

# ANALISIS PERBANDINGAN HASIL OPERASI CCM DAN DCM PADA DC CHOPPER TIPE CUK

Gigih Mahartoto P<sup>\*)</sup>, Agung Warsito, and Mochammad Facta

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

<sup>\*)</sup>E-mail : [gigih.m.pratama@gmail.com](mailto:gigih.m.pratama@gmail.com)

## Abstrak

Penelitian telah dilakukan untuk mengetahui pengaruh perbedaan topologi rangkaian atau pengaruh pembebanan DC chopper pada kestabilan tegangan output. Namun hal yang mempengaruhi kestabilan tegangan output DC chopper bukan hanya terletak pada topologi maupun pembebanan DC chopper itu sendiri, melainkan juga pada mode operasi yang digunakan. Pada pengoperasiannya ada 2 macam mode operasi yaitu Continuous Conduction Mode (CCM) dan Discontinuous Conduction Mode (DCM). Pada penelitian ini dibahas mengenai perbedaan respon modul DC chopper tipe cuk yang meliputi respon arus dan tegangan output serta efisiensi daya pada mode operasi CCM dan DCM. Berdasarkan pengujian modul DC chopper tipe cuk pada tugas akhir ini diketahui bahwa mode operasi CCM lebih unggul dari mode operasi DCM jika dilihat dari sisi output, galat tegangan output, galat arus output dan efisiensi daya. Galat tegangan terbesar terjadi pada mode operasi DCM dengan variasi beban resistif 200Ω dengan duty cycle sebesar 70% yaitu 116,61 Volt. Dengan variasi tegangan yang sama, riak arus terbesar juga terjadi pada mode operasi DCM yaitu sebesar 608 mA. Nilai efisiensi tertinggi ada pada pengujian mode operasi CCM pada variasi beban 60Ω dengan nilai duty cycle 70% yaitu 71,1%.

*Kata kunci : DC Chopper, cuk, CCM, DCM, PWM.*

## Abstract

Research are conducted to find out the influence of circuit topology and the influence of DC chopper loading to output voltage stability. The aspects affect DC chopper output stability is not merely the topology or loading, but it is also influenced by mode of operation. There are 2 types of operation mode, in example Continuous Conduction Mode (CCM) and Discontinuous Conduction Mode (DCM). This research presents the difference of cuk-type DC chopper module response which consists of current stability, output voltage and the level of power efficiency of CCM and DCM mode of operation. Based on the test result of cuk-type DC chopper module, it is found that CCM mode operation is superior than DCM mode of in case of voltage stability, output voltage error, and power efficiency. The largest voltage error occurred in DCM operation mode is 116.61 Volts with 200Ω resistive load variations and 70% of duty cycle. With the same variation of voltage, the highest ripple current also occurs in DCM mode of operation at 608 mA. The highest efficiency value is obtained by CCM mode at 71,1% with 60Ω load and 70% duty cycle.

*Keyword : DC chopper, cuk, CCM, DCM, PWM*

## 1. Pendahuluan

Dalam rangkaian elektronika daya kita biasa mengenal konverter DC-DC yang biasa disebut DC *chopper*. DC *chopper* biasa digunakan untuk menaikkan atau menurunkan tegangan DC yang selanjutnya digunakan untuk mencatu beban atau dirubah menjadi tegangan AC oleh inverter. Beberapa aplikasi listrik membutuhkan tegangan DC yang stabil. Kestabilan tegangan DC dipengaruhi oleh beberapa hal, diantaranya adalah mode operasi DC *chopper* tersebut. Ada 2 mode operasi DC

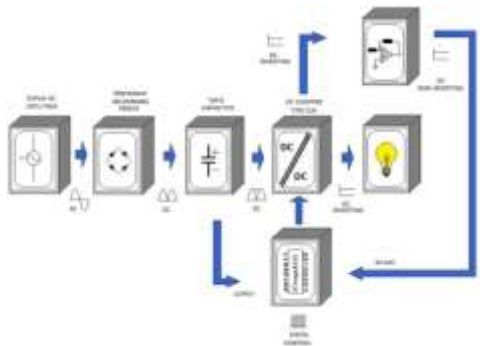
*chopper* yaitu CCM (*Continuous Conduction Mode*) dan DCM (*Discontinuous Conduction Mode*).

Tujuan dari penelitian Tugas Akhir ini antara lain adalah membuat modul DC *chopper* tipe cuk dengan mode operasi CCM dan DCM dengan kontrol *open loop* dan *closed loop*, mengetahui perbedaan mode operasi CCM dan DCM pada segi *hardware* maupun respon keluaran yang berupa nilai galat tegangan, riak arus dan tegangan *output* dan efisiensi daya pada modul DC *chopper* tipe cuk dan mengetahui perbedaan tingkat kestabilan

tegangan pada mode kontrol *open loop* dan *closed loop* terhadap perubahan nilai resistansi beban.

## 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 suplai daya, blok kontrol dan PWM generator, blok DC *chopper* dan blok penguat inverting. Perancangan dimulai dari perhitungan kebutuhan nilai komponen, simulasi dengan *software* PSIM 6.0 kemudian Pembuatan perangkat keras modul DC *chopper*. Gambar 1 adalah diagram blok perancangan perangkat keras:



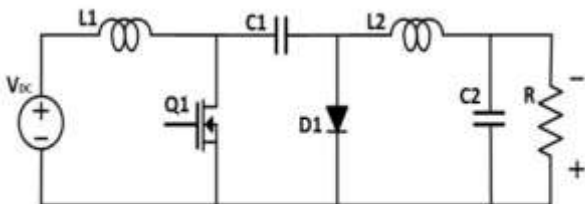
Gambar 1 Blok diagram perancangan alat

### 2.1 Perancangan Modul DC *chopper* Tipe Cuk

#### 2.1.1 Perancangan Spesifikasi Modul

Modul DC *chopper* pada tugas akhir ini dibuat untuk tujuan penelitian sehingga daya yang digunakan hanya dalam skala kecil. Tegangan sumber DC didapat dari penyearahan tegangan AC 24 Volt sehingga menjadi 34 Volt DC.

DC *chopper* tipe cuk 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 DC *chopper* dapat bekerja sesuai yang diinginkan. Perhitungan nilai  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $L_1$  dan  $L_2$ .

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

$$C_{1min} > \frac{0,9^2 \times 6,4 \times 10^{-5}}{2 \times 200}$$

$$C_{1min} > 12,9 \text{ nF}$$

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:

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

$$L_{1min} = \frac{(1-0,3)^2 \times 200}{2 \times 0,3 \times 15623} = 10,45 \text{ mH}$$

$$L_{2min} = \frac{(1-0,3) \times 200}{2 \times 15623} = 4,48 \text{ mH}$$

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

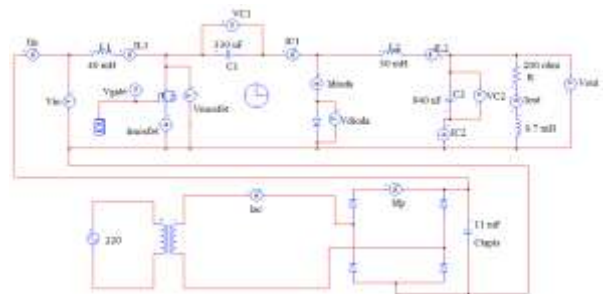
$$\Delta V_{c0} = \frac{D V_s}{8 C_2 L_2 f^2}$$

$$0,02 = \frac{1 \times 34}{8 \times C_2 \times 30 \times 10^{-3} \times 15623^2}$$

$$C_2 = 29,02 \text{ } \mu\text{F}$$

#### 2.1.2 Simulasi Rangkaian Modul DC *Chopper* tipe cuk

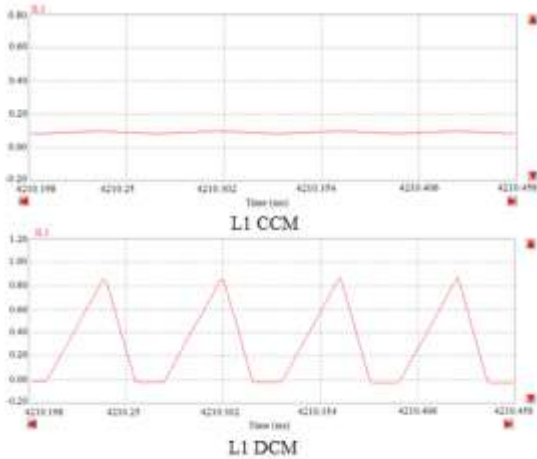
Untuk mengetahui karakteristik dan respon modul yang akan dibuat, maka dilakukan simulasi modul dengan menggunakan *software* PSIM 6.0. Skema rangkaian pada PSIM ditunjukkan pada Gambar 3.



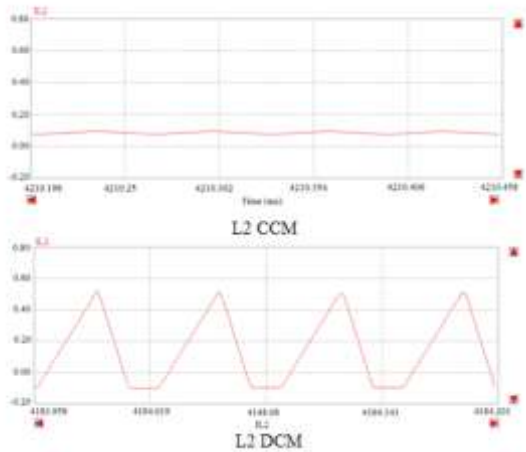
Gambar 3 Skema rangkaian DC *chopper* tipe cuk pada PSIM

Pada Gambar 3 terlihat bahwa nilai kapasitansi dan induktansi komponen penyusun DC *chopper* lebih tinggi dari perhitungan dalam perancangan awal yaitu  $L_1 = 40\text{mH}$  dan  $L_2 = 30\text{mH}$ , sehingga terlihat bahwa skema pada Gambar3 beroperasi pada mode CCM. Skema pada mode DCM hampir sama, yang membedakan adalah nilai induktansinya yaitu  $L_1 = 0,7\text{mH}$  dan  $L_2 = 1\text{mH}$ .

Pada mode CCM nilai induktansi  $L_1$  dan  $L_2$  dibuat jauh lebih besar dari nilai minimal agar pada beban yang kecil modul DC *chopper* yang dibuat tetap beroperasi pada mode operasi yang sama. Pada mode DCM nilai induktansi  $L_1$  dan  $L_2$  dibuat jauh lebih kecil dari batas minimal mode CCM sehingga perbedaan kedua mode operasi dapat terlihat dengan jelas.



Gambar 5 Arus induktor  $L_1$



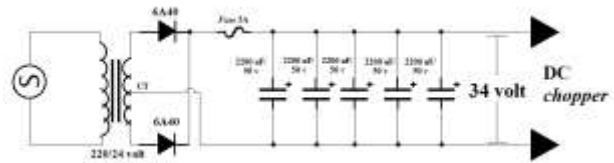
Gambar 6 Arus induktor  $L_2$

Gambar 5 dan Gambar 6 menunjukkan perbedaan mode CCM dan DCM yaitu arus  $L_1$  dan  $L_2$  pada simulasi PSIM. Pada mode CCM arus  $L_1$  dan  $L_2$  tidak pernah bernilai nol. Sedangkan pada mode DCM arus  $L_1$  dan  $L_2$  melewati nol.

### 2.1.3 Blok Suplai Daya

Sumber tegangan yang digunakan adalah tegangan AC 1 fasa yang berasal dari jala-jala PLN dengan tegangan 220 V<sub>AC</sub> dan frekuensi 50 Hz. Tegangan ini kemudian diturunkan menjadi 25 V<sub>AC</sub> dengan trafo CT penurun tegangan sebagai dan disearahkan dengan dioda menjadi

34 Volt DC, kemudian difilter dengan 5 buah kapasitor polar 2200 $\mu$ F/50V.

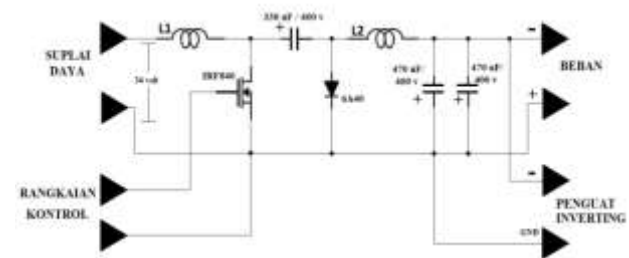


Gambar 7 Skema rangkaian blok suplai daya

Gambar 4.7 menunjukkan skema rangkaian blok suplai daya yang ditambah pengamanan berupa *fuse* 5 Ampere.

### 2.1.4 Blok DC Chopper

Blok ini merupakan inti dari modul tugas akhir yang berupa komponen – komponen penyusun DC *chopper* tipe cuk yang disusun secara terpisah dilengkapi dengan papan skema konverter. Skema DC *Chopper* ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8 Skema rangkaian blok DC *chopper*

Pada Gambar 8 terlihat bahwa DC *chopper* yang dibuat menggunakan MOSFET IRF840 sebagai komponen pensaklaran. MOSFET tipe ini dipakai karena tegangan yang digunakan adalah DC 34 Volt dengan kerja maksimal 5A, sedangkan spesifikasi MOSFET IRF840 adalah:

Tabel 1 Spesifikasi kerja MOSFET IRF840

Drain – source breakdown Voltage ( $V_{DS}$ )	500 V
Gate – source breakdown Voltage ( $V_{GS}$ )	$\pm 20$ V
Gate – threshold Voltage	2 – 4 V
Drain current ( $I_D$ )	8 A

Komponen penyusun DC *chopper* tipe cuk yang digunakan pada modul:

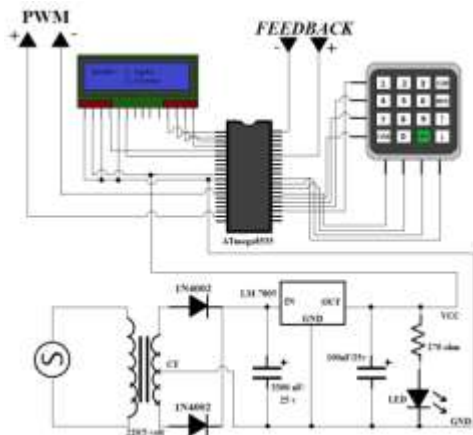
Tabel 2 Komponen penyusun blok DC *chopper*

C1	kapasitor polar 330 $\mu$ F/400 Volt
C2	kapasitor polar 940 $\mu$ F/400 Volt
L1	40 mH (CCM) dan 0,7 mH (DCM)
L2	30 mH (CCM) dan 1 mH (DCM)
MOSFET	IRFP 840
dioda	UF5404

### 3.3.3 Blok Kontrol dan PWM Generator

Blok kontrol dan PWM generator berfungsi sebagai pengontrol MOSFET pada blok DC chopper. AVR ATmega8535 dipilih sebagai penghasil PWM dan pengontrol modul pada mode *open loop* maupun *closed loop*. Pada blok ini digunakan LCD 16x2 dan keypad 4x4 sebagai *interface* untuk mengontrol AVR.

ATmega8535 memerlukan tegangan DC 5 Volt agar bisa bekerja dengan baik. Oleh sebab itu, blok kontrol dilengkapi dengan suplai daya 5 Volt. Skema lengkap blok ini ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 8 Skema blok kontrol dan PWM generator

Frekuensi PWM pemucuan didapatkan dari pengaturan parameter pada mikrokontroler dengan perhitungan:

$$f_{oc} = \frac{f_{osc}}{(N \times (1 + TOP))}$$

$$f_{oc} = \frac{4 \times 10^6}{(1 \times (1 + 255))} = \frac{4 \times 10^6}{256}$$

$$= 15623 \text{ Hz}$$

Dimana:

$f_{osc}$  : Frekuensi *clock* kristal yang digunakan

N : Skala *clock* (mempunyai nilai 1, 8, 64, 256 dan 1024)

TOP: nilai maksimum *counter* (TCNT1), TOP mempunyai 3 buah nilai untuk kedua mode yaitu 8 bit (255), 9 bit (511) dan 10 bit (1023)

Nilai *duty cycle* gelombang PWM diperoleh dari persamaan:

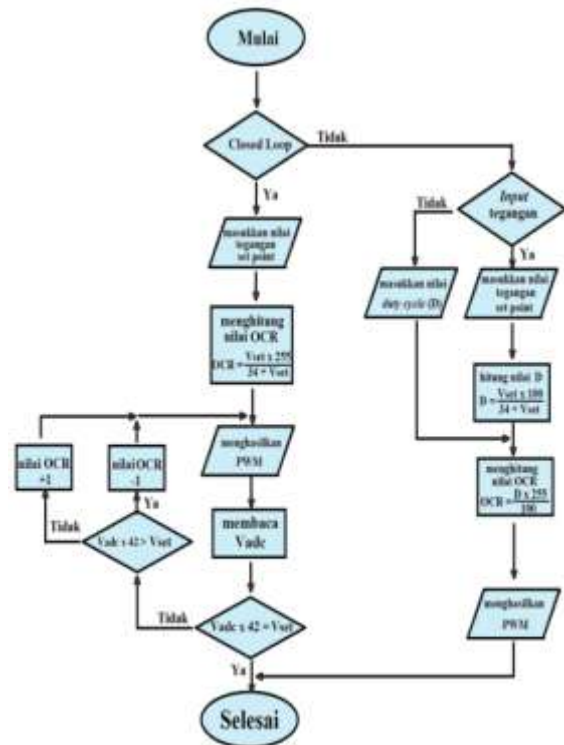
$$D = \frac{OCR}{TOP} \times 100\%$$

Dimana:

D : *duty cycle*

OCR : nilai bit yang diatur oleh AVR sesuai tegangan output yang diinginkan

Metode pengontrolan modul DC chopper tipe cuk ditunjukkan pada *flowchart* yang tertera pada Gambar 9.



Gambar 9 Flowchart pengontrolan modul

Mode *closed loop* memanfaatkan PIN ADC pada mikrokontroler sebagai penerima *feedback* berupa tegangan *output* DC chopper yang dibalik polaritasnya dan di skala 1/42 kali sehingga mampu diterima oleh PIN ADC.

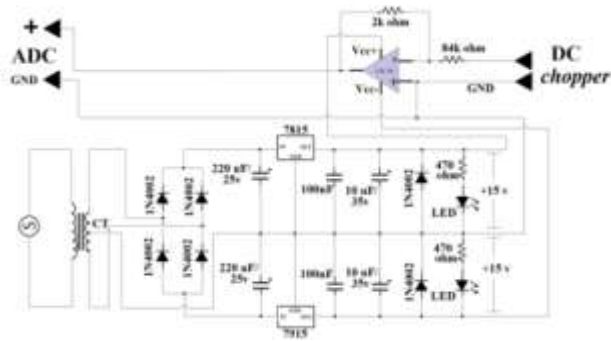
Pada modul DC chopper tipe cuk yang disusun dalam tugas akhir ini, mode *closed loop* digunakan sebagai sistem bantu untuk menjaga tegangan pada nilai tertentu sehingga riak arus dan tegangan *output* pada mode operasi CCM dan DCM dapat dibandingkan dalam level tegangan yang sama.

#### 2.1.5 Blok Penguat *Inverting*

Blok penguat *inverting* berfungsi untuk memperkecil tegangan *output* sekaligus membalik polaritasnya agar dapat diterima oleh PIN ADC pada AVR yang memiliki batas tegangan *input* 0 – 5 Volt.

Blok penguat *inverting* disusun dengan IC OP-AMP LM741. IC LM741 membutuhkan catu daya DC +15 Volt dan -15 Volt untuk dapat bekerja secara optimal. Oleh karena itu blok ini dilengkapi dengan suplai daya ±15 Volt yang disusun dengan IC penstabil tegangan 7815 sebagai regulator tegangan positif dan 7915 sebagai regulator tegangan negatif.

Skema rangkaian blok penguat *inverting* terlihat pada Gambar 10.



Gambar 10 Skema rangkaian blok penguat inverting

Perhitungan penguatan blok ini ditunjukkan pada persamaan sebagai berikut:

$$V_{out} = -V_{in} \times \frac{R_f}{R_{in}}$$

$$V_{out} = -V_{in} \times \frac{2}{84}$$

$$V_{out} = -V_{in} \times \frac{1}{42}$$

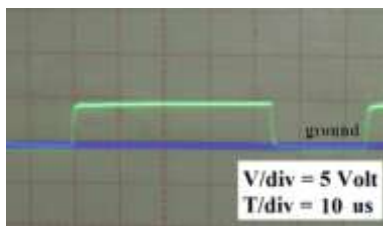
dimana:

- $V_{out}$  : tegangan keluaran penguat
- $V_{in}$  : tegangan masukan penguat
- $R_f$  : resistansi *feedback*
- $R_{in}$  : resistansi pada sisi input

### 3. Hasil dan Analisa

#### 3.1 Gelombang Output Rangkaian Kontrol

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan osiloskop digital KENWOOD CS - 4125. Gambar dibawah ini adalah gelombang keluaran dari rangkaian kontrol pemucuan yang diukur pada sisi *output* blok kontrol.



Gambar 12 Gelombang keluaran rangkaian kontrol pemucuan

Dari gelombang keluaran tersebut dapat dihitung frekuensi dan tegangan sebagai berikut :

$$T = 6,4 \times 10^{15} / \text{div}$$

$$T = 64 \mu$$

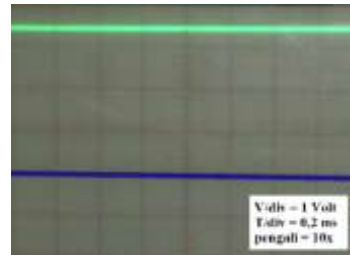
$$f = \frac{1}{T}$$

$$f = \frac{1}{64 \times 10^{-6}}$$

$$f = 15625 \text{ Hz}$$

#### 3.2 Bentuk Gelombang Blok DC Chopper

Bentuk gelombang Blok DC *chopper* diukur pada titik *input* dan *output* DC *chopper*. Gambar 13 dan 14 adalah hasil pengamatan gelombang tegangan *input* dan *output* blok DC *chopper*.

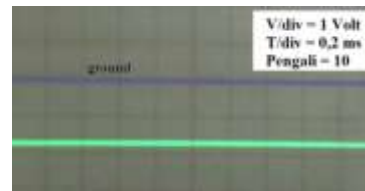


Gambar 13 Gelombang tegangan *input* DC *chopper*

Gambar 13 menunjukkan bahwa nilai tegangan *input* DC *chopper* bernilai:

$$v_{DC} = 3,4 \times 1 \text{ volt/div} \times 10$$

$$v_{DC} = 34 \text{ volt}$$



Gambar 14 Gelombang tegangan *output* DC *chopper*

Gambar 14 merupakan gambar gelombang tegangan *output* DC *chopper* pada mode operasi CCM dengan nilai *duty cycle* 30%. Garis tegangan berada di bawah garis *ground* yang berarti nilai tegangan *output* DC *chopper* bernilai negatif. Perhitungan tegangan pada Gambar 14:

$$v_{DC} = -1,45 \times 1 \text{ volt/div} \times 10$$

$$v_{DC} = -14,5 \text{ volt}$$

#### 3.3 Pengujian Blok Penguat *Inverting*

Hasil pengukuran tegangan *input* dan *output* blok penguat *inverting* ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 3 Hasil pengujian blok penguat *inverting*

$V_{in}$ (Volt)	$V_{out}$ (Volt)	
	Pengukuran	Perhitungan
-14,53	0,344	0,346
-22,54	0,534	0,537
-33,12	0,789	0,789
-49,30	1,178	1,174
-73,90	1,737	1,760

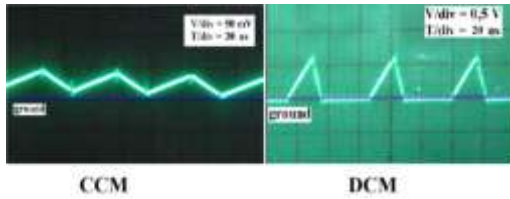
Dari tabel di atas terlihat bahwa nilai tegangan *output* terukur hanya terpaut sedikit dengan hasil



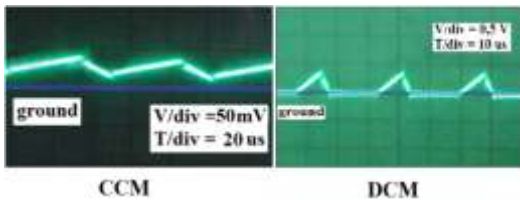
perhitungan. Hal ini menunjukkan bahwa blok tersebut sesuai dengan yang diinginkan pada perancangan awal.

### 3.4 Pengujian Arus $L_1$ dan $L_2$

Bentuk gelombang  $L_1$  dan  $L_2$  mode operasi CCM dan DCM pada nilai *duty cycle* sebesar 30% ditunjukkan pada Gambar 14 dan Gambar 15.



Gambar 14 Gelombang arus  $L_1$

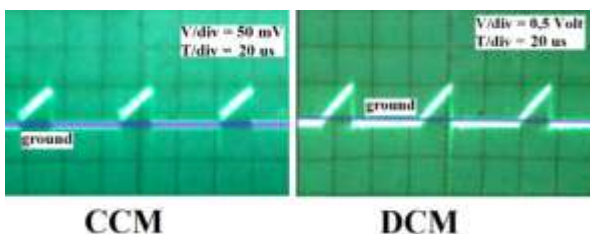


Gambar 15 Gelombang arus  $L_2$

Pada nilai *duty cycle* di atas atau di bawah 50% mode CCM tetap memiliki nilai arus yang tidak pernah menyentuh garis  $y = 0$ . Pada mode DCM juga terjadi hal yang sama sehingga modul DC *chopper* pada tugas akhir ini telah sesuai dengan yang diinginkan sehingga dapat beroperasi pada mode CCM dan DCM pada semua nilai *duty cycle*.

### 3.5 Pengujian Arus MOSFET

Hasil pengamatan bentuk gelombang arus yang melewati MOSFET pada variasi nilai *duty cycle* 30% ditunjukkan pada Gambar 16.



Gambar 16 Grafik arus MOSFET

Gambar 16 menunjukkan bahwa arus MOSFET maksimal pada mode DCM lebih tinggi dibandingkan pada mode operasi CCM. Karena MOSFET memiliki hambatan dalam, maka akibat adanya arus yang mengalir

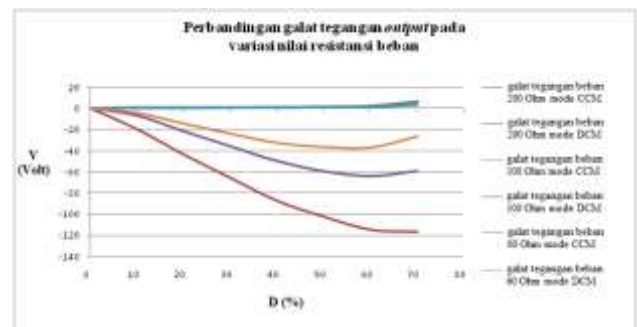
menyebabkan rugi panas. Hal ini menyebabkan rugi – rugi panas pada mode operasi DCM lebih besar sehingga pada saat beroperasi, suhu MOSFET akan lebih panas. Oleh karena itu *life time* MOSFET pada mode operasi CCM lebih panjang dari DCM.

### 3.6 Pengujian Galat Tegangan Output

Nilai *galat* tegangan *output* pada modul DC *chopper* dalam tugas akhir ini dihitung dengan persamaan:

$$V_{galat} = V_{hitung} - V_{ukur}$$

Pengujian dilakukan dengan 3 macam variasi yaitu variasi *duty cycle*, resistansi beban dan jenis beban.

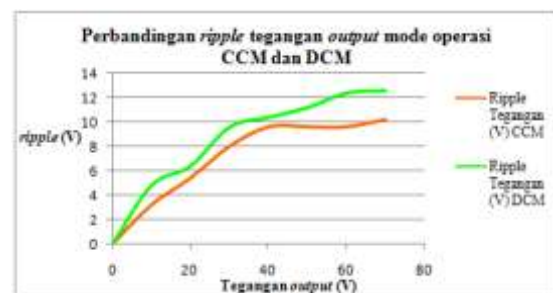


Gambar 17 Grafik perbandingan galat tegangan

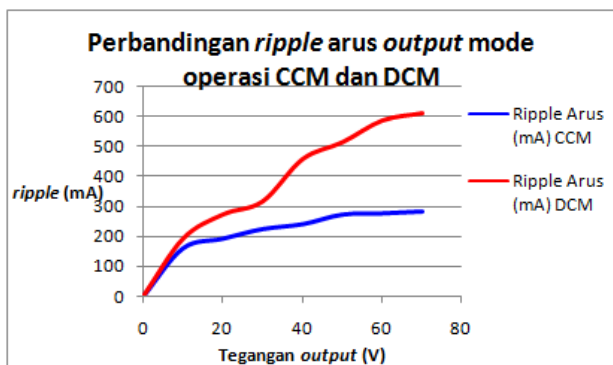
Pengujian ini membuktikan bahwa pada mode operasi CCM maupun DCM terjadi galat tegangan. Pada mode CCM galat tegangan bernilai positif karena nilai tegangan perhitungan lebih besar dari pengukuran. Pada mode operasi DCM galat tegangan bernilai negatif dengan nilai yang besar karena tegangan pengukuran jauh lebih besar dari tegangan perhitungan. Hal ini disebabkan karena nilai tegangan *output* berbanding lurus dengan nilai tegangan *input* dan arus  $L_1$ , dan berbanding terbalik dengan arus  $L_2$ . Ketika nilai arus  $L_2$  besar, nilai tegangan *output* akan turun karena mengimbangi nilai daya *input* yang berupa arus  $L_1$  dikalikan tegangan sumber.

### 3.7 Pengujian Riak Arus dan Tegangan Output

Grafik perbandingan nilai riak tegangan dan arus *output* ditunjukkan pada Gambar 18 dan Gambar 19.



Gambar 18 Perbandingan riak tegangan output



Gambar 19 Perbandingan riak arus output

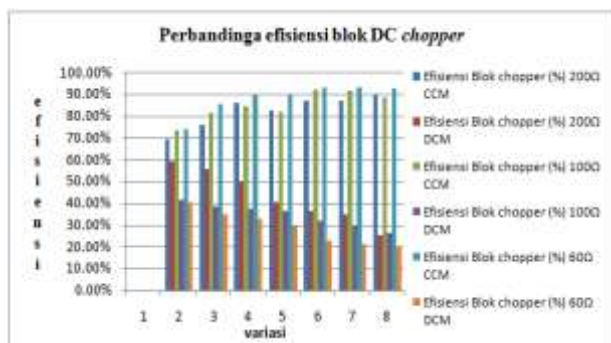
Gambar 17 menunjukkan bahwa nilai riak tegangan output pada mode operasi CCM lebih kecil dibandingkan pada mode operasi DCM.

Gambar 18 menunjukkan bahwa riak arus dan tegangan output pada modul DC chopper tipe cuk membuktikan bahwa mode operasi CCM lebih unggul pada kestabilan nilai tegangan dan arus output dibandingkan dengan mode operasi DCM.

### 3.8 Pengujian Efisiensi Modul

#### 3.8.1 Efisiensi Blok DC Chopper

Hasil pengujian dan perhitungan efisiensi blok DC chopper ditunjukkan pada Gambar 20.

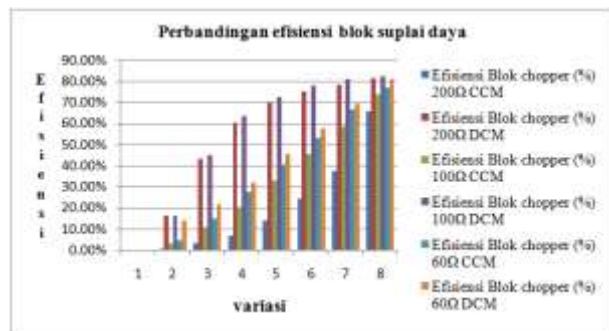


Gambar 20 Perbandingan efisiensi blok DC chopper

Pengujian efisiensi blok DC chopper menunjukkan bahwa efisiensi pada mode operasi CCM semakin besar seiring dengan kenaikan nilai duty cycle. Sebaliknya nilai efisiensi mode DCM semakin kecil. Efisiensi blok DC chopper tertinggi adalah 92,18% yang didapat pada variasi nilai resistansi beban 60Ω dengan nilai duty cycle 70% dengan mode operasi CCM.

#### 3.8.2 Efisiensi Blok Suplai Daya

Hasil pengujian dan perhitungan efisiensi blok suplai daya ditunjukkan pada Gambar 21.

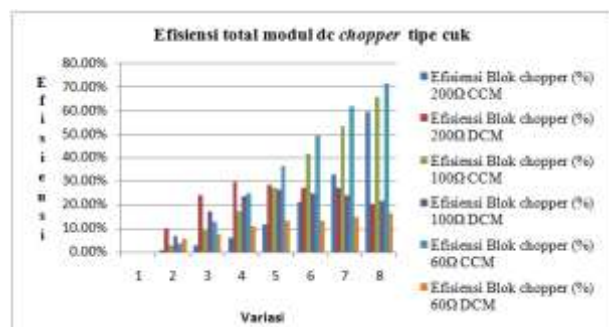


Gambar 21 Perbandingan efisiensi blok suplai daya

Dari grafik batang pada Gambar 4.38 terlihat bahwa pada nilai duty cycle variasi ke 8 yaitu 70%, nilai efisiensi pada mode operasi CCM dan DCM hampir sama. Efisiensi tertinggi dicapai oleh mode operasi DCM dengan beban resistif sebesar 100Ω pada nilai duty cycle 70% yaitu 82,24%.

#### 3.8.3 Efisiensi Blok Modul

Hasil pengujian dan perhitungan efisiensi blok suplai daya ditunjukkan pada Gambar 22.



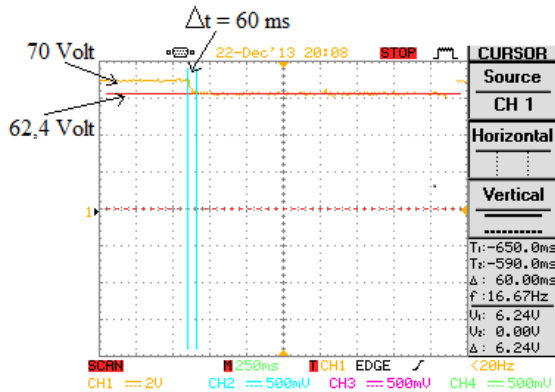
Gambar 22 Efisiensi total modul DC chopper

Dari grafik perbandingan efisiensi total modul juga terlihat bahwa pada mode operasi DCM nilai efisiensi terbesar terjadi pada variasi beban 100Ω bukan pada nilai resistansi beban 60Ω. Nilai efisiensi tertinggi yang didapat pada pengujian efisiensi modul DC chopper adalah 71,1% pada mode operasi CCM dengan nilai resistansi beban 60Ω dan dalam variasi nilai duty cycle 70%.

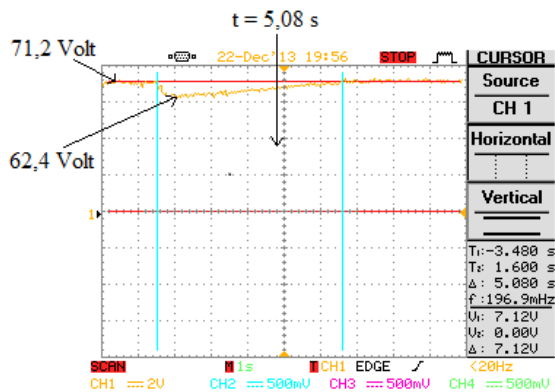
### 3.9 Pengujian Respon Sistem Open Loop dan Closed Loop pada Perubahan Beban

Gambar 24 dan Gambar 25 menunjukkan perbedaan respon sistem pada mode kontrol open loop dan closed loop. Pada mode kontrol open loop terjadi penurunan tegangan ketika beban bertambah. Pada mode kontrol closed loop terjadi hal yang sama, namun mikrokontroler mengembalikan nilai tegangan output seperti semula.

Waktu pemulihan tegangan beragam tergantung pada besarnya kenaikan beban. Semakin besar kenaikan beban akan menyebabkan penurunan tegangan yang semakin besar sehingga waktu respon yang dibutuhkan akan semakin besar. Waktu respon mode kontrol *closed loop* tercepat yang didapatkan dari pengujian adalah 2,44 detik yang terjadi pada variasi perubahan beban nol ke 200Ω.



Gambar 24 Respon sistem *open loop* pada beban nol ke 60Ω



Gambar 25 Respon sistem *closed loop* pada beban nol ke 60Ω

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan pada perancangan, pengujian dan analisa yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut

1. Modul DC *chopper* tipe cuk dengan mode operasi CCM dan DCM dengan mode *open loop* dan *closed loop* telah dirancang, dibuat dan dapat bekerja untuk menghasilkan tegangan keluaran yang lebih besar atau lebih kecil dari tegangan *input* 34 Volt DC dengan cara mengatur nilai *duty cycle* pada gelombang PWM pemicuan pada blok kontrol yang memiliki frekuensi tetap sebesar 15,62 kHz. Tegangan *output* terletak pada interval 0 – 95 Volt pada mode operasi CCM dan 0 – 185 Volt pada mode operasi DCM.

2. Mode *closed loop* pada modul DC *chopper* tipe cuk yang dibuat pada tugas akhir ini berfungsi untuk mengurangi galat tegangan sehingga nilai tegangan *output* dapat sesuai *set point* yang ditentukan. Galat tegangan terbesar pada pengujian yang telah dilakukan adalah sebesar 116,61 Volt yang terjadi pada mode operasi DCM dengan beban resistif 200Ω dan nilai *duty cycle* sebesar 70%.
3. Perbedaan mode operasi CCM dan DCM pada modul yang diuji terletak pada nilai induktansi induktor yang digunakan. Batas nilai induktansi mode operasi CCM dan DCM pada modul adalah  $L_1 = 10,45$  mH dan  $L_2 = 4,48$  mH. Pada mode operasi CCM digunakan induktor dengan nilai induktansi masing – masing  $L_1 = 40$  mH dan  $L_2 = 30$  mH. Pada mode operasi DCM nilai induktansi induktor  $L_1 = 0,7$  mH dan  $L_2 = 1$  mH.
4. Mode operasi CCM dan DCM menunjukkan respon yang berbeda pada beberapa bagian yang diuji yaitu nilai arus  $L_1$ ,  $L_2$  dan MOSFET; galat dan riak tegangan serta arus *output* dan efisiensi daya pada modul.
5. Arus  $L_1$ ,  $L_2$  dan MOSFET pada mode operasi DCM lebih besar jika dibandingkan dengan mode operasi CCM sehingga memerlukan spesifikasi komponen elektronika yang lebih besar. Namun nilai induktansi induktor pada mode operasi DCM lebih kecil dan memerlukan jumlah lilitan yang lebih sedikit, sehingga jika ditinjau dari sisi induktor maka mode operasi DCM lebih murah untuk dibuat dibandingkan CCM.
6. Pada mode operasi DCM dengan mode kontrol *open loop* nilai tegangan *output* jauh melewati nilai perhitungan, sehingga galat tegangan pada mode tersebut besar yakni sebesar 116,61 Volt pada beban resistif 200Ω dan *duty cycle* sebesar 70%. Mode operasi CCM mengalami galat tegangan *output* yang tidak terlalu besar pada beban dan *duty cycle* yang sama yakni hanya sebesar 7,08 Volt.
7. Riak tegangan dan arus pada mode operasi CCM lebih kecil dari pada mode operasi DCM. Pada mode CCM terjadi riak tegangan berupa impuls dengan nilai maksimal 10,2 Volt pada frekuensi 15,62 kHz dalam pengujian variasi nilai tegangan *output* sebesar 70 Volt. Pada variasi tegangan yang sama, mode operasi DCM mengalami riak tegangan dengan nilai maksimal sebesar 15,63 Volt. Riak arus terbesar pada mode operasi CCM adalah sebesar 282 mA dan pada mode operasi DCM sebesar 608 mA dengan variasi tegangan *output* yang sama yaitu 70 Volt.
8. Efisiensi daya pada mode operasi CCM naik seiring dengan kenaikan beban. Sebaliknya, mode operasi DCM mengalami penurunan nilai efisiensi saat mencatu beban yang lebih besar. Pada nilai beban yang kecil, mode operasi DCM lebih unggul karena dapat menyalurkan arus yang lebih besar ke beban. Namun jika ditinjau dari segi efisiensi daya maka mode operasi CCM lebih unggul dari mode operasi DCM. Nilai efisiensi tertinggi yang didapat pada



- pengujian efisiensi modul DC *chopper* adalah 71,1% pada mode operasi CCM dengan nilai resistansi beban  $60\Omega$  dan dalam variasi nilai *duty cycle* sebesar 70%.
9. Sistem kontrol *closed loop* memiliki tingkat kestabilan tegangan *output* yang lebih baik apabila terjadi perubahan beban jika dibandingkan dengan mode kontrol *open loop*. Baik pada mode operasi CCM maupun DCM, mode operasi *closed loop* pada pengujian mampu menekan nilai galat tegangan hingga 0,06 – 0,47 Volt.
  10. Sistem kontrol *closed loop* modul DC *chopper* tipe cuk pada tugas akhir ini memiliki waktu respon sistem yang berbeda sesuai dengan besarnya perubahan beban. Semakin kecil perubahan nilai resistansi beban maka nilai galat tegangan yang terjadi semakin kecil sehingga waktu yang dibutuhkan sistem *closed loop* untuk mengembalikan tegangan ke *set point* semakin kecil. Pada pengujian didapatkan bahwa untuk mengembalikan tegangan pada *set point* dengan variasi perubahan beban nol ke  $200\Omega$  adalah 2,44 detik, beban nol ke  $100\Omega$  adalah 3,76 detik dan beban nol ke  $60\Omega$  adalah 5,08 detik.

## Referensi

- [1]. Dwi Pradipta, Bagas, *Perancangan Inverter Dual Conversion Full Bridge-Full Bridge Pada Aplikasi Fotovoltaik*, Universitas Diponegoro, Semarang, 2011.
- [2]. Haryanto, M. Ari dan Wisnu Adi, *Pemrograman Bahasa C untuk Mikrokontroler ATmega8535*, Penerbit Andi, Yogyakarta, 2008.
- [3]. Herdiyanto, Anang Eko, *Studi Kasus Harmonisa pada Sisi Sumber akibat Penggunaan dan Proses Switching DC Chopper*, Semarang, Universitas Diponegoro.
- [4]. Nurcahyo, Sidik, *Aplikasi dan Teknik Pemrograman Mikrokontroler AVR Atmel*, Penerbit Andi, Yogyakarta, 2012.
- [5]. Rashid, M, *Power Electronics Circuit, Device, and Application 2<sup>nd</sup>*, Prentice-Hall International Inc, 1988.
- [6]. Reungsark, Manasoontorn dan Howimanporn Suppachai, *Comparison of Continues Conduction Mode (CCM) and Discontinues Conduction Mode (DCM) in Omni Robot Power Supply*, University of Tecnology Phra Nakon 10300, Bangkok, Thailand, 2010.
- [7]. Salam, Dr Zainal, *Power Electronics and Drives(version 2)*, Pdfheart.com,
- [8]. Simonetti, D.S.L, J. Sebastian, F.S Dos Reis dan J.Uceda, *Desaign Criteria For Sepic and Cuk Converters as Power Factor Preregulators in Discontinuous Conduction Mode*, Universidad Politecnica de Madrid, April 12, 2009.
- [9]. Tumbur, Francisco, *Analisis Pengaruh Penggunaan DC Chopper terhadap Harmonik dan Faktor Daya Komponen Penyearah*, Semarang, Universitas Diponegoro.