,93	0,05	0,05
20%	23,48	23,48	0,03	0,03	6,27	6,45	0,08	0,08
30%	23,45	23,45	0,05	0,05	10,52	10,7	0,1	0,1

Dari Tabel 4 terlihat bahwa dari hasil perbandingan pengujian 2 mode kerja (CCM dan DCM) *cuk converter* diatas, tidak ada perbedaan yang signifikan antara hasil pengukuran kinerja rangkaian *cuk converter* pada mode CCM dan DCM saat dibebani beban resistif. Pada saat *cuk converter* bekerja pada masing-masing mode, tegangan keluaran dan arus keluaran akan semakin naik, seiring naiknya *duty cycle*.

3.1.3.2 Pengujian Cuk Converter Beban Induktif

Pengujian mode DCM menggunakan induktor mode DCM yang mempunyai nilai induktansi $L_1 = 1,6$ mH dan $L_2 = 0,7$ mH. Pengujian mode CCM menggunakan induktor mode CCM yang mempunyai nilai induktansi L_1

= 60 mH dan $L_2 = 40$ mH. Jenis beban induktif yang digunakan pada pengujian ini beupa motor DC magnet permanen yang mempunyai nilai induktansi sebesar 12,61 mH. Variasi nilai *duty cycle* yang digunakan pada pengujian ini adalah sebesar 10 %, 20 %, 30 %, 40 %, 50 % dan 60 %.

Tabel 5 Data pengukuran beban induktif mode DCM

Duty cycle	V_{in} (V)	I_{in} (A)	V_{out} (V)		I_{out} (A)	
			DCM	CCM	DCM	CCM
10%	23,48	0,02	2,67	-	0,17	-
20%	23,45	0,07	6,18	-	0,19	-
30%	23,43	0,12	10,38	-	0,2	-
40%	23,41	0,19	-	16,12	-	0,22
50%	23,37	0,36	-	24,29	-	0,24
60%	23,28	0,86	-	35,81	-	0,25

Tabel 6 Data pengukuran beban induktif mode CCM

Duty cycle	V_{in} (V)	I_{in} (A)	V_{out} (V)		I_{out} (A)	
			DCM	CCM	DCM	CCM
10%	23,48	0,02	-	2,73	-	0,17
20%	23,45	0,05	-	6,21	-	0,18
30%	23,43	0,1	-	10,55	-	0,21
40%	23,41	0,17	-	16,2	-	0,23
50%	23,37	0,36	-	25,21	-	0,24
60%	23,28	0,85	-	36,09	-	0,25

Dari Tabel 5 dan 6 terlihat bahwa pada saat *cuk converter* beban induktif mode DCM dan CCM, tegangan keluaran dan arus keluaran *cuk converter* akan naik seiring naiknya *duty cycle*.

Tabel 7 Data perbandingan pengukuran *cuk converter* beban induktif saat mode DCM dan CCM

Duty cycle	V_{in} (V)		I_{in} (A)		V_{out} (V)		I_{out} (A)	
	DCM	CCM	DCM	CCM	DCM	CCM	DCM	CCM
10%	23,4	23,4	0,02	0,02	2,67	2,73	0,17	0,17
20%	23,4	23,4	0,07	0,05	6,18	6,21	0,19	0,18
30%	23,4	23,4	0,12	0,1	10,3	10,5	0,2	0,21

Dari Tabel 7 terlihat bahwa dari hasil perbandingan pengujian 2 mode kerja (CCM dan DCM) *cuk converter* diatas, tidak ada perbedaan yang signifikan antara hasil pengukuran kinerja rangkaian *cuk converter* pada mode CCM dan DCM saat dibebani beban induktif. Pada saat *cuk converter* bekerja pada masing-masing mode, tegangan keluaran dan arus keluaran akan semakin naik, seiring naiknya *duty cycle*.

3.1.4 Perhitungan Efisiensi Cuk Converter

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (5)$$

Dimana:

$$P_{in} = V_{in} \times I_{in}$$

$$P_{out} = V_{out} \times I_{out}$$

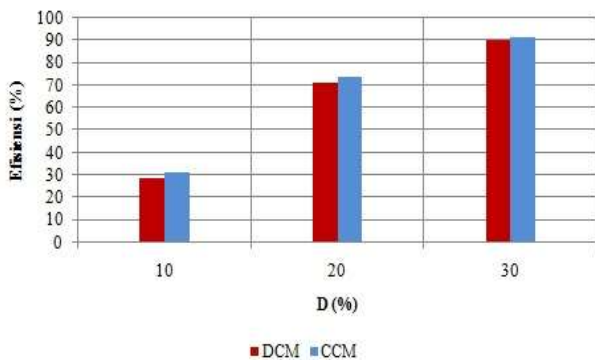
3.1.4.1 Perbandingan Efisiensi Cuk Converter Mode DCM dan CCM pada Beban Resistif

Dengan menggunakan data perbandingan kinerja *cuk converter* beban resistif saat mode DCM dan CCM, daya dan efisiensi *cuk converter* dapat dihitung dengan cara perhitungan yang sama menggunakan perhitungan efisiensi

Tabel 8 Data perbandingan perhitungan daya dan efisiensi *cuk converter* beban resistif mode DCM dan CCM

Duty cycle	Beban Resistif					
	P _{in} (W)		P _{out} (W)		Efisiensi (%)	
	DCM	CCM	DCM	CCM	DCM	CCM
10%	0,47	0,47	0,13	0,14	28,72	31,17
20%	0,70	0,70	0,50	0,51	71,20	73,25
30%	1,17	1,17	1,05	1,07	89,72	91,25

Dari Tabel 8 dapat disajikan grafik perbandingan *duty cycle* – efisiensi dalam Gambar 8



Gambar 8 Grafik perbandingan *duty cycle* – efisiensi *cuk converter* beban resistif mode DCM dan CCM

Gambar 8 menunjukkan bahwa seiring naiknya nilai *duty cycle*, maka nilai efisiensi *cuk converter* pun akan semakin naik pada saat mode DCM maupun CCM. Hal ini ditandai dengan garis grafik efisiensi yang selalu naik dan hampir berimpit pada semua variasi nilai *duty cycle* setiap mode.

Efisiensi tertinggi yang dihasilkan *cuk converter* beban resistif saat mode DCM dan CCM terjadi pada saat nilai *duty cycle* sebesar 30%, nilai efisiensi yang dihasilkan pada mode DCM sebesar 89,72281 %, sedangkan nilai efisiensi yang dihasilkan pada mode CCM sebesar 91,258 %. Dari hasil perbandingan dapat diketahui bahwa nilai efisiensi *cuk converter* beban resistif saat mode CCM memiliki nilai efisiensi lebih tinggi daripada saat mode DCM. Hal ini menunjukkan bahwa mode CCM lebih unggul dibandingkan mode DCM jika ditinjau dari nilai efisiensi yang dihasilkan.

Nilai efisiensi mode DCM yang lebih rendah dibandingkan dengan nilai efisiensi mode CCM

disebabkan oleh nilai induktansi induktor L₂ mode DCM yang lebih kecil dibandingkan mode CCM, sehingga daya yang dapat disimpan dan disuplai ke beban saat mode DCM lebih kecil dibandingkan saat mode CCM.^[9]

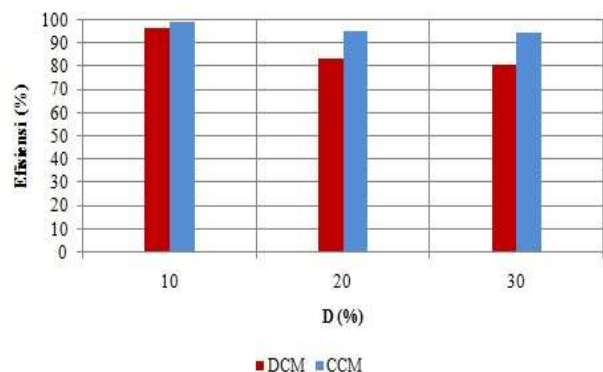
3.1.4.2 Perbandingan Efisiensi Cuk Converter Mode DCM dan CCM pada Beban Induktif

Dengan menggunakan data perbandingan kinerja *cuk converter* beban induktif saat mode DCM dan CCM, daya dan efisiensi *cuk converter* dapat dihitung dengan cara perhitungan yang sama menggunakan perhitungan efisiensi

Tabel 9 Data perbandingan perhitungan daya dan efisiensi *cuk converter* beban induktif mode DCM dan CCM

Duty cycle	Beban Induktif					
	P _{in} (W)		P _{out} (W)		Efisiensi (%)	
	DCM	CCM	DCM	CCM	DCM	CCM
10%	0,46	0,46	0,45	0,46	96,65	98,82
20%	1,40	1,17	1,17	1,11	83,45	95,33
30%	2,57	2,34	2,07	2,21	80,54	94,55

Dari Tabel 9 dapat disajikan grafik perbandingan *duty cycle* – efisiensi dalam Gambar 9



Gambar 9 Grafik perbandingan *duty cycle* – efisiensi *cuk converter* beban induktif mode DCM dan CCM

Gambar 9 menunjukkan bahwa seiring naiknya nilai *duty cycle*, maka nilai efisiensi *cuk converter* akan semakin turun pada saat mode DCM dan CCM. Hal ini ditandai dengan garis grafik efisiensi yang selalu turun dan hampir berimpit pada semua variasi nilai *duty cycle* setiap mode.

Efisiensi tertinggi yang dihasilkan *cuk converter* beban induktif saat mode CCM dan DCM terjadi pada saat nilai *duty cycle* sebesar 10%, nilai efisiensi yang dihasilkan pada mode DCM sebesar 96,65673 %, sedangkan nilai efisiensi yang dihasilkan pada mode CCM sebesar 98,82879 %. Dari hasil perbandingan dapat diketahui bahwa nilai efisiensi *cuk converter* beban induktif saat mode CCM memiliki nilai efisiensi lebih tinggi daripada saat mode DCM. Hal ini menunjukkan bahwa mode

CCM lebih unggul dibandingkan mode DCM jika ditinjau dari nilai efisiensi yang dihasilkan.

Nilai efisiensi mode DCM yang lebih rendah dibandingkan dengan nilai efisiensi mode CCM disebabkan oleh nilai induktansi induktor L_2 mode DCM yang lebih kecil dibandingkan mode CCM, sehingga daya yang dapat disimpan dan disuplai ke beban saat mode DCM lebih kecil dibandingkan saat mode CCM.

Nilai efisiensi yang berbanding terbalik dengan nilai *duty cycle* disebabkan oleh perbandingan perubahan arus masukan dan keluaran yang tidak berbanding lurus. Arus masukan *cuk converter* beban induktif melonjak tinggi saat *duty cycle* dinaikkan, sedangkan arus keluaran cenderung stabil. Hal ini yang menyebabkan efisiensi semakin turun apabila *duty cycle* dinaikkan.

Arus masukan *cuk converter* saat beban induktif yang melonjak tinggi dibandingkan saat *cuk converter* beban resistif disebabkan karena nilai arus yang dibutuhkan *cuk converter* untuk menggerakkan motor lebih besar dibandingkan jenis beban resistif diujikan.

Arus keluaran *cuk converter* saat beban induksi lebih besar dibandingkan saat beban resistif disebabkan oleh nilai resistansi yang kecil dan nilai induktansi yang cukup besar pada beban induktif yang diperoleh dari induktansi seri antara L_2 dan induktansi beban. Nilai induktansi yang lebih besar memungkinkan penyimpanan energi yang lebih besar sehingga suplai daya beban juga semakin besar.^[9]

4. Kesimpulan

Berdasarkan pada perancangan, pengujian dan analisa yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. *Cuk converter* telah berhasil dibuat dan dapat menghasilkan tegangan keluaran lebih besar atau lebih kecil dari tegangan masukan dengan mengatur besar lebar pulsa (*duty cycle*) dari rangkaian kontrol PWM (*Pulse Width Modulation*).
2. Perbedaan mode operasi CCM dan DCM pada *cuk converter* yang diuji terletak pada nilai induktansi induktor yang digunakan. Batas nilai induktansi mode operasi CCM dan DCM pada modul adalah $L_1 = 2,17$ mH dan $L_2 = 0,93$ mH. Pada mode operasi CCM digunakan induktor dengan nilai induktansi $L_1 = 60$ mH dan $L_2 = 40$ mH. Pada mode operasi DCM digunakan induktor dengan nilai induktansi $L_1 = 1,6$ mH dan $L_2 = 0,7$ mH.
3. Pada pengujian arus induktor mode CCM, *cuk converter* bekerja pada mode CCM pada *duty cycle* 1 % - 60 %.
4. Pada pengujian arus induktor mode DCM, *cuk converter* bekerja pada mode DCM saat *duty cycle* 1

% - 30 % dan akan beralih menjadi mode CCM pada saat *duty cycle* 31 % - 60 %.

5. Tegangan keluaran dan arus keluaran *cuk converter* saat mode CCM dan DCM beban resistif cenderung sama. Pada perbandingan pengujian *cuk converter* mode CCM dan DCM beban resistif, ketika *duty cycle* maksimal 30 %, mode DCM menghasilkan tegangan keluaran dan arus keluaran sebesar 10,52 V dan 0,1 A, sedangkan pada mode CCM menghasilkan tegangan keluaran dan arus keluaran sebesar 10,7 V dan 0,1 A.
6. Tegangan keluaran dan arus keluaran *cuk converter* saat mode CCM dan DCM beban induktif cenderung sama. Pada perbandingan pengujian *cuk converter* mode CCM dan DCM beban induktif, ketika *duty cycle* maksimal 30 %, mode DCM menghasilkan tegangan keluaran dan arus keluaran sebesar 10,38 V dan 0,2 A, sedangkan pada mode CCM menghasilkan tegangan keluaran dan arus keluaran sebesar 10,55 A dan 0,21 A.
7. Efisiensi tertinggi yang dihasilkan *cuk converter* beban resistif saat mode DCM sebesar 89,72281 %, sedangkan saat mode CCM sebesar 91,258 %. Hal ini menunjukkan bahwa mode CCM lebih baik dibandingkan mode DCM jika ditinjau dari nilai efisiensi yang dihasilkan.
8. Efisiensi tertinggi yang dihasilkan *cuk converter* beban induktif saat mode DCM sebesar 96,65673 %, sedangkan saat mode CCM sebesar 98,82879 %. Hal ini menunjukkan bahwa mode CCM lebih baik dibandingkan mode DCM jika ditinjau dari nilai efisiensi yang dihasilkan.

Referensi

- [1]. Hart, Daniel W. 2010. *Switching Power Supply Design*. New York : McGraw-Hill
- [2]. Tuegeh, Maickel, Kendali Pensaklaran Freewheel untuk Pensaklaran Konverter PCCM, Manado, Universitas Sam Ratulangi.
- [3]. Ervan Kurniawan, Dody, Analisa Power Induktor Bentuk E dengan Kawat Enamel pada Boost Converter, Depok, Universitas Indonesia.
- [4]. Rashid, M, *Power Electronics Circuit, Device, and Application 3rd*, Prentice-Hall International Inc, 2011.
- [5]. Logitra Purba, Irfan, Perancangan Pembangkit Tegangan Tinggi Impuls untuk Mengurangi Jumlah Bakteri pada Susu Perah, Semarang, Universitas Diponegoro.
- [6]. Ahmed Darwish, Derrick Holliday, Shehab Ahmed, Ahmed M. Massoud, Barry W. Williams. *A Single-Stage Three-Phase Inverter Based on Cuk Converters for PV Applications*. IEEE. 2014.
- [7]. Sanjeev Singh, Bhim Singh. *A Voltage-Controlled PFC Cuk Converter-Based PMBLDCM Drive for Air-Conditioners*. IEEE. 2012.
- [8]. Ahmed Darwish, Derrick Holliday, Shehab Ahmed, Ahmed M. Massoud, Barry W. Williams. *A Single-Stage Three-Phase Inverter Based on Cuk Converters for PV Applications*. IEEE. 2014.

- [9]. Mahartoto Pratama, Gigih, Analisis Perbandingan Hasil Operasi CCM dan DCM pada DC Chopper Tipe Cuk, Semarang, 2014.
- [10]. Kusuma Wardana, Adam, Aplikasi Buckboost Converter Sebagai Penyedia Daya Arus Searah Pada Rangkaian Tegangan Tinggi Impuls, Semarang, 2014
- [11]. Mohamed Noor Azman Bin Bidin. *Voltage Tracking Of A DC-DC Cuk, Converter Using Neural Network Control*. Malaysia, 2014.
- [12]. Simon Ang, Alejandro Oliva, *Power Switching Converter 2nd*, Taylor & Francis Group, 2005