



TUGAS AKHIR - TE 141599

**IMPLEMENTASI KONVERTER CUK KELUARAN GANDA
UNTUK APLIKASI *PHOTOVOLTAIC***

Muhammad Dahlan
NRP 2211 100 033

Dosen Pembimbing
Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.
Ir. Arif Musthofa, MT.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



FINAL PROJECT - TE 141599

***IMPLEMENTATION OF DUAL OUTPUT CUK
CONVERTER FOR PHOTOVOLTAIC APPLICATION***

Muhammad Dahlan
NRP 2211 100 033

Advisor

Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.
Ir. Arif Musthofa, MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015

**IMPLEMENTASI KONVERTER CUK KELUARAN GANDA
UNTUK APLIKASI PHOTOVOLTAIC**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I

82/107/10

Dosen Pembimbing II

Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.
NIP. 197311192000031001

Ir. Arif Musthofa, MT.
NIP. 196608111992031004

**SURABAYA
JULI, 2015**

IMPLEMENTASI KONVERTER CÜK KELUARAN GANDA UNTUK APLIKASI *PHOTOVOLTAIC*

Muhammad Dahlan
2211 100 033

Pembimbing I : Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.
Pembimbing II : Ir. Arif Musthofa, MT.

ABSTRAK

Kebutuhan terhadap energi listrik di dunia semakin meningkat, dan teknologi pembangkit energi listrik juga semakin berkembang pesat. Salah satunya adalah *photovoltaic*. *Photovoltaic* merupakan alat untuk mengkonversikan energi cahaya matahari menjadi energi listrik DC. Akan tetapi tegangan keluaran *photovoltaic* terlalu rendah untuk dapat digunakan secara langsung. Oleh karena itu dibutuhkan konverter DC ke DC untuk dapat meningkatkan tegangan keluaran *photovoltaic*. Salah satunya adalah konverter Cük keluaran ganda.

Konverter Cük keluaran ganda merupakan konverter DC ke DC yang mampu mengkonversikan satu masukan tegangan DC menjadi dua keluaran yang lebih tinggi dengan satu saklar. Tegangan keluaran konverter ini terdiri dari dua level tegangan yang berbeda dengan polaritas yang berbeda. Konverter ini merupakan kombinasi dari konverter Cük bertingkat dan konverter boost bertingkat.

Kata kunci : Keluaran ganda, konverter Cük bertingkat, konverter boost bertingkat, *photovoltaic*, satu saklar.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

IMPLEMENTATION OF DUAL OUTPUT CÜK CONVERTER FOR PHOTOVOLTAIC APPLICATION

Muhammad Dahlan
2211 100 033

1st Advisor : Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.
2nd Advisor : Ir. Arif Musthofa, MT.

ABSTRACT

The need for electric energy in the world is increasing, and electric energy generation technologies are also growing rapidly. One of them is photovoltaic. Photovoltaic is a tool to convert the sun's light energy into DC electrical energy. But, photovoltaic output voltage is too low to be used directly. Therefore, it needs a DC to DC converter to increase the output voltage of photovoltaic. One of them is the dual output Cük converter.

Dual output Cük converter is a DC to DC converter is capable of converting an input DC voltage into two higher output with single switch. Teganga converter output is composed of two different voltage levels with different polarities. This converter is a combination of multilevel Cük converter and multilevel boost converters.

Keyword : *Dual output, multilevel Cük converter, multilevel boost converter, photovoltaic, single switch.*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis selalu panjatkan kepada Allah SWT, karena rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan buku Tugas Akhir ini dengan judul “**Implementasi Konverter Cük Keluaran Ganda Untuk Aplikasi Photovoltaic**”. Buku ini penulis persembahkan untuk Ibu, Ayah dan keluarga tercinta yang selalu mendukung segala perjuangan penulis.

Atas tersusunnya buku ini, penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada:

1. Keluarga yang telah memberikan dukungan dan do'a untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D. dan Bapak Ir. Arif Musthofa, MT. sebagai dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk memberi saran serta bimbingan.
3. Bapak Dr. Tri Arief Sardjono, ST, MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro ITS, serta Bapak Ir. Teguh Yuwono selaku Koordinator Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga.
4. Seluruh dosen Jurusan Teknik Elektro ITS yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat.
5. Seluruh teman-teman Lab.B101 Konversi Energi Listrik Teknik Elektro ITS yang menemani perjuangan ini.
6. Agung Adi P, Aldhino Putra, Yoga Dewangga, Addien W W, M Rizky P, Satria S, Alfa K F, Moh Azis, Galuh S A, Rony Y R, S Andri M, M Feisal H, Wahyu Dwi S, Hendra A dan Alif K yang selalu ada saat suka maupun duka.
7. Mas-mas Lab KE 2010 yang telah memberi arahan dan bimbingan serta berbagi ilmu yang bermanfaat.

Penyusunan Tugas Akhir ini telah dilakukan dengan penuh semangat dari dalam jiwa. Apabila terdapat kekurangan penulis mengharapkan saran untuk perbaikan. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat untuk pembaca dan perkembangan teknologi.

Surabaya, Juni 2015

Penulis

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PERNYATAAN	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian Dan Manfaat.....	2
1.5 Metodologi.....	2
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB 2 KONVERTER CÜK BERTINGKAT KELUARAN GANDA DAN <i>PHOTOVOLTAIC</i>	
2.1 Konverter Boost Bertingkat.....	5
2.2 Konverter Cük Bertingkat.....	9
2.3 Konverter Cük Keluaran Ganda.....	14
2.4 <i>Pulse Width Modulation</i> (PWM).....	15
2.5 <i>Photovoltaic</i>	16
2.6 Kontrol PI (Proportional Integral).....	17
BAB 3 PERANCANGAN DAN SIMULASI KONVERTER CÜK KELUARAN GANDA	
3.1 Diagram Blok Sistem.....	19
3.2 Perancangan Konverter Cük Keluaran Ganda.....	19
3.2.1 Penentuan Duty Cycle Konverter Boost Bertingkat.....	20
3.2.2 Penentuan Induktansi Induktor L1.....	20
3.2.3 Penentuan Induktansi Induktor L2.....	20
3.2.4 Penentuan Kapasitansi Kapasitor (C) Konverter Boost Bertingkat.....	21
3.2.5 Menentukan Tingkat (Nc) Konverter Cük Bertingkat.....	21

3.2.6 Menentukan Kapasitansi Kapasitor (Cc Dan Cco)	21
3.2.7 Perhitungan <i>Controller</i>	22
3.3 Simulasi.....	23
3.3.1 Simulasi Rangkaian PWM.....	23
3.3.2 Simulasi Konverter Cük Keluaran Ganda Pada Kondisi <i>Steady State</i>	24
3.3.3 Simulasi Dinamis.....	27

BAB 4 IMPLEMENTASI, PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA

4.1 Implementasi.....	29
4.2 Peralatan Pengujian.....	30
4.3 Pengujian Pada Kondisi <i>Stedy State</i>	32
4.3.1 Gelombang Rangkaian	32
4.3.2 Pengujian Rasio Konverter	33
4.3.3 Pengujian Efisiensi Konverter.....	34
4.4 Pengujian Pada <i>Close Loop</i>	35
4.4.1 Pengujian Perubahan Tegangan Input.....	35
4.4.2 Pengujian Perubahan Beban	36

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan.....	39
5.2 Saran.....	39

DAFTAR PUSTAKA	41
RIWAYAT HIDUP PENULIS	43
LAMPIRAN	45

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Parameter desain.....	19
Tabel 4.1 Spesifikasi komponen	29
Tabel 4.2 <i>Electrical Specifications PV module</i>	30
Tabel 4.3 Daya keluaran <i>photovoltaic</i> pada pukul 12.25-12.40.....	31

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Diagram blok konverter Cük keluaran ganda.....	1
Gambar 2.1	Rangkaian konverter boost bertingkat.....	5
Gambar 2.2	Saklar pada keadaan <i>on (close)</i> konverter boost bertingkat.....	6
Gambar 2.3	Saklar pada keadaan <i>off (open)</i> konverter boost bertingkat.....	7
Gambar 2.4	Rangkaian konverter Cük bertingkat.....	9
Gambar 2.5	Saklar pada keadaan <i>on (close)</i> konverter Cük bertingkat.....	10
Gambar 2.6	Saklar pada keadaan <i>off (open)</i> konverter Cük bertingkat.....	11
Gambar 2.7	Rangkaian konverter Cük keluaran ganda.....	14
Gambar 2.8	Perinsip kerja sinyal PWM.....	15
Gambar 2.9	<i>Cell, module</i> dan <i>array PV</i>	16
Gambar 2.10	<i>Process reaction curve</i>	17
Gambar 3.1	Diagram blok sistem.....	19
Gambar 3.2	<i>Process reaction curve</i> konverter Cük.....	22
Gambar 3.3	Rangkaian pembangkit sinyal PWM.....	23
Gambar 3.4	Gelombang sinyal PWM pada simulasi. (a) Gelombang tegangan referensi (merah) dan tegangan segitiga (biru). (b) Gelombanga sinyal PWM.....	24
Gambar 3.5	Rangkaian simulasi konverter Cük keluaran ganda.....	25
Gambar 3.6	Sinyal <i>steady state</i> pada rangkaian simulasi.....	26
Gambar 3.7	Tegangan keluaran konverter Cük keluaran ganda pada saat <i>close loop</i>	27
Gambar 4.1	Implementasi konverter Cük keluaran ganda.....	29
Gambar 4.2	Peralatan pengujian alat.....	30
Gambar 4.3	Gelombang rangkaian konverter.....	32
Gambar 4.4	Rasio konverter Cük keluaran ganda.....	33
Gambar 4.5	Efisiensi konverter boost bertingkat.....	34
Gambar 4.6	Efisiensi konverter Cük bertingkat.....	35
Gambar 4.7	Respon tegangan keluaran terhadap perubahan V_i	36
Gambar 4.8	Respon tegangan keluaran terhadap kenaikan beban.....	37
Gambar 4.9	Respon tegangan keluaran terhadap penurunan beban.....	37

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 1

PENDAHULUAN

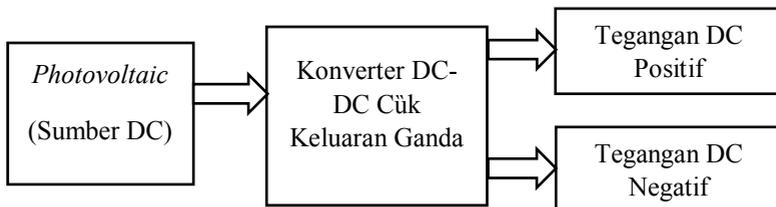
1.1 Latar Belakang

Pembangkitan energi listrik menggunakan bahan bakar fosil mengakibatkan polusi dan permasalahan terhadap lingkungan termasuk manusia. Sedangkan masih banyak sumber energi yang dapat dikonversi menjadi energi listrik yang ramah lingkungan, salah satunya adalah energi matahari. Untuk mengkonversi energi listrik dari energi matahari pada umumnya menggunakan teknologi *photovoltaic*.

Karena tegangan keluaran *photovoltaic* tidak begitu tinggi, maka diperlukan peningkat tegangan DC untuk menaikkan tegangan. Banyak penelitian yang telah dilakukan untuk meningkatkan efisiensi dari konverter yang diaplikasikan pada *photovoltaic*.

Konverter keluaran ganda bermanfaat ketika dua level tegangan keluaran dibutuhkan pada waktu yang sama. Konverter Cük dapat menaikkan tegangan seperti konverter boost akan tetapi dengan keluaran negatif. Konverter boost bertingkat dapat menaikkan tegangan dengan rasio pengutan tinggi. Pada konverter konvensional, untuk menghasilkan dua level tegangan keluaran dibutuhkan saklar dan komponen lebih sehingga menyebabkan rangkaian menjadi besar dan mahal.

Pada Tugas Akhir ini, konverter DC-DC Cük keluaran ganda diaplikasikan pada *photovoltaic* untuk menghasilkan dua level tegangan keluaran positif dan negatif. Block diagram dari konverter DC-DC Cük keluaran ganda seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.1 merupakan gabungan dari konverter Cük dan konverter boost bertingkat. Biasanya konverter konvensional dengan satu keluaran menggunakan satu saklar, tetapi untuk konverter DC-DC Cük keluaran ganda hanya menggunakan satu saklar.



Gambar 1.1 Diagram blok konverter Cük keluaran ganda

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah merancang dan mengimplementasikan suatu konverter Cük yang memiliki tegangan keluaran ganda dengan satu saklar dan memiliki efisiensi daya yang baik.

1.3 Batasan Masalah

Pada Tugas Akhir ini, terdapat batasan permasalahan sebagai berikut:

1. Pada pengujian menggunakan *power supply* DC
2. Pembangkit PWM untuk pensaklaran memiliki frekuensi 62500 Hz.
3. Konverter Cük keluaran ganda terdiri dari konverter boost bertingkat dan konverter Cük bertingkat dengan satu pensaklar.

1.4 Tujuan Penelitian Dan Manfaat

Tujuan Tugas Akhir ini adalah mendesain dan mengimplementasikan topologi konverter Cük keluaran ganda dengan dua level tegangan keluaran. Kemudian menginginkan hasil yang efisien dari konverter tersebut saat diaplikasikan pada photovoltaic.

Manfaat perancangan dan pengimplementasian konverter Cük keluaran ganda ini yaitu dapat meningkatkan perkembangan konverter DC-DC dan juga dapat menjadi referensi untuk penelitian yang lain.

1.5 Metodologi

Metode penelitian yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mempelajari materi yang berhubungan dengan konverter Cük keluaran ganda dan juga tentang konverter boost bertingkat. Referensi yang digunakan didapatkan dari buku-buku, jurnal ilmiah, internet maupun dari Tugas Akhir mahasiswa sebelumnya.

2. Desain Dan Simulasi

Pada tahap ini dilakukan desain dan simulasi topologi rangkaian konverter Cük keluaran ganda dengan menggunakan *software* PSIM. Nilai-nilai parameter yang digunakan pada simulasi didapat dari hasil perhitungan komponen sebelumnya. Tahap desain dan simulasi dilakukan untuk memodelkan konverter Cük keluaran ganda dan juga untuk mengetahui spesifikasi komponen-komponen yang dibutuhkan saat implementasi alat.

3. Implementasi

Pada tahap ini dilakukan pembuatan alat konverter Cük keluaran ganda berdasarkan desain dan simulasi yang sudah dilakukan. Spesifikasi komponen yang sudah dihitung pada tahap desain dan simulasi disesuaikan dengan kapasitas yang tersedia di pasaran.

4. Analisis Data Dan Kesimpulan

Setelah tahap implementasi maka akan dilakukan uji alat untuk pengambilan data yang kemudian dilakukan analisis terhadap data tersebut. Dari hasil analisis tersebut maka akan dapat menemukan kesimpulan.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan buku laporan Tugas Akhir ini terdiri dari lima bab, yaitu sebagai berikut:

➤ **BAB 1 Pendahuluan**

Pada BAB 1 berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian dan manfaat, metodologi dan sistematika penulisan.

➤ **BAB 2 Konverter Cük Keluaran Ganda Dan Photovoltaic**

Pada BAB 2 berisi mengenai teori-teori dasar tentang prinsip kerja dan persamaan perhitungan parameter dari konverter boost bertingkat, konverter Cük bertingkat, konverter Cük keluaran ganda dan *photovoltaic*.

➤ **BAB 3 Perancangan Dan Simulasi Konverter Cük Keluaran Ganda**

Pada BAB 3 berisi mengenai diagram blok sistem, Perancangan konverter Cük keluaran ganda meliputi penentuan parameter frekuensi (f), *duty cycle* (D), daya (P), tegangan *input* (V_i), tegangan *output* (V_b dan V_c), nilai L dan C .

➤ **BAB 4 Implementasi, Pengujian Dan Analisis Data**

Pada BAB 4 menjelaskan tentang hasil pengujian alat dan analisis data dari pengujian implementasi alat tersebut. Dan hasil pengujian dibandingkan dengan hasil perhitungan dan simulasi.

➤ **BAB 5 Penutup**

Pada BAB 5 merupakan kesimpulan dari keseluruhan pengujian dan analisis dari konverter Cük keluaran ganda. Dan juga dilengkapi dengan saran untuk yang melakukan penelitian selanjutnya.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 2

KONVERTER CUK BERTINGKAT KELUARAN GANDA DAN *PHOTOVOLTAIC*

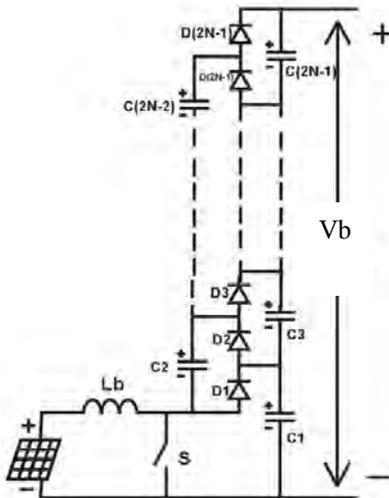
2.1 Konverter Boost Bertingkat

Konverter boost bertingkat merupakan konverter DC-DC modifikasi antara konverter boost biasa atau konvensional dengan pemanfaatan pensaklaran kapasitor untuk mendapatkan tegangan keluaran yang lebih tinggi dengan menggunakan satu saklar. Komponen konverter boost bertingkat terdiri dari satu induktor ($1 L$), satu saklar ($1 S$), $2N-1$ dioda (D) dan $2N-1$ kapasitor (C). N merupakan jumlah tingkat yang digunakan dalam konverter boost bertingkat.

Konverter boost bertingkat mempunyai kelebihan dibandingkan dengan konverter boost konvensional, kelebihanya yaitu:

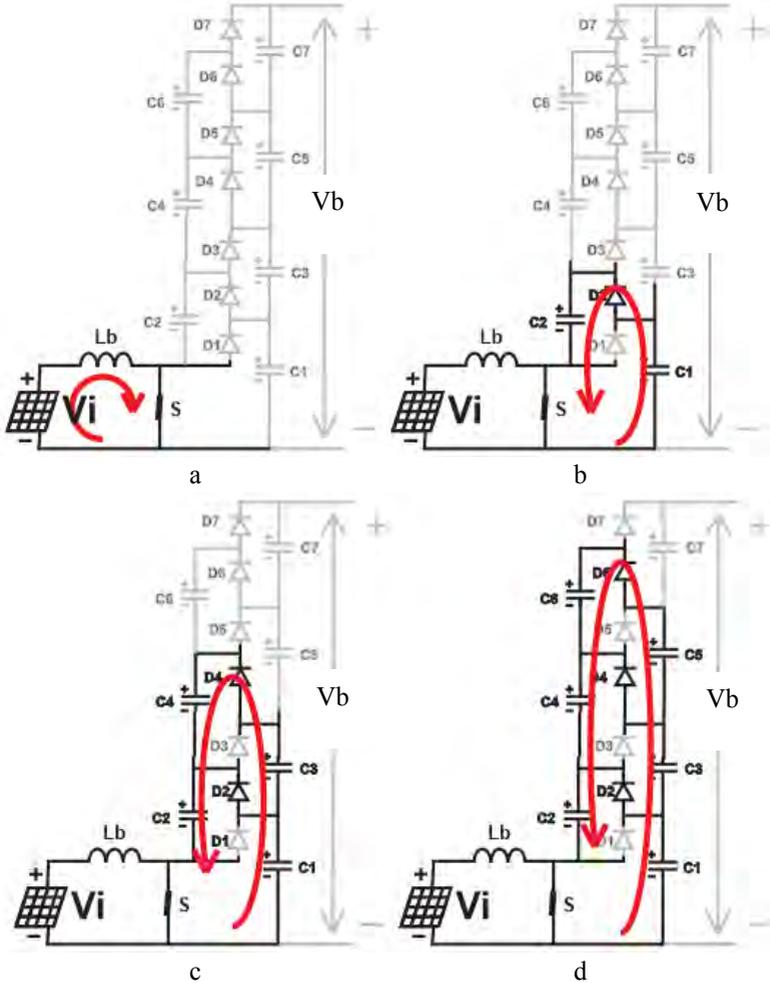
1. Rasio konversinya besar walaupun tidak menggunakan *duty cycle* yang besar dan tanpa menggunakan transformator
2. Tingkatnya dapat diubah tanpa mengubah rangkaian utama pada konverter boost tersebut.

Rangkaian konverter boost bertingkat secara umum seperti pada gambar 2.1 dibawah ini.



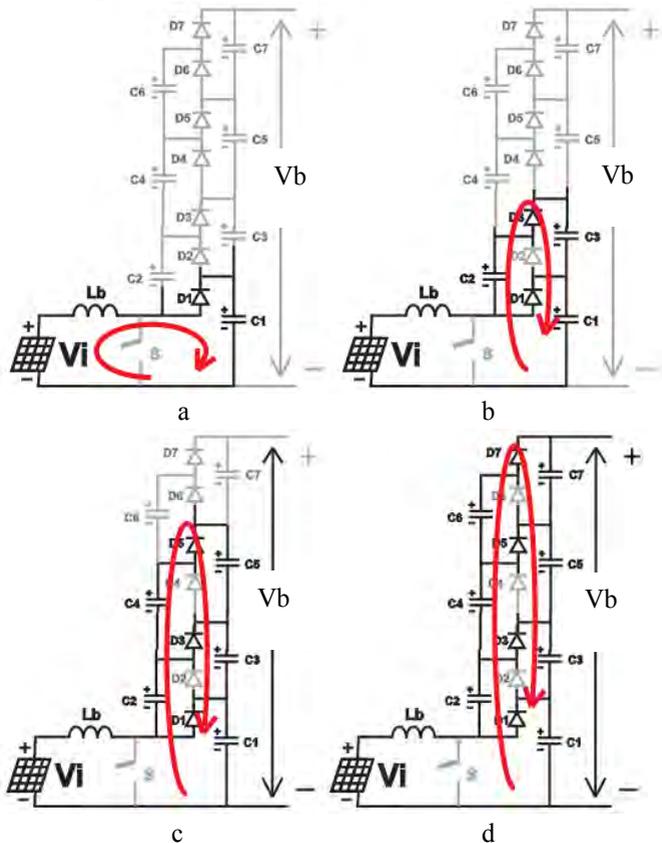
Gambar 2.1 Rangkaian konverter boost bertingkat

Rangkaian paling bawah konverter boost bertingkat merupakan rangkaian konverter boost konvensional, dengan tegangan $C1$ merupakan tegangan dari konverter boost konvensional. Jadi tegangan keluaran konverter boost bertingkat adalah $V_{c1} \times N$. N merupakan banyaknya tingkat konverter tersebut.



Gambar 2.2 Saklar pada keadaan on (*close*) konverter boost bertingkat.

Kedua pada saat saklar on (*close*) ditunjukkan pada gambar 2.2. pada saat saklar on maka tegangan induktor (L_b) sama dengan tegangan masukan (V_i), (gambar 2.2a). Jika tegangan pada kapasitor C_1 lebih besar dari pada tegangan C_2 , maka tegangan kapasitor C_2 akan meningkat karena terisi oleh tegangan kapasitor C_1 melalui D_2 dan S (gambar 2.2b). Jika pada tegangan C_2+C_4 lebih rendah dari pada tegangan C_1+C_5 , maka tegangan kapasitor C_2+C_4 akan meningkat karena terisi oleh tegangan kapasitor C_1+C_3 melalui D_4 dan S (gambar 2.2c). Dengan cara yang sama, kapasitor C_1 , C_3 dan C_5 mengisi tegangan ke kapasitor C_2 , C_4 dan C_6 (gambar 2.2d).



Gambar 2.3 Saklar pada keadaan *off* (*open*) konverter boost bertingkat

Keadaan pada saat saklar *off* (*open*) ditunjukkan pada gambar 2.3. Pada saat saklar *off*, arus induktor mengaktifkan D1 dan mengakibatkan tegangan kapasitor C1 terisi (gambar 2.3a). Pada keadaan yang sama, kapasitor C1+C3 akan terisi oleh tegangan dari kapasitor C2+Vi+ V_{Lb} melalui D3 (gambar 2.3b). Dengan cara yang sama, Vi+ V_{Lb} +Vc2+Vc4 akan mengisi tegangan pada kapasitor C1, C3, dan C5 (gambar 2.3c). seterusnya seperti itu hingga tingkat paling terisi tegangan (gambar 2.3d). Tegangan keluaran juga dipengaruhi oleh *duty cycle* (D). *Duty cycle* merupakan perbandingan antara waktu on (t_{on}) dengan waktu dalam satu periode pensaklaran (T).

$$D = \frac{t_{on}}{T} \quad (2.1)$$

$$T = t_{on} + t_{off} \quad (2.2)$$

Maka didapat :

$$t_{on} = D.T \quad (2.3)$$

$$t_{off} = (1-D).T \quad (2.4)$$

Dengan asumsi bahwa arus yang melalui induktor adalah konstan, maka didapat persamaan pada saat kondisi t_{on} sebagai berikut:

$$\Delta i(t_{on}) = \frac{Vi.(D.T)}{Lb} \quad (2.5)$$

$$Lb = \frac{Vi.(D.T)}{\Delta i(t_{on})} = \frac{Vi.(D)}{\Delta i(t_{on}).f} \quad (2.6)$$

Sedangkan pada saat keadaan t_{off} :

$$\Delta i(t_{off}) = \frac{(V_{c1}-Vi).(1-D).T}{Lb} \quad (2.7)$$

Karena dengan asumsi arus induktor dianggap konstan, maka:

$$\Delta i(t_{on}) = \Delta i(t_{off})$$

$$\frac{Vi.(D.T)}{Lb} = \frac{(V_{c1}-Vi).(1-D).T}{Lb}$$

$$V_{c1} = \frac{Vi}{(1-D)} \quad (2.8)$$

Sedangkan dapat dilihat dari rangkaian bahwa tegangan keluaran didapat persamaan:

$$Vb = V_{c1} + V_{c3} + V_{c5} + V_{c7} \quad (2.9)$$

$$Vb = N.V_{c1} \quad (2.10)$$

$$Vb = \frac{N.Vi}{(1-D)} \quad (2.11)$$

Maka gain didapat:

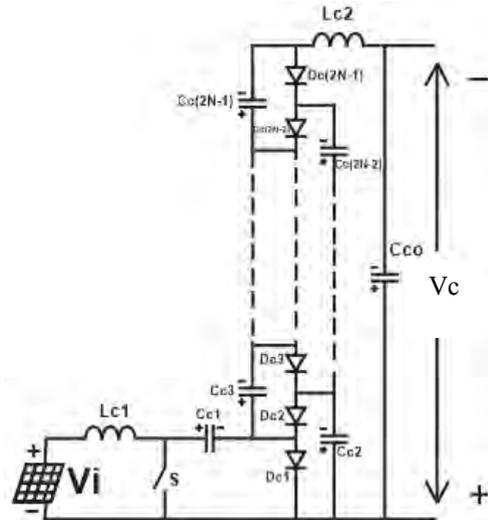
$$G = \frac{Vo}{Vi} = \frac{N}{(1-D)} \quad (2.12)$$

Sedangkan untuk mendapatkan nilai kapasitansi tiap kapasitor adalah:

$$C = \frac{Vo.D.N}{R.(\Delta Vo).f} \quad (2.13)$$

2.2 Konverter Cük Bertingkat

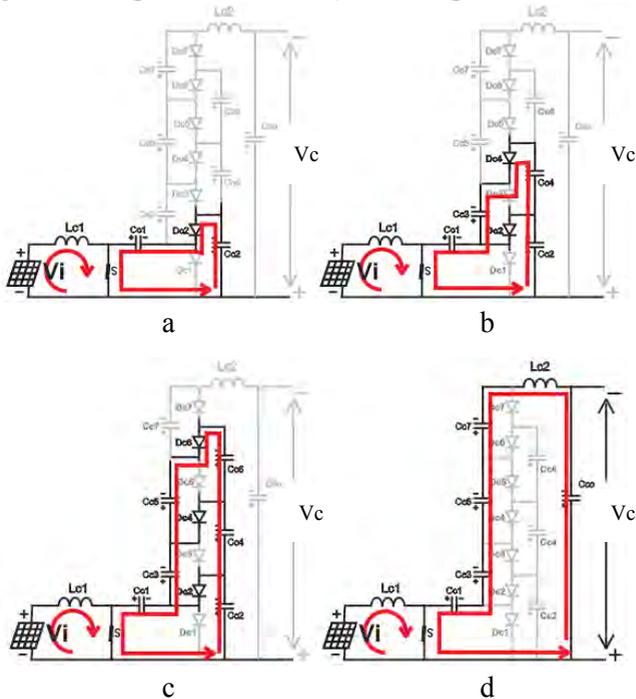
Konverter Cük bertingkat mirip seperti konverter boost bertingkat. Perbedaan dari kedua konverter tersebut terdapat pada induktor dan kapasitor yang digunakan. Bentuk rangkaian konverter Cük bertingkat dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Rangkaian konverter Cük bertingkat

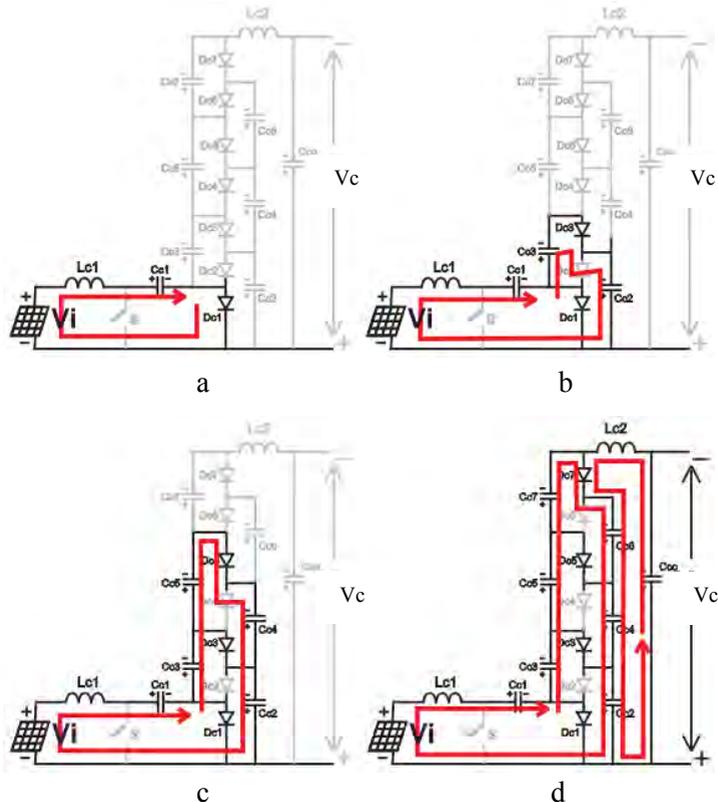
Jika konverter boost bertingkat menggunakan satu induktor pada *input* (L_b) dan kapasitor utama bertingkat ($C_{(2N-1)}$), sedangkan pada konverter Cük bertingkat menggunakan dua induktor dan dua fungsi kapasitor, yaitu induktor pada *input* (L_{c1}) dan induktor pada *output* (L_{c2}), sedangkan kapasitornya adalah kapasitor bertingkat untuk menaikkan tegangan ($C_{(2N-1)}$) dan satu kapasitor untuk menjaga *ripple* tegangan pada *output* (C_{co}).

Dengan topologi menggunakan dua induktor pada *input* dan *output*, memungkinkan untuk kontinuitas arus *input* dan arus *output* pada rangkaian. Sedangkan pada kapasitor pertama (C_c) digunakan untuk maningkatkan tegangan dengan menambah jumlah tingkatnya, dan kapasitor pada *output* digunakan untuk menjaga *ripple* tegangan keluarannya. Perinsip kerja konverter Cük bertingkat dapat dilihat pada gambar 2.5 (pada saat saklar on) dan 2.6. (pada saat saklar off)



Gambar 2.5 Saklar pada keadaan *on* (*close*) konverter Cük bertingkat

Ketika saklar (S) dalam keadaan *on* (*close*) ditunjukkan pada gambar 2.5 di atas. Pada saat kondisi tersebut, tegangan induktor L_{c1} sama dengan tegangan *input* (V_i) dan juga pada saat yang sama kapasitor C_{c1} mengisi kapasitor C_{c2} melalui diode D_{c2} (gambar 2.5a). Kemudian, saat diode D_{c4} forward maka kapasitor C_{c4} dan C_{c2} terisi dari kapasitor C_{c3} dan C_{c1} (gambar 2.5b). Dan juga jika tegangan kapasitor C_{c6} , C_{c4} dan C_{c2} lebih kecil dari pada tegangan kapasitor C_{c5} , C_{c3} dan C_{c1} maka kapasitor maka kapasitor C_{c6} , C_{c4} dan C_{c2} akan terisi melalui diode D_{c6} (gambar 2.5c). Langkah tersebut bekerja secara berulang hingga induktor L_{c2} dan kapasitor C_{c0} terisi (gambar 2.5d). Besar tegangan *output* (V_c) sama dengan tegangan kapasitor C_{c0} .



Gambar 2.6 Saklar pada keadaan *off* (*open*) konverter Cük bertingkat

Ketika saklar (S) pada keadaan *off* (open), maka kapasitor Cc1 akan terisi oleh tegangan dari PV dan juga induktor Lc1 melalui diode Dc1 (gambar 2.6a). Pada saat diode Dc3 forward maka kapasitor Cc1 dan Cc3 akan terisi tegangan dari tegangan Vi, Lc1 dan Cc2 (gambar 2.6b). Begitu juga kapasitor Cc1, Cc3 dan Cc5 akan terisi tegangan dari tegangan Vi, Lc1, Cc2 dan Cc4 melalui diode Dc5 (gambar 2.6c). Semua tahap akan berulang hingga kapasitor Cc1, Cc3, Cc5 dan Cc7 terisi oleh tegangan Vi, Lc1, Cc2, Cc4 dan Cc6 melalui diode Dc7. Pada waktu yang bersamaan, induktor Lc2 akan discharge (gambar 2.6d).

Sama seperti konverter boost bertingkat, tegangan keluaran konverter Cük bertingkat dipengaruhi oleh *duty cycle* (D) dan tegangan *input* (Vi). *Duty cycle* merupakan perbandingan antara waktu on (t_{on}) dengan waktu dalam satu periode pensaklaran (T) seperti pada persamaan 2.1 dan 2.2.

$$D = \frac{t_{on}}{T}$$

$$T = t_{on} + t_{off}$$

Maka didapat :

$$t_{on} = D.T$$

$$t_{off} = (1-D).T$$

Dengan asumsi bahwa arus yang melalui induktor adalah konstan, maka didapat persamaan pada saat kondisi t_{on} sebagai berikut:

$$\Delta i(t_{on}) = \frac{V_i.(D.T)}{L_{c1}} \quad (2.14)$$

$$L_{c1} = \frac{V_i.(D.T)}{\Delta i(t_{on})} = \frac{V_i.(D)}{\Delta i(t_{on}).f} \quad (2.15)$$

Sedangkan pada saat keadaan t_{off} :

$$\Delta i(t_{off}) = \frac{(V_{Cc1}-V_i).(1-D).T}{L_{c1}} \quad (2.16)$$

Karena dengan asumsi arus induktor dianggap konstan, maka:

$$\Delta i(t_{on}) = \Delta i(t_{off})$$

$$\frac{V_i.(D.T)}{L_{c1}} = \frac{(V_{Cc1}-V_i).(1-D).T}{L_{c1}}$$

$$V_{Cc1} = \frac{V_i}{(1-D)} \quad (2.17)$$

Dari analisis rangkaian didapat persamaan tegangan keluaran konverter Cük bertingkat pada saat keadaan saklar S *on (close)* yaitu:

$$V_{Cc1} + V_{Cc3} + V_{Cc5} = V_{Cc2} + V_{Cc4} + V_{Cc6} \quad (2.18)$$

$$V_{Lc2} = V_{Cc1} + V_{Cc3} + V_{Cc5} + V_{Cc7} + V_{Cco}$$

Karena tegangan kapasitor $V_{Cc1} = V_{Cc3} = V_{Cc5} = V_{Cc7}$, maka:

$$V_{Lc2} = 4V_{Cc1} + V_{Cco}$$

$$\Delta i(t_{on}) = \frac{D.T.(4V_{Cc1} + V_{Cco})}{Lc2} \quad (2.19)$$

Sedangkan pada saat saklar S *off (open)* maka induktor Lc2 discharge didapat persamaan:

$$V_{Lc2} = V_{Cc2} + V_{Cc4} + V_{Cc6} + V_{Cco} \quad (2.20)$$

$$V_{Lc2} = 3V_{Cc1} + V_{Cco}$$

$$\Delta i(t_{off}) = - \frac{T.(1-D).(3V_{Cc1} + V_{Cco})}{Lc2} \quad (2.21)$$

Diasumsikan *ripple* arus induktor Lc2 adalah nol (0), maka :

$$\frac{D.T.(4V_{Cc1} + V_{Cco})}{Lc2} = - \frac{T.(1-D).(3V_{Cc1} + V_{Cco})}{Lc2}$$

$$D.(4V_{Cc1} + V_{Cco}) + (1 - D).(3V_{Cc1} + V_{Cco}) = 0$$

$$D.V_{Cc1} + 3V_{Cc1} + V_{Cco} = 0$$

$$-V_{Cco} = D.V_{Cc1} + 3V_{Cc1}$$

$$-V_{Cco} = V_{Cc1} \cdot (D+3)$$

$$-V_{Cco} = \frac{V_i \cdot (D+(N-1))}{1-D}$$

$$V_C = V_{Cco} = - \frac{V_i \cdot (D+(N-1))}{1-D}$$

Untuk gain yang di dapat adalah:

$$G = \frac{V_o}{V_i} = - \frac{(D+(N-1))}{1-D} \quad (2.22)$$

$$N_c = \left(\left(\frac{V_o}{V_i} \right) \cdot (1 - D) \right) + (1 - D) \quad (2.23)$$

Sedangkan untuk mencari nilai kapasitor terdapat persamaan:

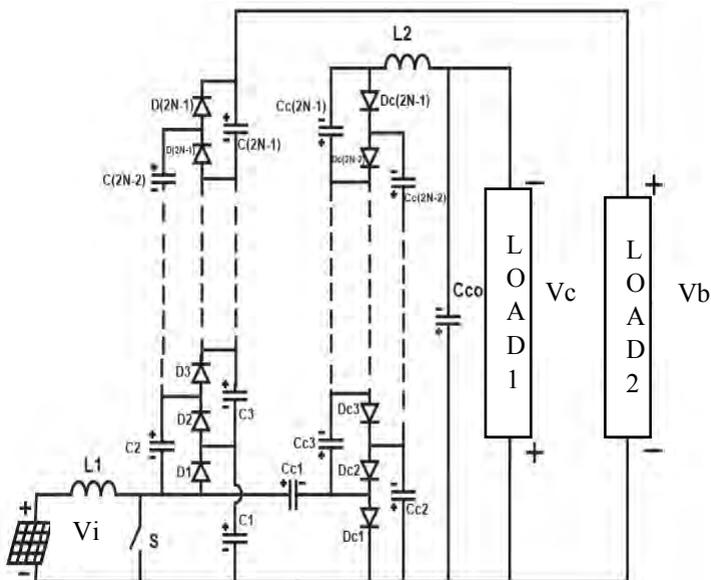
$$C_c = \frac{V_o \cdot D}{N \cdot R \cdot f \cdot \Delta V_c} \quad (2.24)$$

Dan untuk nilai kapasitansi kapasitor *output* adalah:

$$C_{co} = \frac{1 - D}{8 \cdot (L_2) \cdot R_p \cdot f^2} \quad (2.25)$$

2.3 Konverter Cük Keluaran Ganda

Konverter Cük keluaran ganda merupakan penggabungan antara konverter boost bertingkat dengan konverter Cük bertingkat. Konverter Cük keluaran ganda hanya menggunakan satu tegangan *input* (V_i) dan satu pensaklaran (S) dengan dua tegangan keluaran (V_b dan V_c).



Gambar 2.7 Rangkaian konverter Cük keluaran ganda

Rangkaian konverter Cük keluaran ganda dapat dilihat pada gambar 2.7. V_b merupakan tegangan keluaran dari konverter boost bertingkat

dengan polaritas positif, sedang V_c merupakan tegangan keluaran dari konverter Cuk bertingkat dengan polaitas negatif.

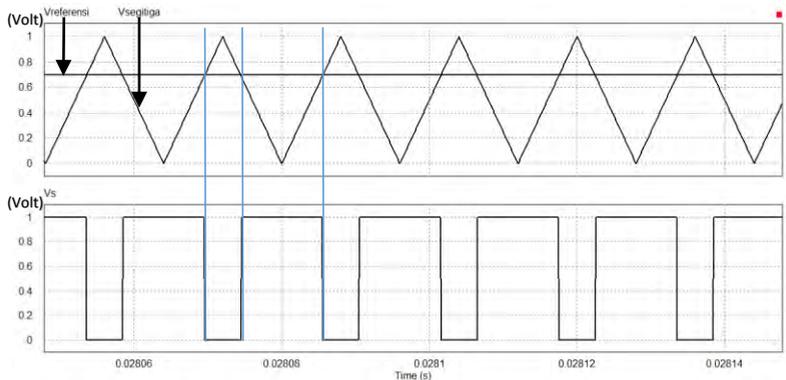
Perinsip kerja konverter ini sama seperti perinsip kerja konverter boost bertingkat dan konverter Cuk bertingkat dengan kedua konverter bakerja secara bersamaan dengan satu saklar.

Dengan bekerja secara bersamaan, maka konverter ini mengurangi penggunaan komponen. Komponen yang bisa digunakan bersamaa yaitu induktor *input* (L1), MOSFET dan rangkaian pembangkit sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*). Jadi lebih menghemat pengeluaran untuk komponen tersebut.

Kedua konverter terpisah di V_{ds} pada MOSFET. Setelah melewati MOSFET, maka konverter akan bekerja sesuai dengan perinsip kerjanya sendiri-sendiri.

2.4 Pulse Width Modulation (PWM)

Tegangan keluaran konverter dapat diatur dengan mengubah besar *duty cycle* pada sinyal PWM yang dioperasikan. Sinyal PWM dapat dibangkitkan dengan menggunakan perbandingan antara tegangan reverensi dan sinyal segitiga pada komparator. *Duty cycle* dapat diatur dengan mengubah tegangan referensi pada komparator. Rangkaian dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Perinsip kerja sinyal PWM.

Semakin tinggi tegangan referensi, maka semakin besar *duty cycle* yang dibangkitkan. Jika tegangan referensi lebih besar dari sinyal

segitiga, maka sinyal PWM pada kondisi on (t_{on}), dan jika tegangan referensi lebih kecil dari sinyal segitiga, maka sinyal PWM off (t_{off}). Untuk menghitung *duty cycle* terdapat persamaan.

$$D = \frac{t_{on}}{T} \times 100\% = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} \times 100\% \quad (2.26)$$

Keterangan :

D = *Duty cycle* (%)

T = Periode (s)

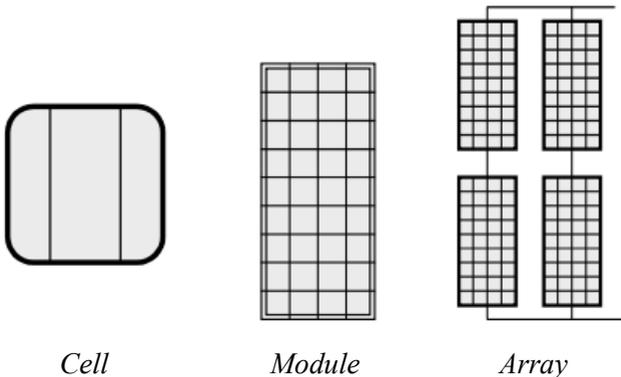
t_{on} = Lama waktu PWM on (aktif)(s)

t_{off} = Lama waktu PWM off (tidak aktif) (s)

2.5 Photovoltaic

Photovoltaic merupakan peralatan yang dapat mengkonversikan energy cahaya menjadi energy listrik, khususnya cahaya matahari. Oleh karena itu, *photovoltaic* mempunyai potensi besar untuk alat pembangkit listrik pada daerah yang sering mendapat sinar matahari

Akan tetapi *cell photovoltaic* hanya membangkitkan 0,5 hingga 1 volt dengan arus hubung singkat skala miliampere pada tiap cm^2 . Jadi, biasanya *cell photovoltaic* disusun seri untuk mendapatkan kapasitas yang lebih besar menjadi satu modul PV, dan dalam satu modul terdiri dari 28-36 *cell PV* yang dipasang secara seri. Seperti pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 *Cell, module dan array PV* [8]

PV biasanya sudah dalam bentuk *module*, apabila memerlukan daya yang lebih besar, maka tiap-tiap modul akan dipasang menjadi *array*. Jika

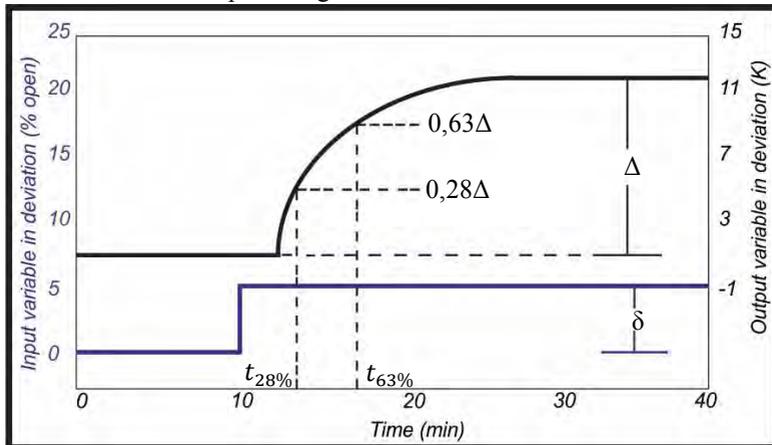
memerlukan tegangan yang lebih tinggi, maka pemasangannya secara seri, sedangkan untuk arus yang lebih besar maka pemasangannya menggunakan *parallel*.

2.6 Kontrol PI (*Proportional Integral*)

Pada suatu sistem dengan tegangan keluaran yang konstan saat tegangan masukan yang berubah-ubah, maka diperlukan suatu *controller* untuk menjaga tegangan krluaran tetap stabil. Sistem control yang digunakan adalah *controller PI*.

Metode perhitunga yang digunakan adalah *metode process reaction curve* [7]. Metode ini adalah metode perhitungan nilai *gain* (K_p) dan *time constant* (τ) melalui kurfa respon antara sinyal masukan dengan sinyal keluaran. Terdapat langkah-langkah untuk melakukan perhitungan dengan metode ini.

1. Berikan sinyal masukan dalam bentuk sinyal *step*
2. Tunggu hingga keadaan *steady state*
3. Mengumpulkan data respon masukan dengan keluaran saat mencapai keadaan *steady state*
4. Melakukan perhitungan



Gambar 2.10 *Process reaction curve*

Untuk mencari nilai K_p dan τ menggunakan persamaan:

$$K_p = \frac{\Delta}{\delta} \quad (2.27)$$

$$\tau = 1,5 \cdot (t_{63\%} - t_{28\%}) \quad (2.28)$$

Keterangan :

Δ = Perubahan nilai sinyal keluaran saat *steady state*

δ = Perubahan nilai sinyal masukan saat *steady state*

$t_{63\%}$ = Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai nilai 63% dari nilai sinyal keluaran

$t_{28\%}$ = Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai nilai 28% dari nilai sinyal keluaran

BAB 3

PERANCANGAN DAN SIMULASI KONVERTER CÜK KELUARAN GANDA

3.1 Diagram Blok Sistem

Pada perancangan konverter cük keluaran ganda ini terdiri dari tiga bagian utama, yaitu bagian sumber DC (*photovoltaic*), konverter cük keluaran ganda, dan beban resistif. Diagram sistem konverter Cük keluaran ganda untuk aplikasi *photovoltaic* ditunjukkan pada gambar 3.1 di bawah ini.



Gambar 3.1 Diagram blok sistem

3.2 Perancangan Konverter Cük Keluaran Ganda

Perancangan desain dan implementasi konverter Cük keluaran ganda diperlukan parameter-parameter yang akan digunakan dan sesuai dengan konverter tersebut. Karena konverter Cük keluaran ganda mengkombinasikan dua konverter dengan satu saklar, maka untuk frekuensi pensaklaran (f) sama untuk keduanya dan terdapat juga tegangan *input* (V_i) yang sama. Selain kedua parameter tersebut, parameter yang telah ditentukan untuk mempermudah mencari parameter yang lainnya adalah tegangan *output* konverter boost bertingkat (V_b), jumlah tingkat konverter boost bertingkat (N_b), tegangan *output* konverter Cük bertingkat dan daya *output* (P). Nilai parameter tersebut ditunjukkan pada table 3.1.

Tabel 3.1 Parameter desain

PARAMETER DESAIN	NILAI
V_i	14 volt – 17,24 volt
V_b	400 volt
V_c	96 volt
f	62500 Hz
N_b	7 tingkat
P_{max}	50 watt

3.2.1 Penentuan *Duty Cycle* Konverter Boost Bertingkat

Untuk menghitung parameter yang belum ditentukan adalah dengan menggunakan persamaan yang telah terdapat pada BAB 2 sebelumnya. Dengan persamaan 2.8 dan 2.9 didapatkan.

$$V_{c1} = \frac{V_b}{N_b} = \frac{400}{7} = 57,14285 \text{ volt}$$

$$D_1 = 1 - \left(\frac{14}{57,143} \right) = 0,755 = 75,5\%$$

$$D_2 = 1 - \left(\frac{17,24}{57,143} \right) = 0,6983 = 69,83\%$$

Karena konverter Cük keluaran ganda menggunakan satu pensaklaran, maka *duty cycle* konverter Cük bertingkat sama dengan *duty cycle* konverter boost bertingkat. Untuk prinsip kerjanya, karena V_c yang didesain keluaran konstan, maka *duty cycle* konverter boost bertingkat yang akan mengikuti perubahan *duty cycle* konverter Cük bertingkat.

3.2.2 Penentuan Induktansi Induktor L1

Nilai induktansi induktor L1 ditentukan oleh nilai terbesar dari perhitungan konverter boost bertingkat dan konverter Cük bertingkat pada saat daya *input* maksimum dari *photovoltaic* (50 W), dengan persamaan 2.6 maka akan didapatkan

$$I_i = \frac{P}{V_i} = \frac{50}{17,24} = 2,9 \text{ Ampere}$$

$$\Delta I_i = I_i \cdot 20\% = (2,9) \cdot (6,64\%) = 0,192 \text{ A}$$

$$L1_1 = \frac{(14) \cdot (0,755)}{62500 \cdot (0,192)} = 0,88 \text{ mH}$$

$$L1_2 = \frac{(17,24) \cdot (0,6983)}{62500 \cdot (0,192)} = 1 \text{ mH}$$

Jadi nilai induktansi L1 yang digunakan minimal 1 mH. Akan tetapi nilai induktor yang digunakan adalah 1,085 mH.

3.2.3 Penentuan Induktansi Induktor L2

Nilai induktansi induktor L2 sama seperti nilai induktansi induktor *output* konverter Cük bertingkat (Lc2). Nilai induktansinya dapat dicari menggunakan persamaan 2.21.

$$R_c = \frac{V_c^2}{P} = \frac{96^2}{50} = 184,32 \Omega$$

$$Lc2_1 = \frac{(1-(0,6983)).(184,32)}{2.(62500)} = 0,448 \text{ mH}$$

$$Lc2_2 = \frac{(1-(0,755)).(184,32)}{2.(62500)} = 0,361 \text{ mH}$$

Nilai induktansi L2 = nilai induktansi Lc2 = 0,448 mH. Tetapi induktor yang digunakan adalah 0,475 mH.

3.2.4 Penentuan Kapasitansi Kapasitor Konverter Boost Bertingkat

Ripple tegangan *output* konverter boost dapat diatur besarnya dengan menggunakan kapasitor. Maka diperlukan perhitungan nilai kapasitansi kapasitor yang akan digunakan dalam simulasi maupun implementasi. Nilai kapasitansi kapasitor dapat dicari dengan menggunakan persamaan 2.13 sebagai berikut:

$$R = \frac{V_o^2}{P} = \frac{400^2}{50} = 3200 \Omega$$

$$C1 = \frac{(0,6983).(57,143).(7)}{(3200).(0,04).(62500)} = 34,9 \mu\text{F}$$

$$C2 = \frac{(0,755).(57,143).(7)}{(3200).(0,04).(62500)} = 37,75 \mu\text{F}$$

Nilai kapasitansi kapasitor dipilih yang terbesar yaitu 37,75 μF . Akan tetapi yang digunakan adalah 47 μF .

3.2.5 Menentukan Tingkat (Nc) Konverter Cük Bertingkat

Jumlah tingkat yang digunakan oleh konverter Cük bertingkat agar tegangan keluaran adalah 96 volt dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 2.23 dibawah ini.

$$N_c = \left(\frac{96}{17,24}\right). (1 - 0,6983) + (1 - 0,6983)$$

$$N_c = (1,68) + (0,3017) = 1,9817 \approx 2$$

Jadi jumlah tingkat yang digunakan adalah 2 tingkat.

3.2.6 Menentukan Kapasitansi Kapasitor (Cc Dan Cco)

Kegunaan kapasitor pada konverter Cük disini ada dua, yaitu jika kapasitor pertama (Cc) adalah untuk menaikkan level tegangan dan juga

untuk menangani *ripple* tegangan, sedangkan kapasitor kedua (C_{co}) adalah untuk mengurangi *ripple* tegangan *output*. Keduanya dapat ditentukan dengan persamaan 2.24.

$$R = \frac{V_o^2}{P} = \frac{96^2}{50} = 184,32 \Omega$$

$$C_c = \frac{V_o \cdot D}{N \cdot R \cdot f \cdot \Delta V_c}$$

$$C_c = \frac{96 \cdot (0,6983)}{2 \cdot (184,32) \cdot (62500) \cdot (0,01)}$$

$$C_c = 290,9 \mu\text{F} \approx 330 \mu\text{F}$$

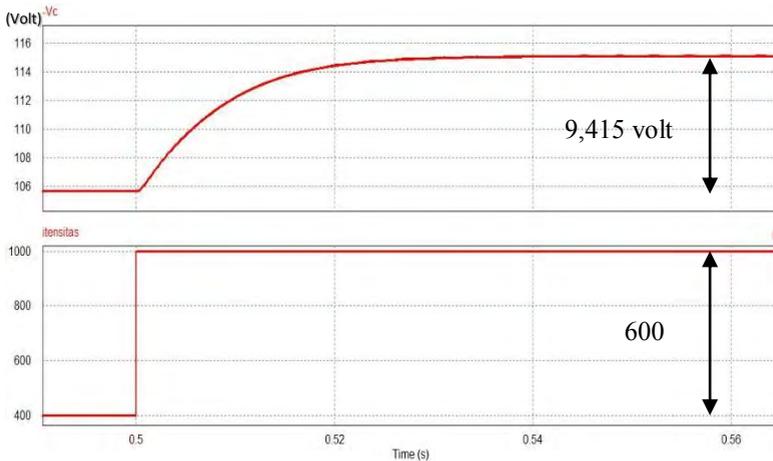
Sedangkan untuk mencari nilai C_{co} adalah dengan menggunakan persamaan 2.25.

$$C_{co} = \frac{1-D}{8 \cdot (L2) \cdot R_p \cdot f^2} = \frac{1-0,6983}{8 \cdot (0,000448) \cdot (0,01) \cdot (62500^2)} = 2,155 \mu\text{F}$$

Maka nilai kapasitansi $C_{co} \geq 2,155 \mu\text{F} \approx 2,2 \mu\text{F}$

3.2.7 Perhitungan *Controller*

Perhitungan *controller* menggunakan *metode process reaction curve*. Didapatkan kurva dari simulasi.



Gambar 3.2 *Process reaction curve* konverter Cük

Dengan menggunakan persamaan 2.27 dan 2.28 maka didapat.

$$K_p = \frac{9,415}{600} = 0,057$$

$$t_{63\%} = 0,50862 \text{ s}$$

$$t_{28\%} = 0,50324 \text{ s}$$

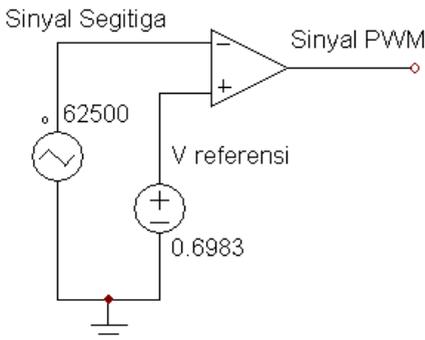
$$\tau = 1,5 \cdot (0,50862 - 0,50324) = 0.00807$$

3.3 Simulasi

Simulasi ini merupakan alat untuk menguji rangkaian menggunakan *software* dengan parameter yang telah didapat dari perhitungan. Terdapat dua rangkaian yang digunakan dalam mendesain konverter, yaitu rangkaian utama dan rangkaian pensaklaran (*Pulse Width Modulation* atau PWM).

3.3.1 Simulasi Rangkaian PWM

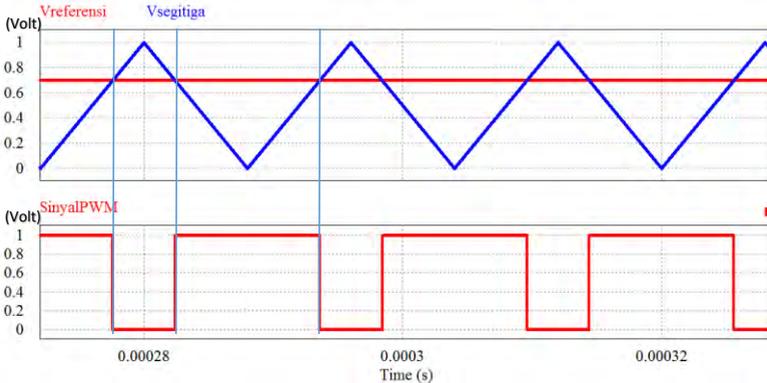
Pada simulasi digunakan komparator untuk membangkitkan sinyal pulsa dengan membandingkan gelombang segitiga dan tegangan DC sebagai referensi. Dengan mengubah tegangan referensi maka dapat mengatur *duty cycle* sinyal PWM yang dibangkitkan. Gambar rangkaian pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Rangkaian pembangkit sinyal PWM

Pada simulasi desain PWM, untuk mengatur *duty cycle* adalah dengan mengubah tegangan referensi. Karena pada desain simulasi besar *duty cycle* sama dengan tegangan referensi ($D = V_{\text{referensi}}$). Sedangkan untuk

mengatur frekuensi PWM adalah dengan mengatur frekuensi sinyal segitiga ($f_{\text{PWM}} = f_{\text{sinyal segitiga}}$).



Gambar 3.4 Gelombang sinyal PWM pada simulasi. (a) Gelombang tegangan referensi (merah) dan tegangan segitiga (biru). (b) Gelombanga sinyal PWM

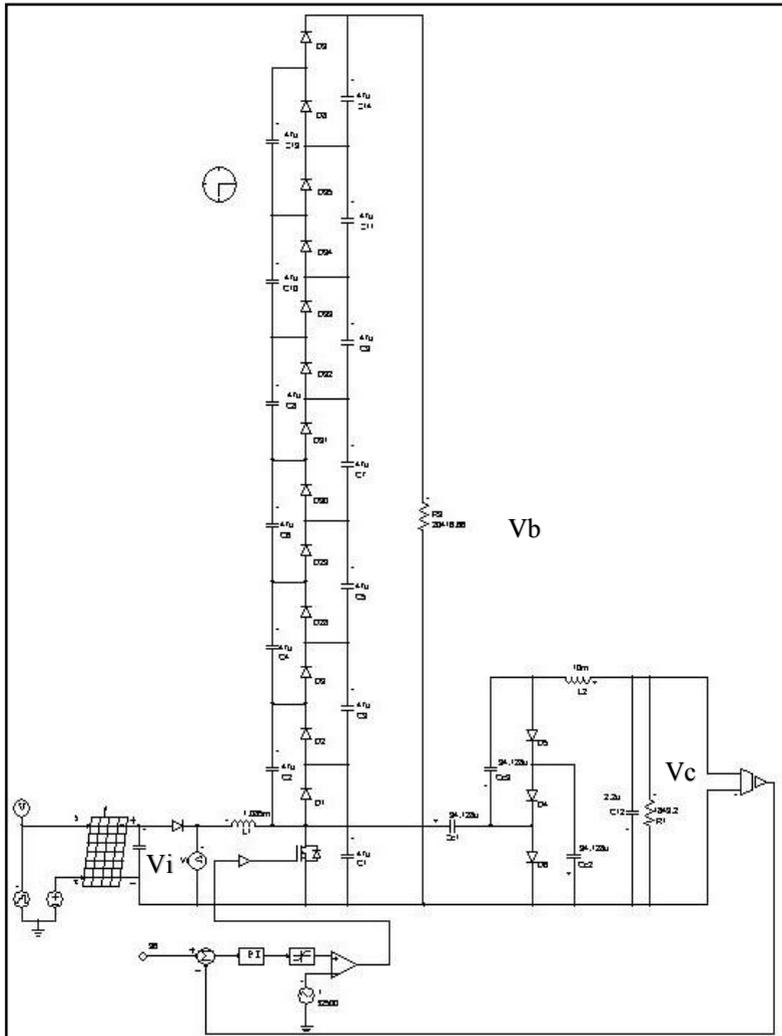
3.3.2 Simulasi Konverter Cük Keluaran Ganda Pada Kondisi *Steady State*

Pada simulasi konverter Cük keluaran ganda terdiri dari bentuk-bentuk sinyal tegangan dan arus pada rangkaian dibandingkan dengan sinyal pensaklaran pada V_{gs} MOSFET. Sinyal yang diambil antara lain adalah tegangan MOSFET (V_{ds}), *ripple* arus L1, tegangan kapasitor ($C1$), V_b , arus L2, tegangan kapasitor (C_{c1} dan C_{c0}). Rangkaian simulasi dapat dilihat pada gambar 3.5.

Pada simulasi, konverter boost bertingkat menggunakan 7 tingkat dan konverter Cük bertingkat menggunakan 2 tingkat. Simulasi ini bertujuan untuk mendapatkan spesifikasi komponen yang sesuai dengan kapasitas tegangan dan arus untuk setiap komponen. Selain untuk mendapatkan spesifikasi komponen yang dibutuhkan, dengan simulasi juga dapat diketahui bahwa rangkaian dan desain dari perhitungan sudah dapat dijalankan.

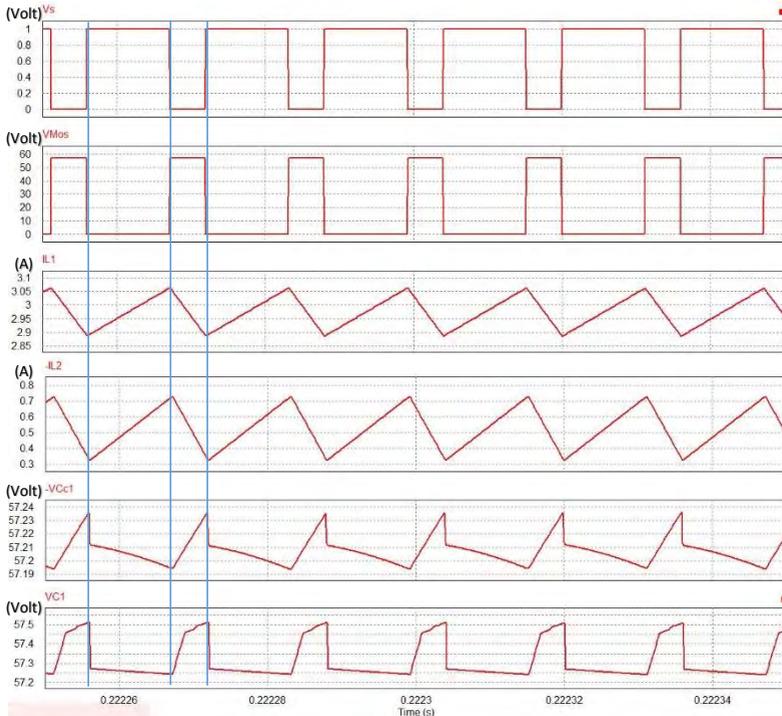
Saat simulasi *open loop* dicari respon antara *step* tegangan masukan dengan respon pada nilai tegangan keluaran hingga *steady state* pada konverter Cük bertingkat yang akan dijaga konstan 96 volt. Setelah

mendapatkan kurva respon kedua sinyal tersebut maka akan dapat dilakukan pencarian nilai-nilai yang digunakan untuk menentukan *gain* (K_p) dan nilai *time constant* (τ).



Gambar 3.5 Rangkaian simulasi konverter Cük keluaran ganda

Untuk mengetahui kerja konverter maka ditampilkan beberapa sinyal pada rangkaian simulasi. Sinyal rangkaian terdapat pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 Sinyal *steady state* pada rangkaian simulasi

Pada gambar 3.6 terlihat bahwa tegangan MOSFET (V_{ds}) naik hingga 57 volt pada saat saklar *off* (*open*). Itu dikarenakan pada saat saklar *open* $V_{ds} = V_{L1} + V_i$. Sedangkan pada saat saklar *on* (*close*) $V_{ds} = 0$ volt. Naik dan turunnya tegangan V_{ds} mengakibatkan terjadi *charge-discharge* pada kapasitor C1 dan Cc1. Pada saat saklar *off* maka kapasitor C1 dan Cc1 terisi sedangkan pada saat saklar *on* kapasitor C1 dan Cc1 *discharge*. Tetapi terdapat kecuraman pada Cc1 pada saat terisi, itu dikarenakan kapasitansi Cc1 lebih besar dibandingkan kapasitansi C1 yang mengakibatkan muatan mampu mengisi kapasitor lebih cepat.

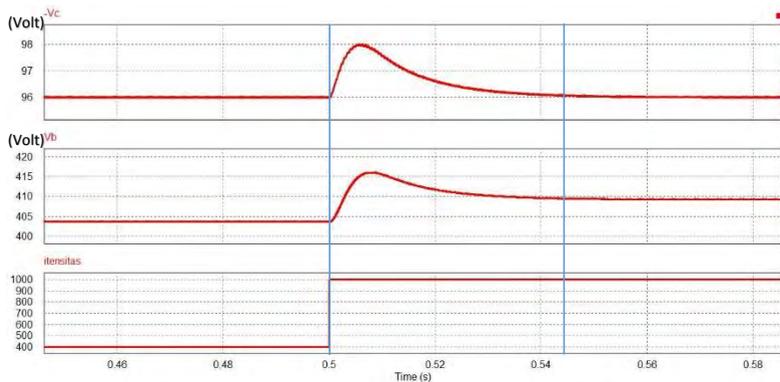
Pada arus L1 dan L2 meningkat pada saat saklar pada kondisi *on* dan menurun pada saat saklar pada kondisi *off*. Itu dikarenakan pada saat

kondisi *on* induktor L1 dan L2 terisi dan arusnya meningkat, sedangkan pada kondisi *off* induktor mengalami *discharge* sehingga arus menurun.

3.3.3 Simulasi Dinamis

Setelah didapat nilai K_p dan τ didapat kemudian dimasukkan pada *control PI* pada simulasi. Dengan *error* didapat dari sumber DC = 96 volt dikurangi dengan sensor tegangan konverter Cük bertingkat dengan.

Keluaran PI akan digunakan untuk menjadi pensaklaran V_{gs} pada MOSFET. Dengan adanya *control PI* maka *duty cycle* akan menjadi terkontrol menyesuaikan tegangan keluaran konverter Cük bertingkat keluaran. Sedangkan nilai tegangan keluaran konverter boost bertingkat akan dipengaruhi oleh V_i dan *duty cycle* yang berubah. Jadi tegangan V_b akan berubah-ubah mengikuti V_i dan *duty cycle*. Sinyal tegangan V_c , V_b dan V_i pada saat *close loop* dapat dilihat pada gambar 3.7.



Gambar 3.7 Tegangan keluaran konverter Cük keluaran ganda pada saat *close loop*

Pada gambar 3.7 dapat dilihat bahwa waktu untuk kembali konstan yaitu 0,045 s. Sedangkan V_b tetap meningkat seiring meningkatnya V_i dan V_c tetap konstan di 96 volt. Pada saat V_i naik, maka V_c dan V_b akan mendadak naik, akan tetapi karena V_c terkontrol pada 96 volt, jadi *duty cycle* akan turun untuk menstabilkan V_c . Akan tetapi V_b mendapat peningkatan tegangan, yang pada saat intensitas rendah $V_b = 382$ volt menjadi 409 volt setelah intensitas cahaya naik. Itu dikarenakan penurunan *duty cycle* tidak sebanding dengan kenaikan V_i untuk konverter boost bertingkat.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 4

IMPLEMENTASI, PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA

Pada BAB 3 telah dibahas mengenai diagram system, perancangan, simulasi dan implementasi konverter Cük keluaran ganda. Untuk membuktikan antara perhitungan, simulasi dan implementasi, maka pada BAB 4 ini membahas tentang pengujian dan analisis konverter Cük keluaran ganda.

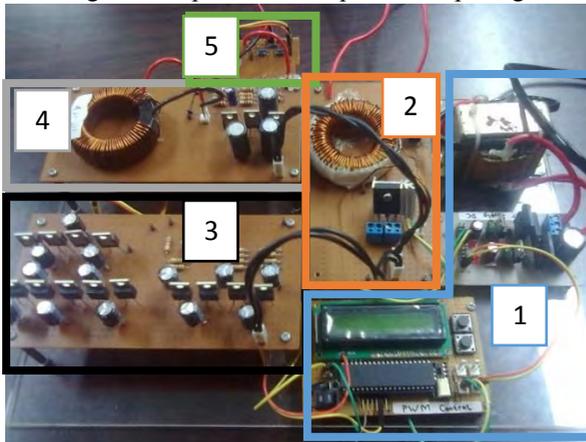
4.1 Implementasi

Pada implementasi diperlukan spesifikasi komponen seperti pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Spesifikasi komponen

Komponen	Spesifikasi minimal	Jumlah
Induktor L1	1,085 mH, 3A	1
Induktor L2	0,475 mH, 0,5 A	1
MOSFET	58 V, 3,05 A	1
Kapsitor C	47 μ F, 58 V	13
Kapasitor Cc	330 μ F, 58 V	3
Kapasitor Cco	2,2 μ F, 98 V	1
Diode	Frekuensi tinggi	16
Pembangkit PWM	62500 Hz, 18 V	1

Rangkaian implementasi dapat dilihat pada gambar 4.1 dibawah ini.



Gambar 4.1 Implementasi konverter Cük keluaran ganda

Keterangan:

1. Rangkaian pembangkit sinyal PWM
2. Rangkaian pensaklaran dan L1
3. Rangkaian konverter boost bertingkat (7N)
4. Rangkaian konverter Cük bertingkat (2N) dan L2
5. Sensor tegangan

4.2 Peralatan Pengujian

Peralatan yang digunakan untuk melakukan pengujian konverter Cük keluaran ganda untuk aplikasi *photovoltaic* yaitu seperti pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Peralatan pengujian alat

1. Satu *module photovoltaic* berkapasitas $P_m = 50\text{ W}$ dengan tegangan pada saat P_{max} adalah $V = 17,24\text{ Volt}$ dan $I = 2,9\text{ A}$. Rating module photovoltaic dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 *Electrical Specifications PV module*

Parameter	Spesifikasi
<i>Model</i>	eS50236-PCM
<i>Maximum Power</i>	50 Wp
<i>Short Circuit Current</i>	3,25 A
<i>Maximum Power Current</i>	2,91 A

Tabel 4.2 *Electrical Specifications PV module* (lanjutan)

Parameter	Spesifikasi
<i>Open Circuit Voltage</i>	21,75 V
<i>Nominal Voltage</i>	17,24 V

2. Supply DC dengan maksimal tegangan 30 volt dan arus 3 ampere. Supply DC digunakan untuk pengujian pengganti *photovoltaic* pada saat daya besar.
3. Tiga ampere meter dan tiga volt meter untuk mengetahui nilai tegangan *input* (V_i), arus *input* (I_i), tegangan keluaran konverter Cük bertingkat (V_c), arus keluaran konverter Cük bertingkat (I_c), tegangan keluaran konverter boost bertingkat (V_b) dan arus keluaran konverter boost bertingkat (I_b).
4. Osiloskop untuk melihat respon gelombang pada komponen maupun pada *input* dan keluaran konverter.

Pada saat pengujian menggunakan *DC power supply* dikarenakan jika menggunakan *photovoltaic* daya yang dihasilkan tidak dapat mencapai 50 Wp. Sedangkan jika menggunakan *DC power supply* daya pengujian mampu mencapai 50 W. Daya pengujian *photovoltaic* dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.3 Daya keluaran *photovoltaic* pada pukul 12.25-12.40

R (Ω)	V (volt)	I (ampere)	P (W)
<i>Open Circuit</i>	18.75	0	0
10.4	14.9	1.27	18.923
9.7	14.75	1.32	19.47
8.9	14.4	1.38	19.872
8.4	14.1	1.44	20.304
7.7	13.6	1.52	20.672
6.9	13.4	1.6	21.44
6.3	12.81	1.7	21.777
5.7	12.4	1.77	21.948
5	12.1	1.93	23.353
4.3	11.4	2.05	23.37
3.7	10.75	2.2	23.65
3.1	9.9	2.36	23.364

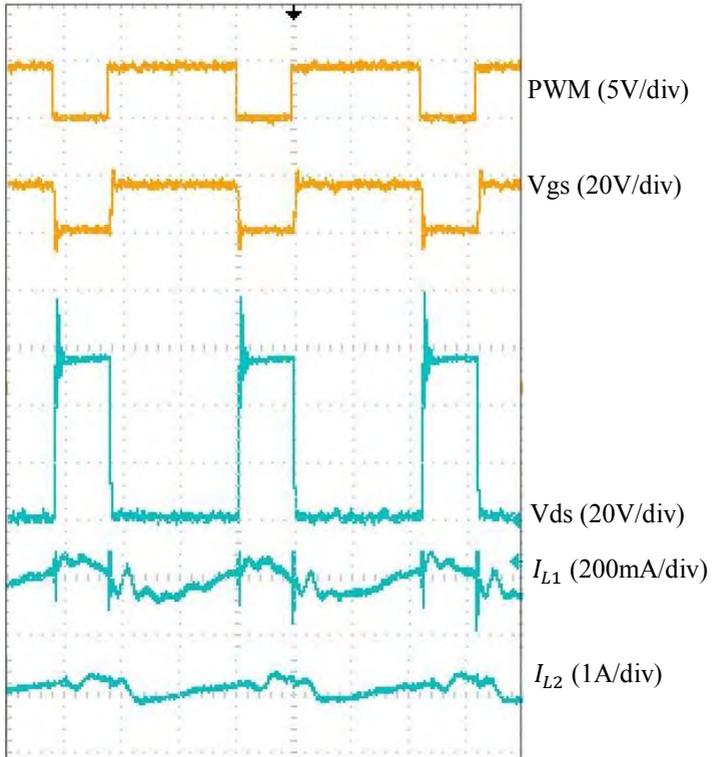
Tabel 4.3 Daya keluaran *photovoltaic* pada pukul 12.25-12.40 (lanjutan)

R (Ω)	V (volt)	I (ampere)	P (W)
2.3	8.75	2.54	22.225
1.6	7.51	2.69	20.2019
<i>Short Circuit</i>	0	2.84	0

4.3 Pengujian Pada Kondisi *Steady State*

Pengujian pada kondisi *steady state* ini dilakukan untuk mengetahui gelombang pada rangkaian, rasio dan efisiensi konverter.

4.3.1 Gelombang Rangkaian



Gambar 4.3 Gelombang rangkaian konverter

Time/div pada osiloskop adalah $5\mu\text{s}$, sehingga dapat dihitung frekuensi dari pensaklaran Vgs.

$$T = \frac{5 \mu s}{5 \text{ titik}} \times 16 \text{ titik} = 16 \mu s$$

$$f = \frac{1}{16 \mu s} = 62500 \text{ Hz}$$

Frekuensi implementasi = frekuensi desain, dan tegangan Vgs adalah 18 volt, sedangkan *duty cycle* yang dioperasikan adalah:

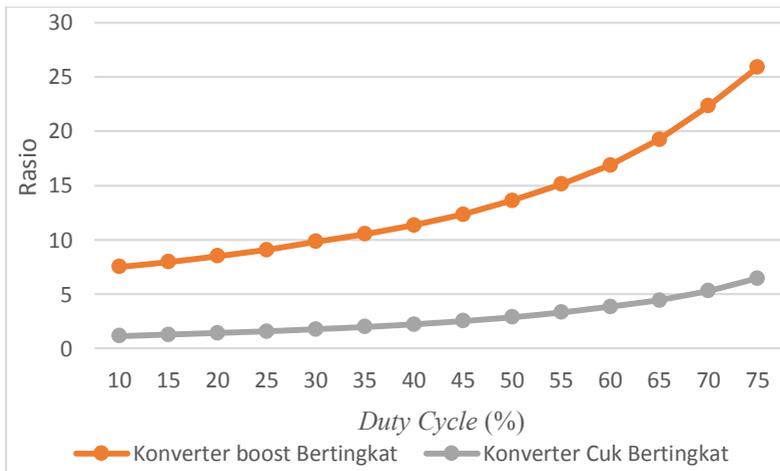
$$D = \frac{11 \mu s}{16 \mu s} = 0,6875 = 68,75\%$$

Pada saat kondisi saklar *off* maka tegangan Vds akan naik hingga 56 volt, sedangkan pada saat saklar *on* maka Vds = 0 volt. Itu dikarenakan pada saat saklar *off* Vds = Vi + VL1 dan ketika saklar *on* maka Vds *close* dan tidak terdapat tegangan.

Sedangkan IL1 dan IL2 meningkat pada saat saklar pada kondisi *on*, dan IL1 dan IL2 menurun pada saat sklar pada kondisi *off*. Itu dikarenakan pada saat saklar *on* maka induktor L1 dan L2 akan tersi sehingga arus meningkat dan pada saat saklar kondisi *off* maka induktor L1 dan L2 akan mengalami *discharge* mengakibatkan arus akan menurun.

4.3.2 Pengujian Rasio Konverter

Pengujian rasio ini dilakukan dengan cara mengubah *duty cycle* dari rendah hingga tinggi dan didapatkan rasio konverter seperti gambar 4.4.

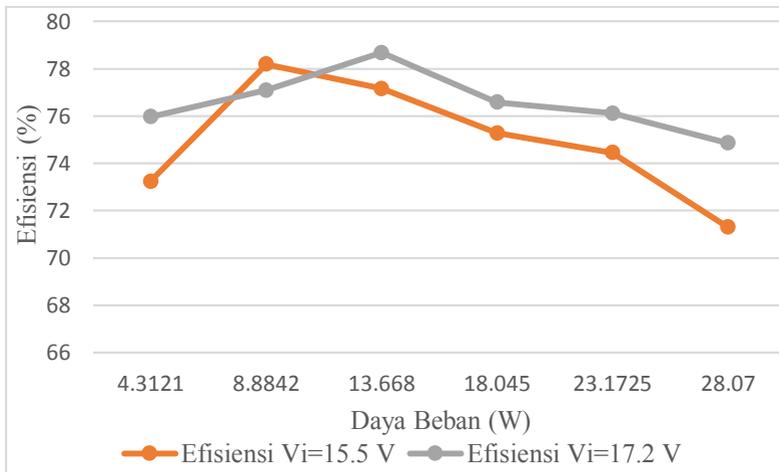


Gambar 4.4 Rasio konverter Cük kleuaran ganda

Dari grafik dapat dilihat bahwa semakin besar *duty cycle* maka rasio yang dihasilkan akan semakin tinggi. Tetapi terdapat perbedaan antara rasio konverter boost bertingkat dengan rasio konverter Cük bertingkat. Rasio konverter boost bertingkat lebih tinggi daripada konverter Cük bertingkat, itu dikarenakan jumlah tingkat yang diaplikasikan pada konverter boost lebih banyak daripada tingkat yang diaplikasikan pada konverter Cük yang mengakibatkan rasio berbeda.

4.3.2 Pengujian Efisiensi Konverter

Pengujian ini dilakukan dengan mengubah-ubah beban konverter dengan tegangan masukan yang konstan. Garfik efisiensi konverter boost bertingkat terdapat pada gambar 4.5.

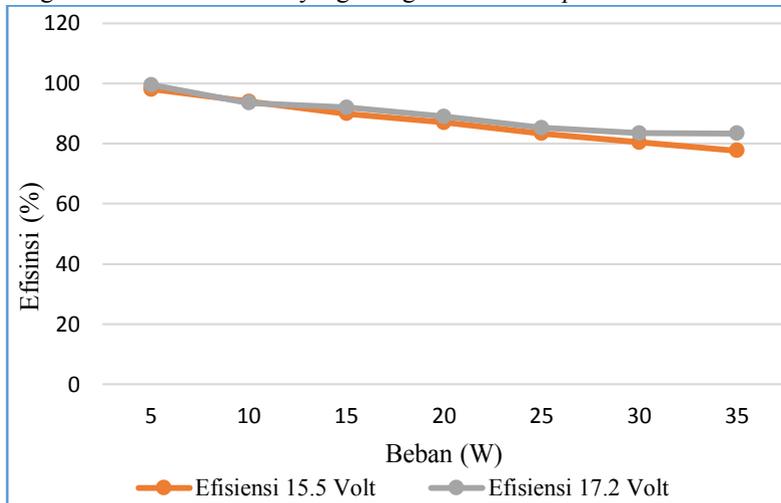


Gambar 4.5 Efisiensi konverter boost bertingkat

Efisiensi konverter boost bertingkat tertinggi terdapat pada beban 13,668W dengan tegangan masukan 17,2 volt. Tetapi semakin besar beban maka efisiensi semakin turun. Itu dikarenakan pada tegangan masukan yang konstan dan beban yang meningkat, maka arus pada rangkaian akan semakin meningkat yang mengakibatkan *drop* pada rangkaian semakin besar.

Sedangkan grafik efisiensi konverter Cük bertingkat terdapat pada gambar 4.6. Pada gambar terlihat bahwa efisiensi konverter Cük bertingkat semakin turun pada saat beban meningkat. Itu dikarenakan

pada tegangan masukan yang konstan dan beban yang meningkat, maka arus pada rangkaian akan semakin meningkat yang mengakibatkan *drop* pada rangkaian semakin besar. Dan efisiensi pada saat $V_i = 15,5$ volt lebih buruk dibandingkan $V_i = 17,2$ volt pada beban yang sama. Itu disebabkan dengan tegangan lebih rendah untuk beban yang sama, maka arus pada rangkaian akan lebih besar yang mengakibatkan *drop* semakin besar.



Gambar 4.6 Efisiensi konverter Cük bertingkat

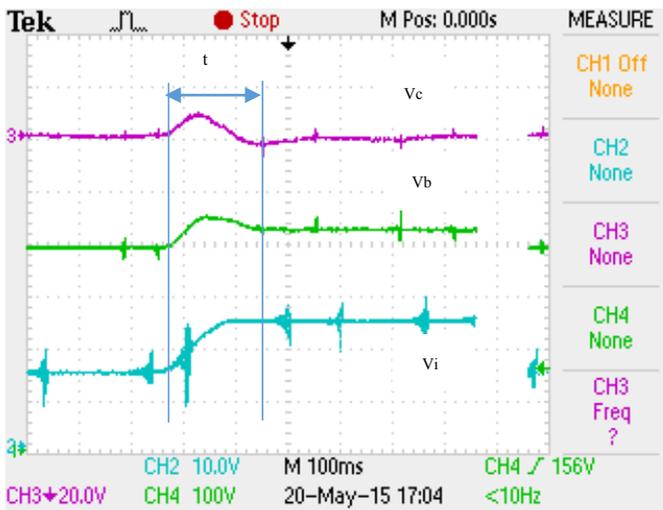
4.4 Pengujian Pada *Close Loop*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui respon keluaran konverter dengan *try and error* $K_p = 1$ $K_i = 100$ dan $\tau = 0,044$ pada saat perubahan tegangan masukan (V_i) maupun pada saat perubahan beban.

4.6.1 Pengujian Perubahan Tegangan *Input*

Perubahan tegangan *input* ini dilakukan untuk mengetahui keluaran masing-masing konverter pada saat dijalankan secara bersamaan dengan beban resistif yang konstan. Tegangan keluaran konverter Cük keluaran ganda dipengaruhi oleh tegangan *input* (V_i) dan juga *duty cycle*. Bentuk sinyal tagangan *input* (V_i), tegangan keluaran konverter boost bertingkat (V_b) dan tegangan keluaran konverter Cük bertingkat (V_c) terdapat pada gambar 4.7. Pada saat V_i naik, maka mempengaruhi tegangan keluaran V_c dan V_b semakin naik, akan tetapi karena sistem *close loop* dengan V_c

konstan 96 volt, maka *duty cycle* akan turun, sehingga V_c tetap konstan meskipun tegangan naik. Sedangkan pada konverter boost bertingkat V_b mengalami kenaikan pada saat tegangan *input* naik dibandingkan sebelum tegangan *input* naik, hal itu dikarenakan penurunan *duty cycle* tidak terlalu besar jika dibandingkan dengan kenaikan tegangan *input*. Dan sebaliknya jika V_i turun. Pada pengujian perubahan V_i waktu yang dibutuhkan konverter untuk kembali konstan adalah 0,22 s. Waktu tersebut masih mampu untuk aplikasi pada *photovoltaic* karena perubahan intensitas cahaya matahari tidak terlalu cepat.



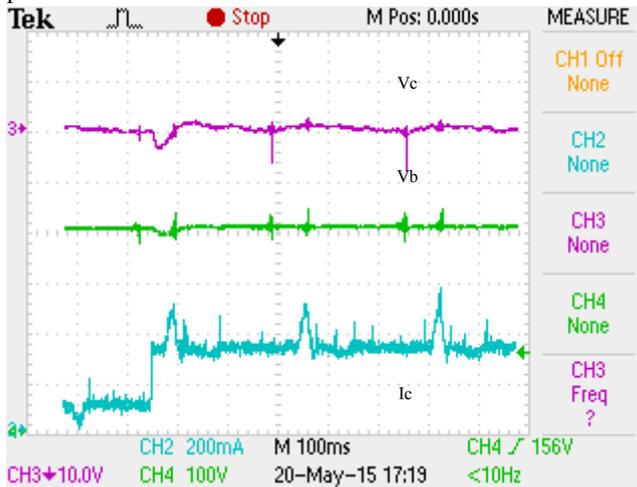
Gambar 4.7 Respon tegangan keluaran terhadap perubahan V_i .

4.6.2 Pengujian Perubahan Beban

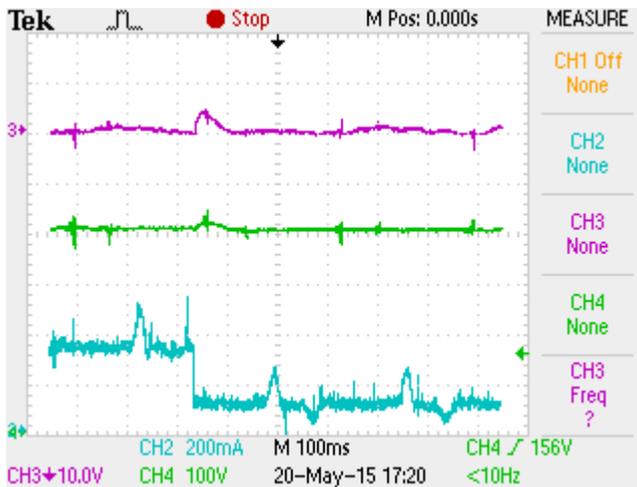
Pada perubahan beban dilakukan untuk mengetahui respon pada tegangan keluaran konverter pada saat beban berubah. Bentuk gelombang tegangan V_c , V_b dan I_c dapat dilihat pada gambar 4.8 dan gambar 4.9.

Respon pada saat kenaikan beban dapat dilihat pada gambar 4.8. Pada saat beban bertambah, maka arus yang diserap akan naik dan mengakibatkan *drop* tegangan pada V_c dan V_b . Pada saat tegangan V_c turun, maka *duty cycle* akan meningkat sehingga V_c akan kembali konstan pada 96 volt. Dan begitu juga sebaliknya, apabila beban turun maka arus akan turun dan tegangan V_c dan V_b akan menjadi meningkat.

Karena tegangan naik maka *duty cycle* akan turun untuk menstabilkan V_c pada 96 volt.



Gambar 4.8 Respon tegangan keluaran terhadap kenaikan beban.



Gambar 4.9 Respon tegangan keluaran terhadap penurunan beban

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

1. Ranjana Mahajan, Reddy Nandyala, Kumar Rapalle, “*A Novel Sepic Based Dual Output DC-DC Converter for Solar Applications*”, IEEE Trans. Power Electron. 2014.
2. Kim J. Kum, Park J. Eon, Kim D. You, Moon G. Woo.”*A New ZVS Multi-output Flyback Converter with Synchronous Switches*”, IEEE Trans. Power Electron. 2011.
3. Ranjana Mahajan, Reddy Nandyala, Kumar Rapalle, “*Non-Isolated Dual Output Hybrid DC-DC Multilevel Converter for Photovoltaic Applications*”, IEEE Trans. Power Electron. 2014.
4. Mostafa Mousa, Mahrous Ahmed. “*A Switched Inductor Multilevel Boost Converter*”, IEEE Trans. Power Electron. 2010.
5. J. C. Rosas-Caro, J. C. Mayo-Maldonado, A. Gonzalez-Rodriguez, E. N. Salas-Cabrera, M. Gómez-García, O. Ruiz-Martinez, R. Castillo-Ibarra and R. Salas-Cabrera. “*Topological Derivation of DC-DC Multiplier Converters*”, Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2010 Vol II.
6. Akhmad Zaky Fanani, “*Desain dan Simulasi Konverter Boost Multilevel sebagai Catu Daya Kendaraan Listrik*”, Jurnal Teknik POMITS Vol. 3, No. 1, (2014) ISSN: 2337-3539 (2301-9271 Print).
7. Jepry, “*Perancangan Pengendali PID Pada Proportional Valve*”, Universitas Indonesia, Depok , Bab 3, 2010.
8. Gilbert M. Master,” *Renewable and Efficient Electric Power Systems*”, Stanford University, Ch 8, 2004.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 5

PENUTUP

Pada BAB 5 menjelaskan mengenai kesimpulan dari hasil analisis dari pengujian alat yang dilakukan dan juga saran jika ada penelitian selanjutnya mengenai konverter Cük keluaran ganda selanjutnya.

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari pengujian dan analisis mengenai konverter Cük keluaran ganda ini antara lain:

1. Dengan satu masukan (*input*) dan satu saklar (*switch*), konverter Cük keluaran ganda dapat mempunyai dua keluaran dengan level tegangan yang berbeda.
2. Karena menggunakan konverter Cük dan konverter boost bertingkat, maka akan didapat rasio tegangan yang lebih tinggi dibandingkan dengan konverter Cük dan konverter boost yang konvensional (tidak bertingkat) dengan *duty cycle* dan tegangan masukan yang sama.
3. Akan tetapi, semakain tinggi tingkat yang digunakan maka akan terjadi *drop* tegangan yang semakin besar karena komponen yang digunakan semakin banyak.
4. Efisiensi konverter Cük keluaran ganda akan semakin turun jika beban semakin tinggi. Dengan tegangan yang tetap, bertambahnya beban akan mengakibatkan *drop* pada komponen semakin besar karena arus pada rangkaian semakin tinggi.
5. Tegangan keluaran konverter boost bertingkat (V_b) dapat berubah (tidak konstan 400 volt) antara 380 volt hingga 425 volt. Itu dikarenakan *duty cycle* konverter boost bertingkat mengikuti *duty cycle* konverter Cük betingkat.

5.2 Saran

Konverter Cük keluaran ganda mempunyai efisiensi semakin buruk jika beban semakin besar. Maka dari itu, untuk mendesain konverter ini dengan rasio tinggi dan daya besar harus diperhitungkan keprluan jumlah tingakat dan komponen yang digunakan, agar *drop* pada rangkaian tidak terlalu besar.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

1. Kode Program

/******

This program was produced by the

CodeWizardAVR V2.05.0 Professional

Automatic Program Generator

© Copyright 1998-2010 Pavel Haiduc, HP InfoTech s.r.l.

<http://www.hpinfotech.com>

Project :

Version :

Date : 5/9/2015

Author :

Company :

Comments:

Chip type : ATmega16

Program type : Application

AVR Core Clock frequency: 16.000000 MHz

Memory model : Small

External RAM size : 0

Data Stack size : 256

*****/

```
#include <mega16.h>
```

```
#include <stdio.h>
```

```

#include <delay.h>
#include <alcd.h>
#define ADC_VREF_TYPE 0x40
unsigned int read_adc(unsigned char adc_input)
{
ADMUX=adc_input | (ADC_VREF_TYPE & 0xff);
delay_us(10);
ADCSRA|=0x40;
while ((ADCSRA & 0x10)==0);
ADCSRA|=0x10;
return ADCW;
}
float error, outP, errorI, outI, Kp, Ki, tegangan, Vref, Vreal, outPI;
char bufVbit[16],bufVreal[16],bufPI[16],bufEI[16];
void main(void)
{
{
PORTA=0x00;
DDRA=0x00;
PORTB=0x00;
DDRB=0x00;
PORTC=0x00;
DDRC=0x00;

```

```
PORTD=0x00;
DDRD=0x30;
CCR0=0x00;
TCNT0=0x00;
OCR0=0x00;
TCCR1A=0xA1;
TCCR1B=0x09;
TCNT1H=0x00;
TCNT1L=0x00;
ICR1H=0x00;
ICR1L=0x00;
OCR1AH=0x00;
OCR1AL=0x00;
OCR1BH=0x00;
OCR1BL=0x00;
ASSR=0x00;
TCCR2=0x00;
TCNT2=0x00;
OCR2=0x00;
MCUCR=0x00;
MCUCSR=0x00;
TIMSK=0x00;
UCSRB=0x00;
```

```

ACSR=0x80;
SFIOA=0x00;
ADMUX=ADC_VREF_TYPE & 0xff;
ADCSRA=0xA6;
SFIOA&=0x1F;

SPCR=0x00;
TWCR=0x00;
}
lcd_init(16);
lcd_gotoxy(0,0);
lcd_putsf("selamat datang");
delay_ms(1000);
lcd_clear();
Vref = 96;
Kp = 1;
Ki = 100;
while (1)
{
    tegangan=read_adc(0);
    Vreal = (float)((tegangan*5)/(42));
    //Proporsional
    error = (float)(Vref - Vreal);

```

```

outP = (float)(error * Kp);
//Integral
errorI +=(float)(error*0.044);
outI = (float)(errorI * Ki);
//Total
outPI = (float)(outP + outI);
if (errorI>985)
    {
        errorI = 985;
    }
if ((outPI)<765)
    {
        outPI = 765;
    }
if ((outPI)>985)
    {
        outPI = 985;
    }
OCR1A = (outPI/5);
sprintf(bufVbit,"E= %0.1f",error);
lcd_gotoxy(0,1);
lcd_puts(bufVbit);
sprintf(bufVreal,"V= %0.1f",Vreal);

```

```
lcd_gotoxy(0,0);  
lcd_puts(bufVreal);  
sprintf(bufPI,"O= %0.1f",outPI);  
lcd_gotoxy(7,1);  
lcd_puts(bufPI);  
sprintf(bufEI,"EI= %0.1f",errorI);  
lcd_gotoxy(7,0);  
lcd_puts(bufEI);  
}  
}
```

RIWAYAT HIDUP



Muhammad Dahlan merupakan nama lengkap penulis. Penulis dilahirkan di Ponorogo 4 Agustus 1993. Penulis merupakan anak ketiga dari empat bersaudara. Riwayat pendidikan dimulai dari TK Dharma Wanita Desa Paringan dan kemudian dilanjutkan ke SDN 2 Paringan. Setelah lulus sekolah dasar penulis melanjutkan sekolah di MTsN Ponorogo dan kemudian untuk tingkat menengah atas penulis melanjutkan ke SMAN 2 Ponorogo. Setelah lulus SMA, penulis melanjutkan pendidikan di Jurusan Teknik Elektro ITS Bidang Studi Sistem Tenaga. Hobi penulis adalah bermain futsal dan bermain game PC.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)