



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**IMPLEMENTASI ALGORITMA *MAXIMUM POWER POINT*  
*TRACKING* PADA PANEL *PHOTOVOLTAIC* MENGGUNAKAN  
METODE *PERTURB AND OBSERVE***

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana**

**DANIE NOVIN SUGIHARTO**

**0806365633**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
DEPOK  
JUNI 2010**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**IMPLEMENTASI ALGORITMA *MAXIMUM POWER POINT TRACKING* PADA PANEL *PHOTOVOLTAIC* MENGGUNAKAN  
METODE *PERTURB AND OBSERVE***

**SKRIPSI**

**DANIE NOVIN SUGIHARTO**

**0806365633**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
DEPOK  
JUNI 2010**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.**

**Nama : Danie Novin Sugiharto**

**NPM : 0806365633**

**Tanda Tangan :**

**Tanggal : 15 Juni 2010**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh : Danie Novin Sugiharto  
Nama : Danie Novin Sugiharto  
NPM : 0806365633  
Program Studi : Elektro  
Judul Skripsi : IMPLEMENTASI ALGORITMA *MAXIMUM POWER POINT TRACKING* PADA PANEL PHOTOVOLTAIC MENGGUNAKAN METODE *PERTURB AND OBSERVE*

**Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.**

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Aries Subiantoro M.SEE ( )  
(NIP : 197003311995121001)  
Penguji : Dr. Ir Feri Yusivar M.Eng ( )  
(NIP : 196710081994031002)  
Penguji : Dr. Abdul Muis ST, M.Eng, ( )  
(NIP : 197509011999031003)

Ditetapkan di : Depok  
Tanggal : 1 Juli 2010

## **KATA PENGANTAR / UCAPAN TERIMA KASIH**

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Ir. Aries Subiantoro, M.SEE dan Dr.Ir. Feri Yusivar, M.Eng, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
- (2) Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral
- (3) PT. Enerren Technologies, tempat saya bekerja yang memberikan full support terhadap perkuliahan saya.
- (4) Teman – teman satu team suryo, andri, dodo, sian dan team lab kendali yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.
- (5) Teman – teman satu departemen yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu yang juga banyak memberi support dalam menyelesaikan skripsi ini
- (6) Sahabat – sahabat saya weli, tosy, tay, boy, diaz, defiana, virna, vanya dan semua sahabat yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu yang terus memberikan semangat positif dalam proses pengerjaan skripsi ini

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 15 Juni 2010

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

---

**Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:**

Nama : Danie Novin Sugiharto  
NPM : 0806365633  
Program Studi : Elektro  
Departemen : Elektro  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

IMPLEMENTASI ALGORITMA MAXIMUM POWER POINT TRACKING  
MENGUNAKAN METODE PERTURB AND OBSERVE

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok  
Pada Tanggal : 15 Juni 2010

Yang menyatakan

(Danie Novin Sugiharto)

## ABSTRAK

Nama : Danie Novin Sugiharto  
Program Studi : Elektro  
Judul : Implementasi Algoritma *Maximum Power Point Tracking* pada Panel *Photovoltaic* Menggunakan Metode *Perturb and Observe*

Energi dari Photovoltaic (PV) dapat menjadi salah satu sumber daya terbarukan alternatif untuk pembangkitan listrik. Daya listrik yang dihasilkan oleh Photovoltaic tergantung dari temperatur dan radiasi dari sinar matahari sehingga Photovoltaic memiliki rata-rata tingkat energi yang maksimum pada siang hari, yang bertepatan dengan tingkat kebutuhan listrik yang paling besar. Dalam mendesain sistem solarcell yang efisien sangat ditekankan untuk menggunakan sistem *Maximum Power Pointer Tracking* (MPPT). MPPT bukan sistem pengontrol mekanis, namun pengontrol secara elektronik yang membuat array PV berada pada titik kerja maksimum. Dengan menggunakan algoritma pencarian P&O, pencarian terhadap daya optimum pada suatu PV akan sangat mungkin didapat.

Kata kunci :  
Photovoltaic, MPPT, daya, Algoritma perturb and observe (P&O).

## ABSTRACT

Name : Danie Novin Sugiharto  
Study Program : Elektro  
Title : Implementasi Algoritma Maximum Power Point Tracking  
Menggunakan Metode Perturb and Observe

Energy from Photovoltaic (PV) may be one alternative to the distributed power system, power generated by Photovoltaic depending on temperature and radiation from the sun, so Photovoltaic had an average maximum level of energy during the day, which happened to coincide with the level of need The largest electricity. In designing an efficient system solarcell highly emphasized to use the system Maximum Power Pointer Tracking (MPPT). MPPT is operating the electronic system or an array of Photovoltaic modules in a way that allows the PV to get maximum power, MPPT not a mechanical system, but electronically makes the PV array is at its maximum power. By using Perturb and Observe algorithm, it is possible to search the optimum power of PV on every condition.

Key words :  
Photovoltaic, MPPT, Power, Perturn and Observe algorithm.

## DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar pengesahan	ii
Kata pengantar	iii
Lembar Persetujuan Publikasi Karya Ilmiah	iv
Abstrak	v
Abstract	vi
Daftar isi	viii
Daftar gambar	ix
Daftar tabel	xi
<b>1. Pendahuluan</b>	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	1
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Sistematika Penulisan	2
<b>2. Dasar Teori</b>	3
2.1 Photovoltaic	3
2.1.2 Energi <i>Photovoltaic</i>	5
2.2 DC-DC Converter	11
2.2.1 <i>Linear Voltage Regulator</i>	12
2.2.2 <i>Switching Converter</i>	14
2.2.2.1 Induktor	14
2.2.2.2 Transformer	16
2.2.2.3 PWM	16
2.4 MPPT	21
<b>3. Perancangan Sistem MPPT</b>	24
3.1 Penjelasan Sitem secara umum	24
3.2 Perancangan DC-DC converter	24
3.2.1 Perancangan Buck Converter	29
3.3 Perancangan Kontrol Digital	34
3.4 Perancangan Algoritma MPPT	43
<b>4. Pengujian dan Analisis Data</b>	47
4.1 Pengujian rangkaian sensing tegangan dan arus	47
4.2 Pengujian <i>Buck Converter</i>	49
4.2.1 Pengujian respon output rangkaian <i>buck converter</i>	58
4.3 Pengujian Algoritma MPPT	60
<b>5. Kesimpulan</b>	71
<b>Daftar acuan</b>	71
<b>Daftar Referensi</b>	72
<b>Lampiran</b>	73

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Photovoltaic</i>	3
Gambar 2.2 Diagram dari potongan sel surya	4
Gambar 2.3 Grafik arus terhadap tegangan (I – V)	6
Gambar 2.4 Efek temperatur pada <i>photovoltaic</i> dalam tegangan (V)	7
Gambar 2.5 Efek intensitas matahari terhadap arus (I)	8
Gambar 2.6 Orientasi array pada panel surya	8
Gambar 2.7 Diagram Hubungan Sel Surya, Modul, Panel dan Array	9
Gambar 2.8 Jenis-jenis array pada photovoltaic	10
Gambar 2.9 Blok diagram Linear Voltage Regulator	12
Gambar 2.10 Standart (NPN darlington) regulator	13
Gambar 2.11 <i>LDO regulator</i>	13
Gambar 2.12 Quasi <i>LDO regulator</i>	14
Gambar 2.13 Hubungan tegangan/arus dalam induktor	15
Gambar 2.14 Teori transformer	16
Gambar 2.15 Prinsip dasar PWM	16
Gambar 2.16 Buck Converter	17
Gambar 2.17 Boost converter	18
Gambar 2.18 Buck-Boost converter	19
Gambar 2.19 Flyback regulator	20
Gambar 2.20 Push-pull converter	20
Gambar 2.21 contoh blok diagram dari MPPT	22
Gambar 2.22 Contoh flowchart algoritma MPPT	23
Gambar 3.1 Blok diagram sistem MPPT	24
Gambar 3.2 Skematik dasar <i>buck converter</i>	25
Gambar 3.3 rangkaian ekivalen <i>buck konverter</i>	28
Gambar 3.4 Skematik buck konverter hasil perancangan	33
Gambar 3.5 Rangkaian gate driver	34
Gambar 3.6 Rangkaian sistem mikrokontroler ATmega8535	35
Gambar 3.7 Gambar jalur pengambilan nilai arus input pada rangkaian buck konverter	36
Gambar 3.8 Gambar rangkaian pembagi tegangan untuk sensing arus input	36
Gambar 3.9 Gambar jalur pengambilan nilai arus input pada rangkaian buck konverter	39
Gambar 3.10 Gambar jalur pengambilan nilai tegangan input dan output pada rangkaian buck konverter	40
Gambar 3.11 Gambar total perancangan rangkaian	43
Gambar 3.12 Flowchart Algoritma P&O untuk mencari daya optimum	47
Gambar 4.1 Gambar gelombang pada $V_L$	53
Gambar 4.2 Gambar gelombang pada $V_{in}$	54
Gambar 4.3 Gambar gelombang pada $V_o$	54
Gambar 4.4 Grafik efisiensi buck converter terhadap beban dan nilai pwm	55
Gambar 4.5 Gambar grafik power loss pada buck converter daya output = 72.048W dengan efisiensi 77%	58
Gambar 4.6 Gambar perubahan nilai output pada pwm 40% ke 60%	58
Gambar 4.7 nilai $K_p$ , $\tau$ , $\theta$ , $\delta$ pada grafik output terhadap perubahan nilai input pwm 40%-60%	59

Gambar 4.8	Pemodelan karakteristik rangkaian Buck converter di matlab	60
Gambar 4.9	Gambar hasil scope pada hasil pemodelan matlab	60
Gambar 4.10	Grafik $V_{in}$ dan $V_{out}$ pada proses pencarian daya maksimum dengan kondisi mendung, waktu sore hari dan $R=270\Omega$	61
Gambar 4.11	Grafik daya input pada proses pencarian daya maksimum dengan kondisi berawan mendung, waktu sore hari dan $R=270\Omega$	62
Gambar 4.12	Grafik berbagai kondisi pada Photovoltaic kondisi berawan	63
Gambar 4.13	Grafik $V_{in}$ dan $I_{in}$ pada proses pencarian daya maksimum dengan kondisi cerah berawan waktu siang hari dan $R = 70\Omega$	65
Gambar 4.14	Grafik daya input pada proses pencarian daya maksimum dengan kondisi cerah berawan waktu siang hari dan $R = 70\Omega$	66
Gambar 4.15	Grafik daya input pada proses pencarian daya maksimum dengan kondisi cerah berawan waktu siang hari dan $R = 30\Omega$	69

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Tabel spesifikasi buck converter	29
Tabel 3.2 nilai konversi arus ke bilangan biner	38
Tabel 3.3 Visualisasi nilai pencupilkan data pada algoritma P&O	44
Tabel 3.4 <i>Rules</i> dan respon pada suatu kondisi pada photovoltaic	46
Table 4.1 Tabel pengujian Vsense input dan output	47
Table 4.2 Hasil pengujian pada buck converter di beban 27ohm	50
Table 4.3 Hasil pengujian pada buck converter di beban 9.6 ohm	51
Table 4.4 Hasil pengujian pada buck converter di beban 1.29 ohm	52
Tabel 4.5 Nilai PWM dalam proses pencarian daya maksimum	68

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Kebutuhan energi sebagai penggerak kehidupan semakin lama semakin meningkat. Hal ini didorong oleh lonjakan jumlah populasi manusia terutama di negara berkembang dan negara industri baru, sumber energi utama saat ini adalah energi fosil yang cadangannya pun semakin lama semakin menurun. Terlebih lagi dampak buruk dari akibat penggunaan energi ini berupa gas-gas yang dapat merusak lingkungan. Banyak riset-riset dilakukan untuk menemukan sumber daya energi yang terbarukan, salah satunya adalah Solar cell atau Photovoltaic modul atau array.

Generasi Photovoltaic (PV) sebagai sumber daya yang baru menjadi semakin penting dan populer, karena menawarkan kelebihan-kelebihan dibanding dengan sumber daya yang baru lainnya, seperti tidak membutuhkan daya bahan bakar minyak atau gas, sehingga tidak menimbulkan polusi, biaya pemeliharaan yang relatif rendah dan hampir tidak juga mengeluarkan polusi suara.

Adapun karakteristik dari daya yang dihasilkan oleh Photovoltaic ini ditentukan oleh intensitas cahaya, temperatur matahari dan faktor geografis (longitude dan latitude) dari suatu daerah. Oleh karena sumber daya energi ini tergantung dari intensitas dan temperatur dari cahaya matahari, Maka dibutuhkan sistem kontrol yang mampu melacak titik daya maksimum dari PV, sistem tersebut adalah MPPT (Maksimum Power Point Tracking). Sistem MPPT ini adalah sistem elektronis, pencarian daya maksimum dilakukan dengan cara monitor dan pengendalian tegangan dan arus.

### **1.2 Tujuan Penelitian**

Tujuan penulisan skripsi ini adalah rancang bangun sistem elektronis MPPT untuk mencari daya optimal pada photovoltaic terhadap perubahan temperatur dan radiasi cahaya matahari menggunakan rangkaian DC-DC buck converter dengan kontrol PWM menggunakan Atmega8535.

### 1.3 Batasan Masalah

Masalah dibatasi hanya pada teknik algoritma untuk pencarian daya optimal pada photovoltaic dengan cara mengendalikan DC-DC buck konverter menggunakan teknik pengendalian lebar pulsa atau PWM.

### 1.4 Sistematika Penulisan

#### BAB I PENDAHULUAN

Bab ini akan membahas tentang latar belakang penulisan, tujuan penulisan, batasan masalah dan sistematika penulisan skripsi untuk memberikan gambaran umum mengenai permasalahan yang dibahas dalam seminar ini.

#### BAB II TEORI DASAR

Bab ini akan membahas tentang dasar teori photovoltaic, DC-DC konverter, teknik algoritma MPPT.

#### BAB III RANCANG BANGUN

Bab ini akan menjelaskan tentang perancangan DC-DC buck converter dan Algoritma MPPT.

#### BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA

Bab ini memaparkan hasil rancang bangun serta analisis.

#### BAB V KESIMPULAN

Bab ini adalah kesimpulan dari skripsi.

## BAB II TEORI DASAR

### 2.1 Photovoltaic

Ada banyak cara untuk memanfaatkan energi dari matahari, contohnya tumbuhan menggunakan sinar matahari menjadi energi kimia untuk fotosintesis. Dan juga banyak contoh yang lain yang menggunakan energi matahari sebagai sumber energi. Photovoltaic adalah salah satunya. Saat ini photovoltaic sudah menjadi sumber tenaga listrik baru pengganti sumber tenaga listrik konvensional, namun dikarenakan kondisi cuaca dan letak geografis tidak semua negara bisa memanfaatkannya dengan maksimal, bahkan modal investasi untuk photovoltaic tidak akan sesuai dengan energi potensial yang dihasilkan nantinya.

Photovoltaic adalah bahan semikonduktor yang dapat melepas elektron apabila ada rangsangan dari sinar matahari yang kemudian membentuk arus listrik. Bahan semikonduktor yang sering dipakai oleh sel photovoltaic adalah silicon, di dalam silicon paling tidak terdapat dua lapisan yaitu lapisan bermuatan positif dan bermuatan negatif, yang kemudian ada gerbang diantara dua lapisan tersebut, dimana gerbang itu akan terbuka apabila ada rangsangan dari cahaya matahari, sehingga membentuk suatu aliran elektron atau arus searah (DC). Besar gerbang berbanding lurus dengan banyaknya intensitas cahaya matahari yang masuk. Dikarenakan besarnya arus yang dihasilkan berbanding lurus dengan intensitas cahaya matahari, maka tidak sama antara kondisi cuaca cerah dan kondisi mendung, sehingga bisa dikondisikan besarnya arus yang dihasilkan berbanding lurus dengan berat jenis awan yang memantulkan sinar dari matahari.

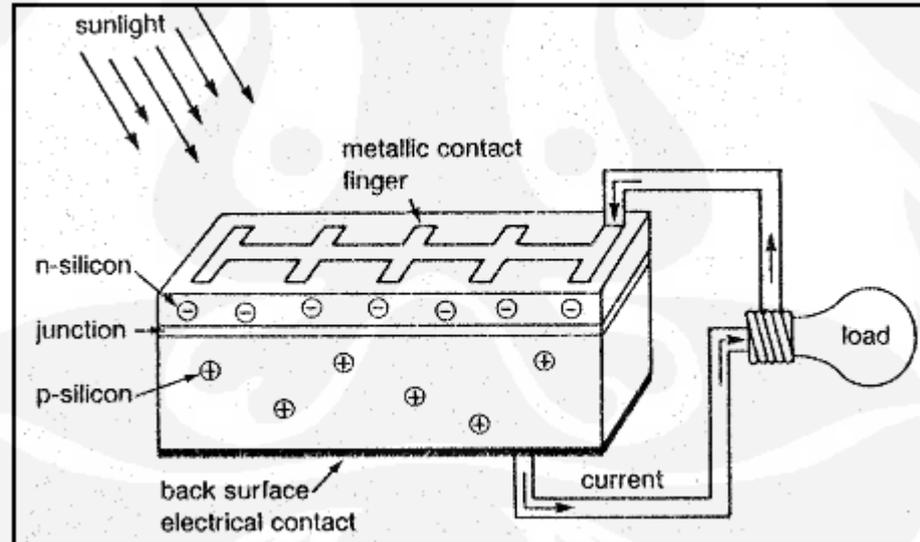


Gambar 2.1 Photovoltaic

Lapisan terluas dari photovoltaic terdiri dari dioda p-n junction, lapisan inilah yang mempunyai efek photovoltaic yang mampu menciptakan arus listrik.

efek photovoltaic adalah pelepasan energi photon apabila terkena cahaya matahari pada benda metal, cahaya matahari terdiri dari sinar ultraviolet dan inframerah, sinar ultraviolet adalah sinar yang bermuatan energi photon tinggi dan panjang gelombangnya pendek sedangkan inframerah adalah sinar yang bermuatan energi photon rendah dengan panjang gelombang yang panjang.

Lapisan p-n junction berasal dari bahan semikonduktor yaitu silikon, Silikon akan menjadi isolator pada temperatur rendah namun akan menjadi konduktor bila ada energi atau panas. Lapisan n berada pada lapisan atas dan lapisan p berada dibawahnya, dimana lapisan n adalah lapisan silikon yang didoping oleh fosfor dan lapisan p oleh boron, doping adalah sebuah proses yang menambahkan sejumlah bahan phosphorous dan boron ke bahan silikon murni, untuk menciptakan ketidak seimbangan antar atom silikon, phosphorous dan boron, sehingga menyebabkan terjadinya reaksi photovoltaic. (semikonduktor mempunyai atom yang berkategori 3, 4 & 5 elektron; sedangkan silikon = 4 elektron, phosphorous = 5 elektron, boron = 3 elektron).



Sumber : Steven J.Strong, The Solar Electric House

Gambar 2.2 Diagram dari potongan sel surya

Perkembangan Sel Surya :

- Pengembangan Sel Surya Silikon secara Individu (chip) :
  - a. Mono-crystalline (Si)
 

Dibuat dari silikon kristal tunggal yang didapat dari peleburan silikon dalam bentuk bujur. Sekarang Mono-crystalline dapat dibuat setebal 200 mikron, dengan nilai efisiensi sekitar 24%.
  - b. Poly-crystalline/Multi-crystalline (Si)
 

Dibuat dari peleburan silikon dalam tungku keramik, kemudian pendinginan perlahan untuk mendapatkan bahan campuran silikon yang akan timbul diatas lapisan silikon. Sel ini kurang efektif dibanding dengan sel Poly- crystalline ( efektivitas 18% ), tetapi biaya lebih murah.
  - c. Gallium Arsenide (GaAs)
 

Sel Surya yang sangat efisien sekitar 25%.
- Sel Surya Silikon Terpadu –Thin Film” :
  - a. Amorphous Silikon (a-Si)
 

Banyak dipakai pada jam tangan dan kalkulator, sekarang dikembangkan untuk sistim bangunan terpadu sebagai pengganti tinted glass yang semi-transparan.
  - b. Thin Film Silikon (tf-Si)
 

Dibuat dari thin-crystalline atau poly- crystalline pada grade bahan metal yang cukup murah (cladding system).
  - c. Cadmium Telluride (CdTe)
 

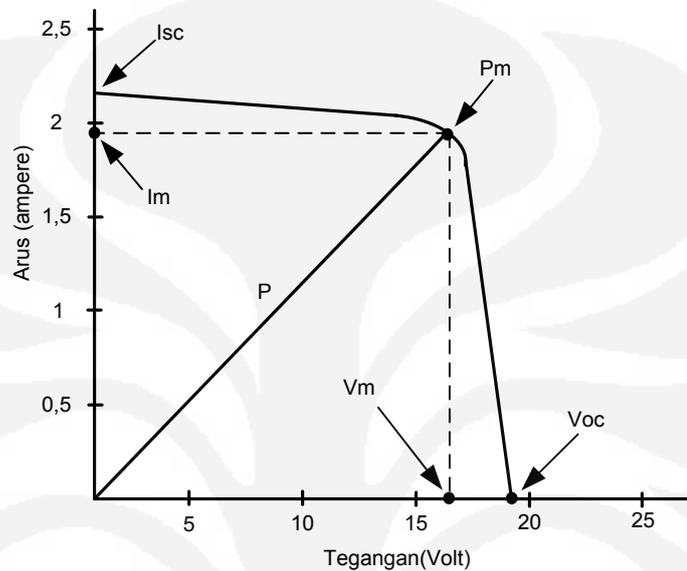
Terbentuk dari bahan materi thin film polycrystalline secara deposit, semprot, dan evaporasi tingkat tinggi. Nilai efisiensi 16%.
  - d. Copper Indium Diselenide (CuInSe<sub>2</sub>/CIS)
 

Merupakan bahan dari film tipis polycrystalline. Nilai efisiensi 17.7%.
  - e. Chalcopyrites [Cu(In,Ga)(S,Se)<sub>2</sub>]<sup>5</sup>

### 2.1.2 Energi Photovoltaic

Sebuah Sel Surya dalam menghasilkan energi listrik (energi sinar matahari menjadi photon) tidak tergantung pada besaran luas bidang Silikon, dan secara

konstan akan menghasilkan energi berkisar  $\pm 0.5$  volt — max. Dengan kekuatan radiasi solar matahari  $1000 \text{ W/m}^2 = "1 \text{ Sun}"$  akan menghasilkan arus listrik (I) sekitar  $30 \text{ mA/cm}^2$  per sel surya (sumber : Strong, Steven J, The Solar Electric House, p.18).



Isc = short-circuit current

Voc = open-circuit voltage

Vm = voltage maximum power

Im = current maximum power

Pm = Power maximum-output dari PV array (watt)

Gambar 2.3 Grafik arus terhadap tegangan (I – V)

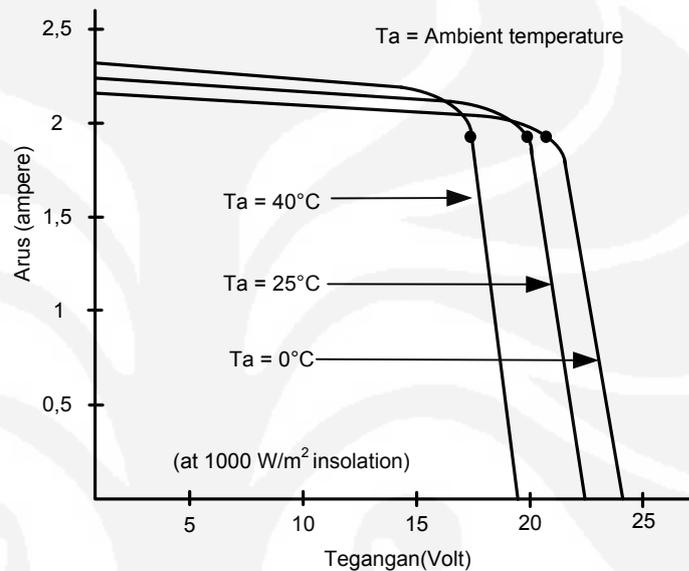
Pada grafik I-V Curve diatas yang menggambarkan keadaan sebuah Sel Surya beroperasi secara normal. Sel Surya akan menghasilkan energi maksimum jika nilai V dan I juga maksimum. Sedangkan Isc adalah arus listrik maximum pada nilai volt = nol, Isc berbanding langsung dengan tersedianya sinar matahari. Voc adalah tegangan maximum pada nilai arus nol, Voc naik secara logaritma dengan peningkatan sinar matahari.

Faktor – faktor yang mempengaruhi pengoperasian sel surya :

- a. Temperatur lingkungan (*ambient temperature*)

Sebuah Sel Surya dapat beroperasi secara maksimum jika temperatur sel tetap normal (pada 25 derajat Celsius), kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperatur normal pada PV sel

akan melemahkan voltage ( $V_{oc}$ ). Setiap kenaikan temperatur Sel Surya 1 derajat celsius (dari 25 derajat) akan berkurang sekitar 0.4 % pada total tenaga yang dihasilkan atau akan melemah 2 kali lipat untuk kenaikan temperatur sel per 10 derajat C.



Sumber: Strong, Steven J, The Solar Electric House, p.58

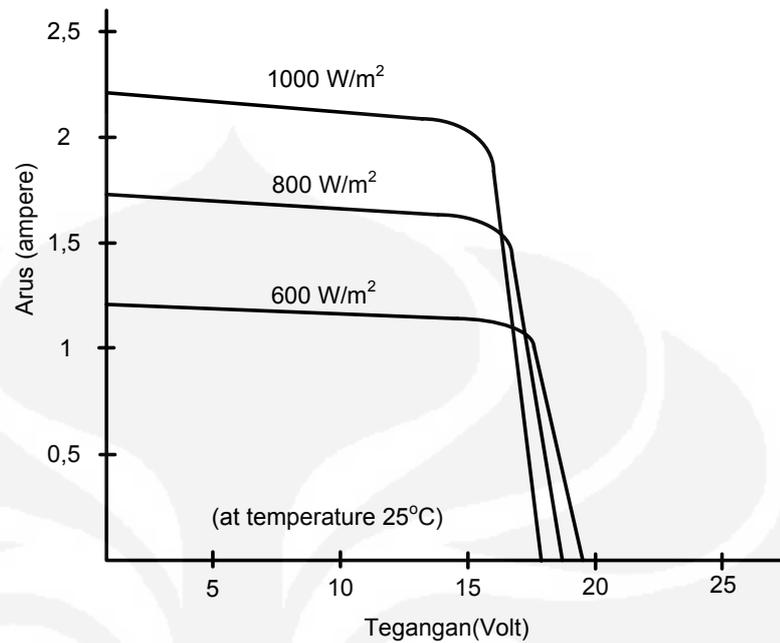
Gambar 2.4 Efek temperatur pada photovoltaic dalam tegangan

b. Radiasi solar matahari (*insolation*)

Radiasi solar matahari di bumi dan berbagai lokasi bervariasi, dan sangat tergantung keadaan spektrum solar ke bumi. Intensitas solar matahari akan banyak berpengaruh pada arus ( $I$ ) sedikit pada tegangan. (lihat gambar diagram 2.5 ).

c. kecepatan angin bertiup

Kecepatan tiup angin disekitar lokasi PV array dapat membantu mendinginkan permukaan temperatur kaca-kaca PV array.



Sumber : Strong, Steven J, The Solar Electric House, p.58

Gambar 2.5 Efek intensitas matahari terhadap arus (I)

d. keadaan atmosfer bumi

Keadaan atmosfer bumi—berawan, mendung, jenis partikel debu udara, asap, uap air udara (Rh), kabut dan polusi sangat menentukan hasil maximum arus listrik dari deretan PV.

e. orientasi panel atau array PV

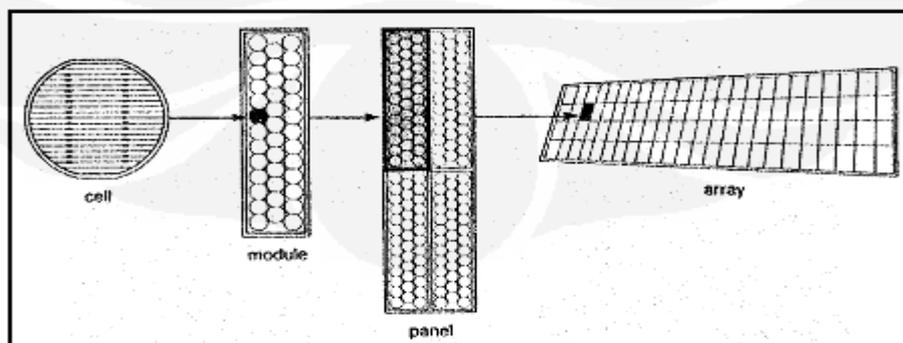
Orientasi dari rangkaian PV (array) ke arah matahari secara optimum sangat penting agar panel/deretan PV dapat menghasilkan energi maximum.



Gambar 2.6 Orientasi array pada panel surya

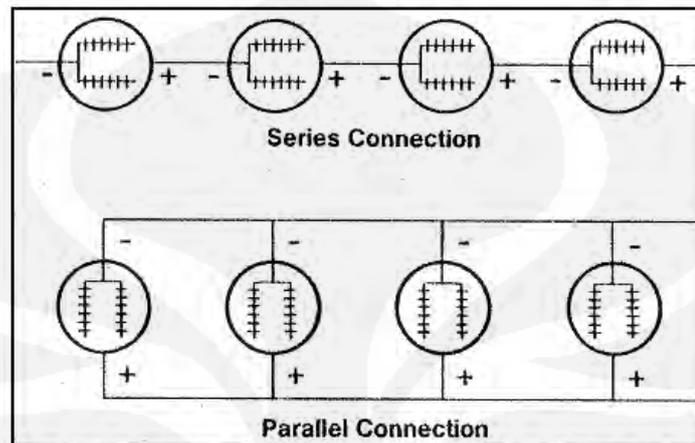
- f. posisi letak sel surya (*array*) terhadap matahari (*tilt angle*)
- Mempertahankan sinar matahari yang akan diterima ke sebuah permukaan panel PV secara tegak lurus akan mendapatkan energi maximum  $\pm 1000 \text{ W/m}^2$  atau  $1 \text{ kW/m}^2$ . Kalau tidak dapat mempertahankan ketegak lurus antara sinar matahari dengan bidang PV, maka dibutuhkan panel PV yang sangat luas agar energi tidak berkurang. (*tilt angle* : sudut bidang panel PV terhadap sun altitude yang berubah setiap jam dalam sehari). Solar Panel PV pada Equator (latitude 0 derajat) yang diletakkan mendatar (*tilt angle* = 0) akan menghasilkan energi maximum, sedangkan untuk lokasi dengan latitude berbeda harus dicarikan "*tilt angle*" yang optimum. Perusahaan BP Solar telah mengembangkan sebuah software untuk menghitung & memperkirakan energi optimum dengan letak latitude, longitude, dan optimum tilt angle untuk setiap lokasi diseluruh dunia.

Agar dapat memperoleh sejumlah tegangan atau arus yang dikehendaki, maka umumnya masing-masing sel surya dikaitkan satu sama lainnya baik secara hubungan "*seri*" ataupun secara "*pararel*" untuk membentuk suatu rangkaian PV yang lazim disebut "*Modul*". Sebuah modul PV umumnya terdiri dari 36 sel surya atau 33 sel, dan 72 sel. Beberapa modul pv dihubungkan untuk membentuk satu rangkaian tertentu disebut "*PV Panel*", sedangkan jika berderet-deret modul pv dihubungkan secara baris dan kolom disebut "*PV Array*".



Gambar 2.7 Diagram Hubungan Sel Surya, Modul, Panel dan Array

Hubungan sel-sel surya dalam Modul dapat dilakukan secara "Seri" untuk mendapatkan varian tegangan dan secara "Pararel" untuk mendapatkan varian "Arus Listrik" (current).



Sumber: Steven J.Strong, *The Solar Electric House*, p.19

Gambar 2.8 Jenis-jenis array pada photovoltaic

Sedangkan agar dapat memperoleh energi optimum dari sisi perletakkan modul/deretan PV, maka ada 5 cara perletakkan deretan/modul PV:

#### 1. Fixed Array

Pemasangan secara "PV Tetap" sering dilakukan karena paling mudah dalam pelaksanaan dan biaya sedikit. Perhitungan sudut kemiringan (tilt angle) pada suatu lokasi berdasarkan "Latitude" optimum pada posisi 21 Maret dan 21 September(solstices) yaitu :

"Latitude Angle Location + 23 derajat" (Sumber : Photovoltaic Panel Simulation User's Guide, p.5.)

Padahal sudut "altitude" dari matahari berubah secara konstan dalam hitungan hari dalam setahun, maka sudut deklinasi harus diperhitungkan untuk posisi matahari, yaitu :

Desember 21	= - 23.45 derajat	
Maret 21	= 0 derajat	(daerah equator)
Juni 21	= + 23.45 derajat	
September 21	= 0 derajat	

maka untuk "Tilt Angle" berdasarkan sudut altitude matahari pada suatu lokasi di daerah equator dalam suatu waktu :

"Altitude Angle = 90 derajat - latitude angle + declination angle"

(sumber : Strong, Steven J, The Solar Electric House, p. 69). Atau untuk suatu lokasi yang energi radiasi hampir konstan dalam setahun (sangat dekat ke Equator ) maka dapat juga pakai rumus ini untuk "Tilt Angle" optimum fixed arrays, :

Latitude + 15 derajat (sumber : Strong, Steven J, The Solar Electric House, p. 69)

## 2. Seasonally Adjusted Tilting

Deretan modul PV dapat dirubah secara manual sesuai waktu (Maret/Juni/Sept./Des.)

yang dikehendaki untuk pengoptimalan "tilt angle". Untuk lokasi yang terletak pada "Mid-latitude" dapat mengubah sudut modul PV setiap 3 bulan, dan akan meningkatkan produksi energi surya  $\pm 5\%$ .

(sumber: [www.anu/engn/solar/Sun/help/Pvguide.html](http://www.anu/engn/solar/Sun/help/Pvguide.html))

## 3. One axis tracking

Panel modul PV dapat mengikuti lintasan pergerakan matahari dari Timur ke Barat secara otomatis sehingga secara efisiensi lebih baik dibandingkan Fixed Arrays.

## 4. Two axis tracking

Panel modul PV dapat mengikuti lintasan pergerakan matahari dari Timur ke Barat serta orientasi Utara-Selatan secara otomatis sehingga secara efisiensi lebih baik dibandingkan Fixed Arrays.

## 5. Concentrator Arrays

Deretan lensa optik dan cermin yang memfokuskan pada suatu area Sel Surya (PV) efisiensi tinggi.

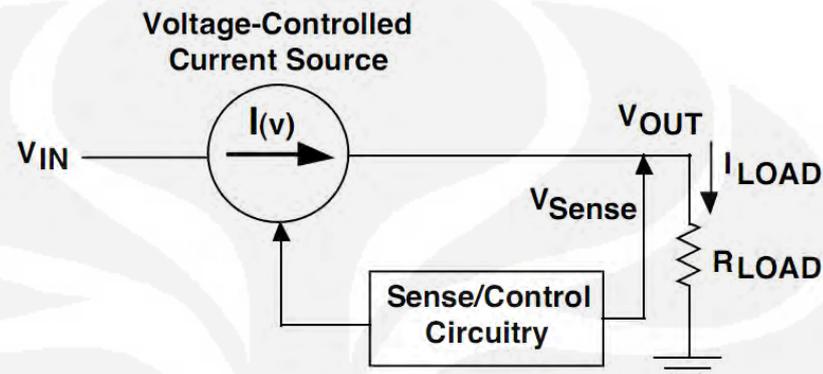
## 2.2 DC-DC Converter

DC-DC converter adalah sirkuit elektronik yang berfungsi untuk mengubah tegangan searah (DC) ke tegangan DC dengan level berbeda.

Jenis – jenis DC-DC converter :

### 2.2.1 Linear Voltage Regulator

Linier Voltage Regulator adalah jenis DC-DC converter yang paling sederhana, jenis DC-DC converter ini umumnya memakai komponen aktif seperti : transistor, BJT atau FET).



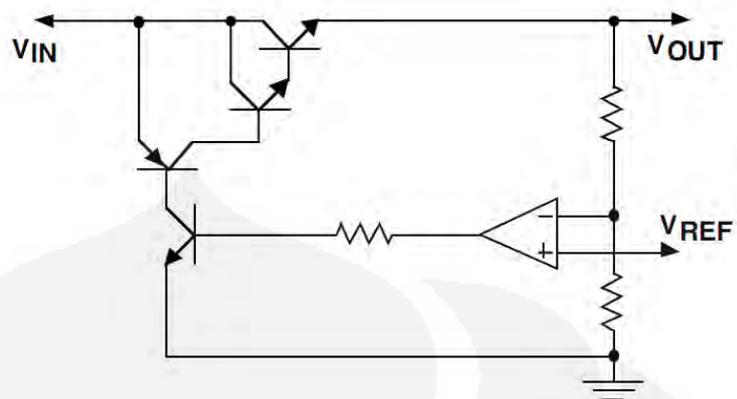
Gambar 2.9 Blok diagram Linear Voltage Regulator

Fungsi dari sense / control circuitry adalah untuk memonitor output kemudian sebagai kontrol dari Voltage/current source. Sehingga output tetap pada nilai yang diinginkan (stabil) atau dengan kata lain output tetap pada *regulated voltage*.

Output voltage dikontrol menggunakan umpan balik dimana membutuhkan kompensasi untuk memastikan kestabilannya. Di beberapa jenis linier regulator sudah mempunyai kompensasi ini sebagai rangkain dalamnya jadi tidak membutuhkan komponen eksternal, namun beberapa linier regulator seperti low dropout membutuhkan kompensasi yaitu kapasitor eksternal yang terhubung pada output untuk mencapai kestabilannya. Karakteristik lainnya dari linier regulator ini adalah regulator ini membutuhkan waktu untuk sampai pada tegangan output yang diinginkan setelah ada perubahan arus beban, waktu ini dinamakan *transient response*.

Linier voltage regulator mempunyai beberapa jenis yaitu :

1. Standart (NPN darlington) regulator

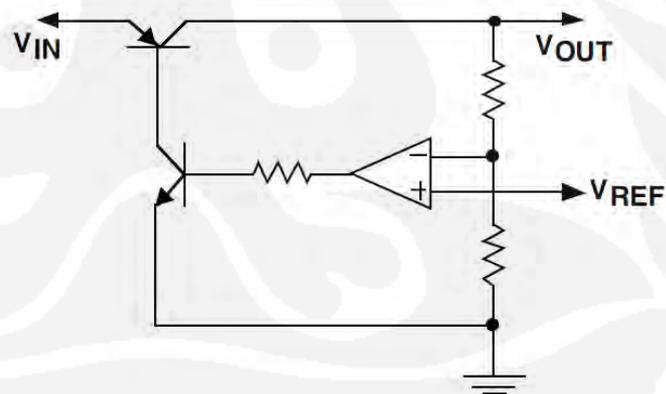


Gambar 2.10 Standart (NPN darlington) regulator

Setiap linier voltage regulator mempunyai batas minimum input agar output tetap dalam keadaan teregulasi, batas minimum tegangan ini dinamakan tegangan jatuh. Tipe ini mempunyai tegangan jatuh yang paling buruk dibanding 2 tipe yang lain. Karena  $V_d = 2V_{be} + V_{ce}$  (ada 2 transistor NPN dan 1 transistor PNP)

## 2. LDO atau low dropout regulator

Sedangkan pada LDO hanya menggunakan satu transistor NPN

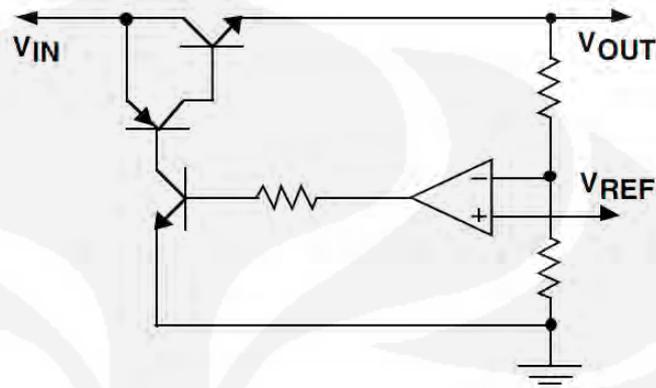


Gambar 2.11 LDO regulator

Sehingga minimum tegangan jatuhnya sebesar  $V_d = V_{ce}$  (karena hanya menggunakan 1 transistor PNP, berarti tegangan jatuh pada LDO regulator biasanya hanya 0.7V – 0.8V. LDO adalah tipe terbaik pada kategori minimum tegangan jatuh.

### 3. Quasi LDO regulator

Merupakan variasi dari LDO regulator, bedanya Quasi regulator menggunakan 1 NPN dan 1 PNP transistor.



Gambar 2.12 Quasi LDO regulator

Sehingga tegangan jatuh minimumnya  $V_c = V_{be} + V_{ce}$ , sekitar 1.5V(max), tipe ini tidak lebih baik pada tegangan jatuhnya namun mempunyai efisiensi arus yang lebih baik dari LDO regulator.

#### 2.2.2 Switching converter

Switching converter mempunyai efisiensi daya yang lebih baik dari linier voltage regulator. Di dalam swithing, transistor difungsikan sebagai saklar digital, berbeda dengan linier regulator yang dijadikan sebagai penguat. Sehingga hanya ada 2 keadaan yaitu saturasi dan cutoff, converter ini juga dikenal sebagai *DC chopper*. Didalam switching converter ada beberapa point yang akan dipakai seperti induktor, transformer dan PWM berikut adalah penjelasan tentang poin-poin tersebut.

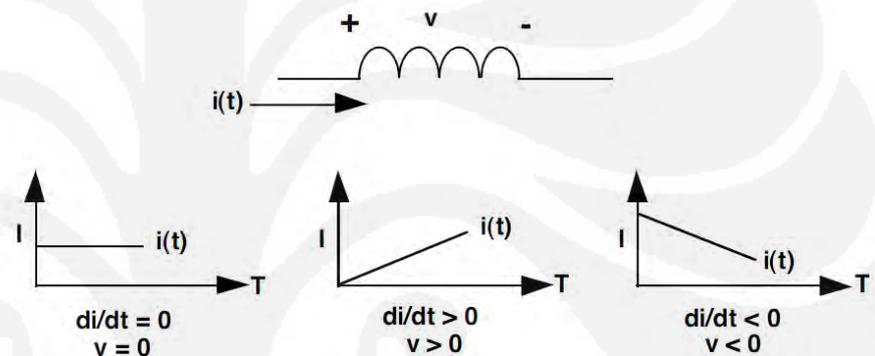
##### 2.2.2.1 Induktor

Apabila ada tegangan yang masuk ke sebuah induktor, maka arus yang melewati induktor akan berubah-ubah berdasarkan waktu walaupun tegangan yang masuk konstan. Rumus dasar untuk

mendefinisikan hubungan antara tegangan dan arus didalam induktor adalah :  $V = L (di/dt)$ .

Ada dua karakteristik dasar pada induktor :

1. Sebuah tegangan yang melintasi induktor, hanya berasal dari arus DC yang berubah-ubah berdasarkan waktu.
2. Dalam keadaan *zero time*, didalam induktor arus yang melintasi tidak dapat langsung berubah, dibutuhkan tegangan yang tak terhingga untuk melakukan itu. Jadi semakin cepat arus berubah di induktor berdasarkan waktu, semakin besar tegangan yang dihasilkan.

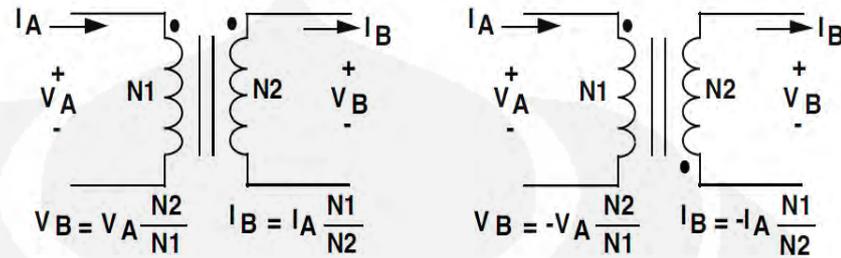


Gambar 2.13 Hubungan tegangan/arus dalam induktor

$di/dt$  menunjukkan adanya perubahan arus berdasarkan waktu, jadi  $di/dt$  bisa dikatakan sebagai titik point dari plot arus berdasarkan waktu. Pada gambar 2.13 gambar yang paling sebelah kiri digambarkan bahwa induktor mendapatkan arus yang konstan, sehingga didapatkan  $di/dt = 0$ , sehingga tegangan yang dihasilkan  $= 0$ , gambar ditengah menunjukkan arus yang tidak konstan namun membesar berdasarkan waktu, sehingga didapat  $di/dt > 0$ , sehingga tegangan yang dihasilkan  $> 0$  dan sebaliknya apabila arus mengecil berdasarkan waktu maka didapat  $di/dt < 0$ , sehingga  $v < 0$ .

### 2.2.2.2 Transformer

Transformer adalah divais yang mempunyai dua pasang gulungan magnet.

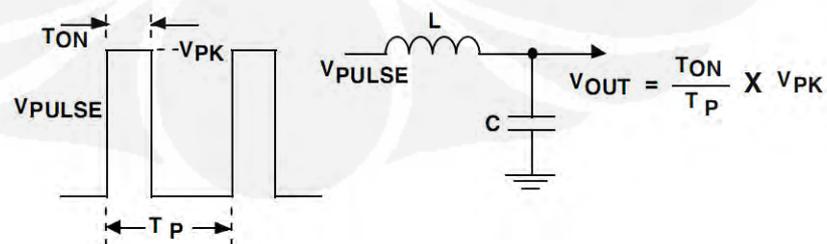


Gambar 2.14 Teori Transformer

Transformer berfungsi untuk mengubah nilai tegangan atau arus (AC) ke level yang lebih rendah atau lebih tinggi tergantung dari lilitan dari masing-masing gulungan magnet. Transfirmator tidak mengubah daya, sehingga daya kedua sisi adalah konstan. Itulah mengapa apabila disatu sisi dengan lilitan magnet lebih banyak tegangan lebih tinggi namun arusnya lebih kecil, begitu juga sebaliknya.

### 2.2.2.3 PWM

Semua switching konverter menggunakan bentuk output regulasi tegangan dikenal sebagai Pulse Width Modulation (PWM). PWM adalah bentuk gelombang kotak yang mempunyai waktu aktif (Ton) dan waktu mati (Toff) dalam satu periodenya. Dalam PWM juga dikenal dengan perbandingan waktu saat waktu aktif dibagi jumlah waktu dalam satu periode dikenal dengan istilah dutycycle.

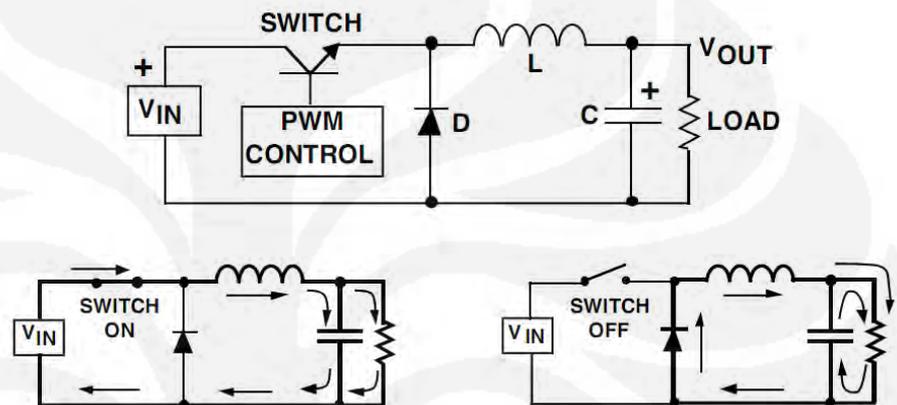


Gambar 2.15 Prinsip dasar PWM

Jenis-jenis switching regulator :

1. Buck converter

Buck converter digunakan untuk meregulasi tegangan DC menjadi tegangan DC yang lebih rendah levelnya dan dengan polaritas yang sama. Keunggulannya adalah *power loss* nya yang cukup kecil.



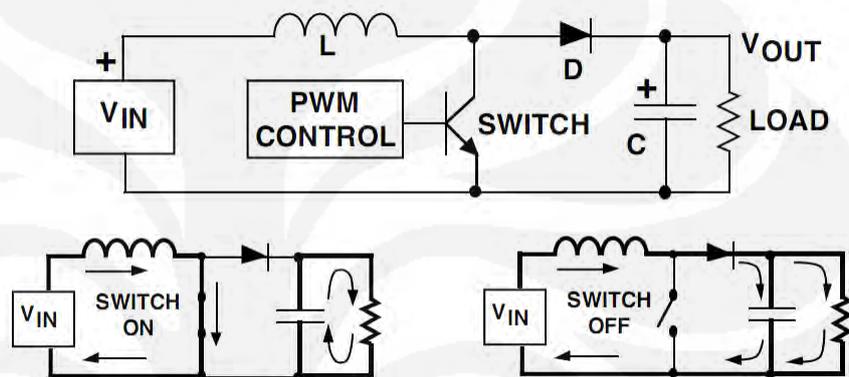
Gambar 2.16 Buck Converter

Gambar diatas menunjukkan Rangkaian dasar dari buck konverter, dan gambar bagian bawah memperlihatkan arah arus saat switch on atau off pada PWM control. Disaat switch on, tegangan input terhubung dengan induktor. Beda potensial antara tegangan input dan output menghasilkan arus yang akan melintasi induktor dan bertambah berdasarkan waktu. Dan dalam waktu ini, arus pada induktor akan mengalir ke tahanan beban dan kapasitor dalam status mengisi (charge). Kemudian saat *switch off* tegangan input terputus dengan induktor mengakibatkan arus pada induktor berkurang berdasarkan waktu, akan tetapi arus dalam induktor tidak dapat langsung berkurang secara cepat, maka dari itu level tegangan akan berubah sehingga arus pada beban cenderung konstan. Level tegangan akan berhenti berubah sampai batas level tegangan dioda, disaat yang sama pula kapasitor akan memberikan arus

pada beban, sehingga dalam kondisi ini arus beban = arus induktor + arus kapasitor.

## 2. Boost converter

Sama dengan buck konverter, boost konverter juga mempunyai fungsi mengubah level tegangan DC, namun dalam boost konverter mengubahnya ke level yang lebih tinggi.



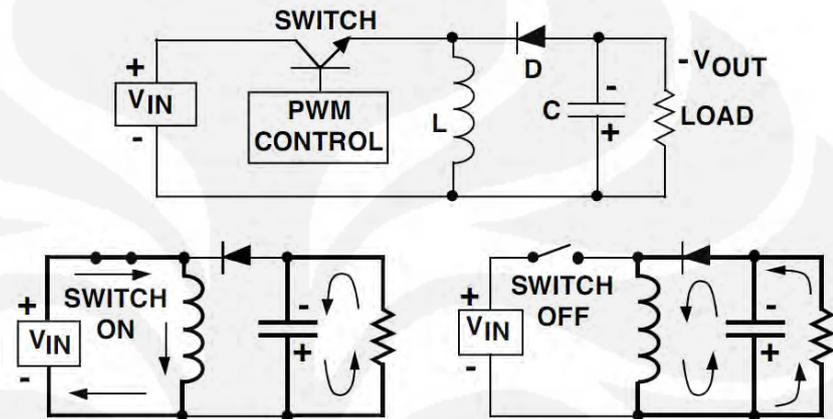
Gambar 2.17 Boost converter

Disaat *switch on* tegangan input masuk kedalam induktor dan menyebabkan kenaikan arus berdasarkan waktu. Pada kondisi *switch off* saat ujung induktor bernilai positif, forward bias dari dioda akan memberikan jalur agar kapasitor dalam keadaan mengisi (*charge*) dengan tegangan yang lebih besar dari tegangan input, dalam waktu yang sama arus induktor akan mengalir pada kapasitor dan beban, dan disaat switch on lagi, tegangan dan arus pada beban akan hanya disuplai oleh kapasitor.

Perlu diketahui bahwa arus output pada beban tidak sama dengan nilai rating arus pada switch transistor, nilai maksimum arus pada output beban adalah nilai tegangan input maksimum dikali dengan arus rata-rata input yang jelas kurang dari nilai arus maksimum switch transistor. Maka dari itu walaupun tegangan output lebih besar dari tegangan input, tetapi arus output lebih kecil dari arus input.

### 3. Buck-Boost Converter

Buck-Boost Converter berfungsi untuk mengubah level tegangan DC, baik ke level yang lebih tinggi maupun ke level yang lebih rendah. Namun Buck-Boost Converter mengubah polaritas dari tegangan input terhadap tegangan output.



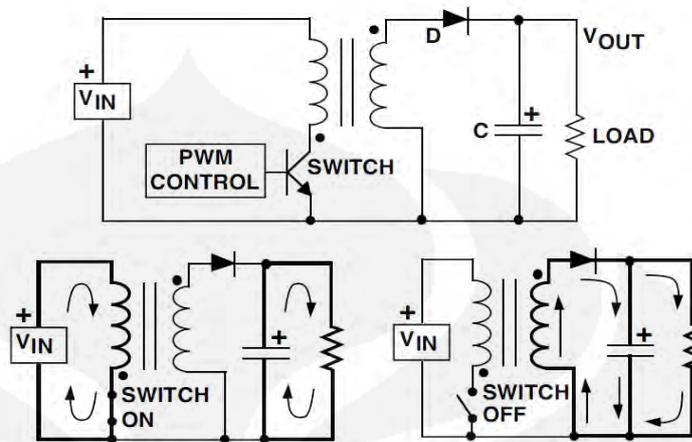
Gambar 2.18 Buck-Boost converter

Saat *switch on*, induktor mendapat tegangan dari input, dan mengakibatkan adanya arus yang melewati induktor berdasarkan waktu, dalam waktu yang sama, kapasitor dalam kondisi membuang (discharge) dan menjadi sumber tegangan dan arus pada beban. Saat *switch off* tegangan input terputus menyebabkan mulainya penurunan arus dan menyebabkan ujung dioda bernilai negatif, dan induktor mensuplai kapasitor (charge) dan beban. Jadi pada saat switch on arus beban disuplai oleh kapasitor, namun pada saat switch off disuplai oleh induktor.

### 4. Flyback regulator

Diantara regulator yang lain, flyback regulator adalah regulator yang paling serbaguna karena memungkinkan untuk membuat lebih dari satu level tegangan, aplikasi dari flyback cenderung

banyak digunakan untuk management baterai karena juga mempunyai daya efisiensi yang sangat tinggi.

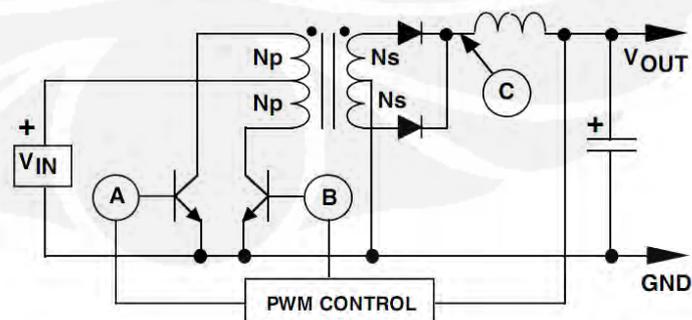


Gambar 2.19 Flyback regulator

Disaat switch on menyebabkan arus melewati transformator primer dan meyebabkan kenaikan arus berdasarkan waktu. Dan menyebabkan pada dot di transformer primer dan sekunder menjadi negatif, pada transformer sekunder, mengakibatkan dioda menjadi keadaan putus, sehingga arus beban disupali oleh hanya dari kapasitor. Saat switch on, polaritas menjadi terbalik, dot menjadi positif, dan membuat dioda on, dan arus induktor mengalir ke kapasitor dan beban.

##### 5. Push-pull converter

Push-pull converter menggunakan dua transistor dalam proses konversinya



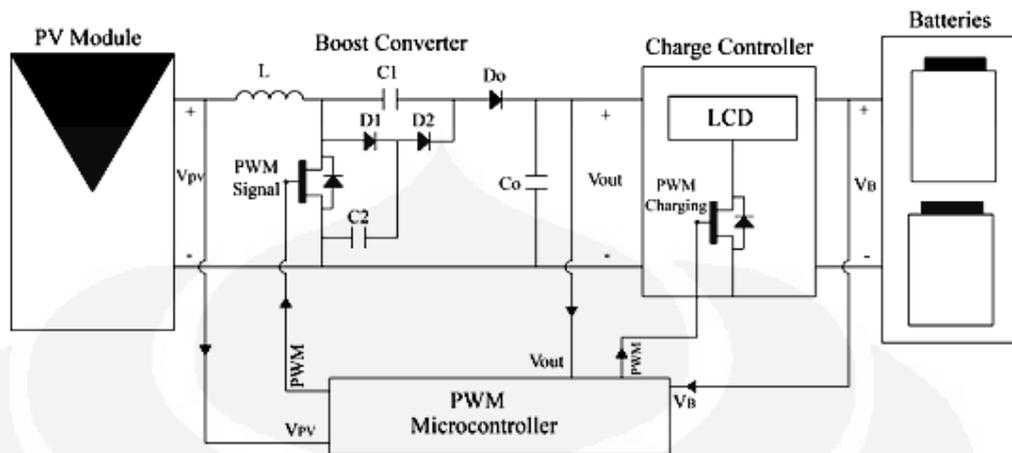
Gambar 2.20 Push-pull converter

Konversi dilakukan dengan membuat salah satu transistornya bekerja, jadi tidak akan dua transistor bekerja dalam waktu yang sama, dan arus yang mengalir ke transformer primer dalam waktu yang sama juga mengalir ke transformasi sekunder. Jadi saat A on tegangan input masuk ke transformer primer (upper), dengan dot bernilai negatif, disaat yang sama transformer sekunder juga bernilai negatif pada dot nya, sehingga mengaktifkan dioda bagian bawah dan menyebabkan arus masuk ke induktor, dan induktor ini yang nantinya akan mensuplai kapasitor dan beban. Kemudian saat B on tegangan input akan masuk ke transformer primer (lower), dengan dot bernilai positif. Dalam waktu yang sama dot bernilai positif pada transformer sekunder dan menyebabkan dioda atas aktif dan akhirnya memberikan arus kepada induktor, kapasitor dan beban.

### 2.3 MPPT

Maximum power point tracking adalah sistem elektronik yang mengontrol sistem photovoltaic sehingga photovoltaic dapat beroperasi pada daya maksimum. MPPT bukanlah sistem pelacakan mekanis, namun kontrol elektronik yang terkonsentrasi pada titik poin karakteristik tegangan dan arus pada photovoltaic.

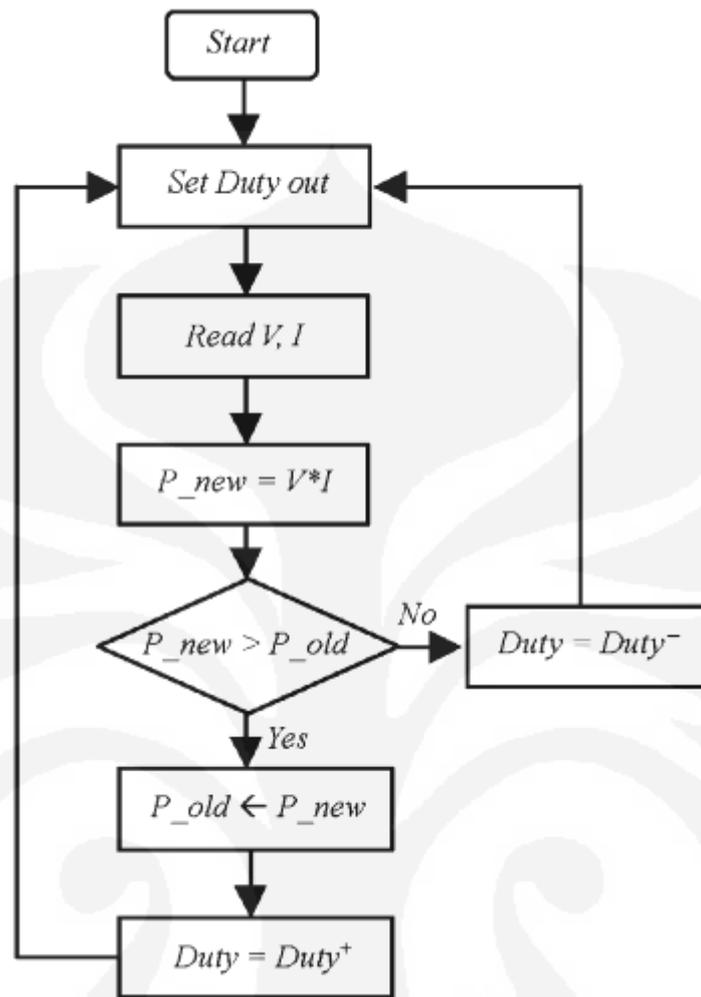
Seperti diketahui bahwa banyak sekali faktor yang mempengaruhi photovoltaic dalam beroperasi misalnya temperatur yang mempengaruhi nilai tegangan, dan intensitas cahaya matahari yang mempengaruhi titik kerja arus yang dihasilkan dan lain lain. Maka dari itu sistem MPPT memungkinkan kondisi yang variabel itu dapat dilacak daya maksimumnya pada waktu dan saat tertentu. Umumnya MPPT terdiri dari Panel surya DC-DC converter dan kontrol digital. Dikarenakan kontrolnya berupa digital maka ada algoritma untuk mengontrolnya.



Gambar 2.21 contoh blok diagram dari MPPT

PV module atau panel surya langsung terhubung dengan DC-DC converter dalam hal ini jenis yang digunakan adalah boost converter, dimana sinyal input dari Panel surya yang berupa tegangan atau arus juga masuk ke dalam PWM kontroler, dimana di kontroler inilah nanti diaplikasikan algoritma dalam perhitungan daya yang sinyalnya juga diambil dari output konverter kemudian setelah semua informasi yang dibutuhkan oleh kontroler sudah diterima, maka kontroler akan menghasilkan sinyal outputnya berupa PWM yang dikirimkan ke DC-DC konverter yang nantinya akan mempengaruhi nilai dari tegangan atau arus output itu kembali.

Duty dalam hal ini adalah PWM, jadi pertama ada pembacaan input tegangan dan arus yang berasal dari Photovoltaic, kemudian dikalkulasi dan dapatlah daya yang update. Kemudian dibandingkan dengan daya pada data pengambilan yang sebelumnya apakah lebih besar atau tidak, apabila lebih besar maka data daya update disimpan kemudian PWM ditambah (dengan tujuan memperbesar tegangan atau arus), setelah itu dilakukan pengambilan lagi untuk tegangan dan arus dan dijadikan daya yang update dan dibandingkan lagi dengan data yang disimpan sebelumnya, pengulangan ini dilakukan sampai pada batas daya yang baru lebih kecil dari data yang disimpan sebelumnya, apabila sudah pada tahap ini, maka PWM diturunkan (dengan tujuan mengurangi nilai tegangan atau arus pada output).



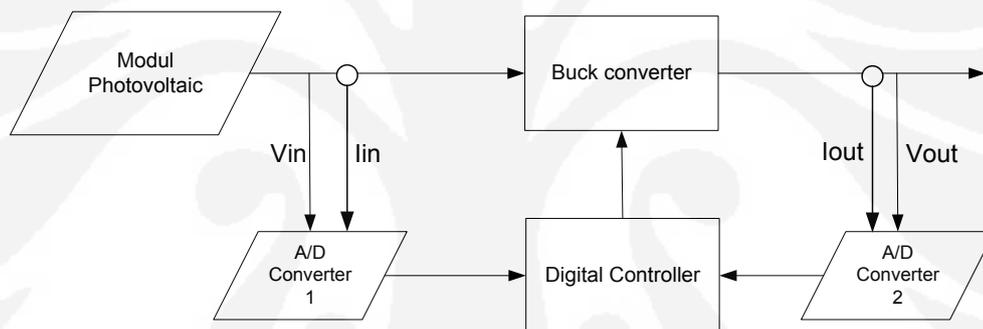
Gambar 2.22 Contoh flowchart algoritma MPPT

## BAB III

### PERANCANGAN SISTEM MPPT

#### 3.1 Penjelasan sistem secara umum

Didalam perancangan MPPT ada 3 sistem yang harus diketahui yaitu dc to dc converter, Digital kontrol kemudian DC to DC kontroler yang bisa berupa PWM atau tegangan feedback. Didalam perancangannya input tegangan berasal dari Photovoltaic, karakteristik dari photovoltaic bisa dilihat di gambar 2.3, terlihat bahwa semakin besar tegangan yang digunakan maka arusnya semakin kecil, sehingga ada titik dimana photovoltaic mempunyai daya yang maksimum  $P_m$ . Dari  $P_m$  bisa didapat tegangan maksimum ( $V_m$ ) dan arus maksimum ( $I_m$ ),  $V_m$  dan  $I_m$  inilah yang menjadi titik point dari sistem MPPT.

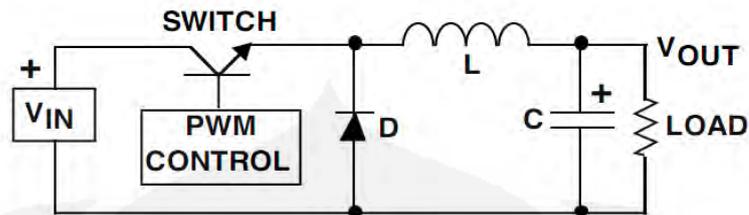


Gambar 3.1 Blok diagram sistem MPPT

#### 3.2 Perancangan DC-DC converter

DC-DC converter yang digunakan adalah Buck converter dengan kontrol pwm. Buck converter adalah tipe konverter yang berfungsi meregulasi tegangan input ke tegangan yang lebih rendah levelnya. Ada 4 komponen utama yaitu mosfet sebagai saklar, dioda, induktor, kapasitor sebagai filter dan resistor yang bisa dianggap sebagai beban. mosfet digunakan sebagai power komponen dan kontrol switching yang menggunakan pwm, dimana switching diaplikasikan dengan perbandingan  $T_{on}$  (waktu saat switch tertutup) dan  $T$  (waktu satu periode pulsa =  $T_{on} + T_{off}$ ), atau diketahui dengan nama Duty cycle ( $D$ ).

$$D = \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} \quad (2.1)$$



Gambar 3.2 Skematik dasar buck converter

Perbedaan nilai Duty cycle ini akan menyebabkan perubahan juga pada duty ratio pada komponen lain sehingga menyebabkan perubahan tegangan output, dan tentunya tegangan output lebih kecil dari tegangan input.

Mode yang digunakan adalah CCM (continuous conduction mode). Di CCM arus pada induktor tidak pernah sampai pada nilai 0, sehingga arus di induktor mengalir terus menerus dalam tiap cycle. Sehingga kontrol arus pada induktor hanya bisa dengan nilai Duty cycle PWM yang diberikan, sedangkan nilai dari kapasitor dan induktor tidak berpengaruh pada output arus dan hanya terpengaruh oleh besarnya nilai tegangan input.

Terdapat dua kondisi waktu pada mode CCM, yaitu saat switch on dan switch off.

- Switch ON dioda OFF

Didalam kondisi switch on tegangan pada inductor dan switch (mosfet) adalah

$$v_L = V_O - V_I = L \frac{di}{dt} \quad (2.2)$$

sehingga arus yang melewati inductor adalah

$$\begin{aligned} i_s = i_L &= \frac{1}{L} \int_0^t v_L dt + i_L(0) \\ &= \frac{V_i - V_0}{L} \int_0^t dt + i_L(0) \\ &= \frac{V_i - V_0}{L} t + i_L(0) \end{aligned} \quad (2.3)$$

dimana  $i_L(0)$  adalah inisial awal inductor disaat  $t=0$ , sehingga arus peak pada inductor menjadi :

$$i_L(DT) = \frac{(V_i - V_0)DT}{L} + i_L(0) \quad (2.4)$$

Sehingga arus peak-peak pada inductor adalah

$$\begin{aligned}\Delta i_L &= i_L(DT) - i_L(0) \\ &= \frac{(V_i - V_0)DT}{L} \\ &= \frac{(V_i - V_0)D}{f_s L} \\ &= \frac{V_i D(1-D)}{f_s L}\end{aligned}\quad (2.5)$$

Kemudian Nilai tegangan diode pada kondisi switch off adalah

$$V_D = -V_i \quad (2.6)$$

Sehingga nilai tegangan reverse peak maksimum pada dioda adalah

$$V_{DM} = -V_i \quad (2.7)$$

Nilai rata rata arus inductor sama dengan nilai arus output DC, oleh karena itu nilai arus inductor peak pada kondisi switch off adalah

$$I_{SM} = I_O + \frac{\Delta i_L}{2} \quad (2.8)$$

– Switch ON dioda OFF

Didalam kondisi switch off tegangan pada inductor adalah

$$v_L = -V_0 = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.9)$$

sehingga arus yang melewati inductor dan dioda adalah

$$\begin{aligned}i_D = i_L &= \frac{1}{L} \int_{DT}^t v_L dt + i_L(DT) \\ &= -\frac{V_0}{L} \int_{DT}^t dt + i_L(DT) \\ &= -\frac{V_0}{L} (t - DT) + i_L(DT)\end{aligned}\quad (2.10)$$

dimana  $i_L(DT)$  adalah inisial awal inductor disaat  $t=DT$ , sehingga arus ripple peak-peak pada inductor menjadi

$$\Delta i_L = i_L(DT) - i_L(T) = \frac{V_0 T(1-D)}{L} = \frac{V_0 D(1-D)}{f_s L} \quad (2.11)$$

Pada arus ripple peak-peak pada inductor di mode CCM tidak tergantung pada arus output dan hanya bergantung pada tegangan input dan duty cycle PWM yang diberikan. Pada tegangan output yang tetap nilai maksimum arus ripple peak-peak terjadi pada saat tegangan input maksimal maka nilainya menjadi

$$\Delta i_{Lmaks} = \frac{V_o(1-D_{min})}{f_s L} \quad (2.12)$$

Tegangan pada switch (MOSFET) dan tegangan maksimumnya adalah

$$V_S = V_{SM} = V_i \quad (2.13)$$

Kemudian nilai arus diode dan switch pada kondisi switch off adalah

$$I_{DM} = I_{SM} = I_O + \frac{\Delta iL}{2} \quad (2.14)$$

– Tegangan dan arus maksimum pada buck converter adalah

$$\begin{aligned} V_{SMmaks} &= V_{DMmaks} = V_{Imaks} \\ I_{SMmaks} &= I_{DMmaks} = I_{Omaks} + \frac{\Delta iL_{maks}}{2} = I_{Omaks} + \frac{(V_{imaks} - V_o)D_{min}}{2fsL} \\ &= I_{Omaks} + \frac{V_o(1-D_{min})}{2fsL} \end{aligned} \quad (2.15)$$

Nilai Induktor

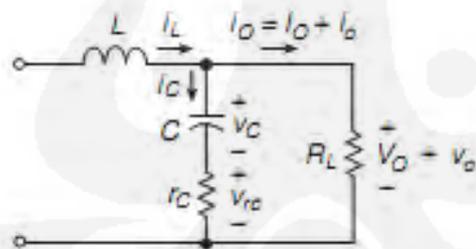
$$L_{min} = \frac{R_{lmaks}(1-D_{min})}{2fs} \quad (2.16)$$

Nilai kapasitor

Disaat switch on dan diode off arus dan tegangan kapasitor adalah

$$I_C = \frac{\Delta iL t}{DT} - \frac{\Delta iL}{2} \quad (2.17)$$

$$V_C = -\frac{1}{C} \int_{DT}^t i_C dt + v_C(0) = \frac{\Delta iL}{2C} \left( \frac{t^2}{DT} - t \right) + v_C(0) \quad (2.18)$$



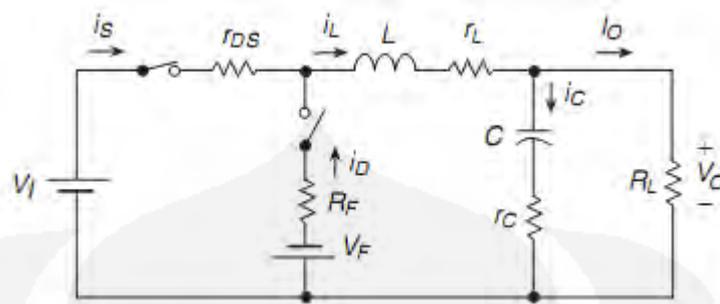
Perhitungan nilai Ripple pada kapasitor

$$V_{C_{pp}} = \frac{\Delta iL_{maks}}{8fsC} = \frac{V_o(1-D_{min})}{8fs^2LC} = \frac{(1-D_{min})\pi^2 V_o f_o^2}{2fs^2} \quad (2.19)$$

Perhitungan nilai Cmin

$$C_{min} = \frac{\Delta iL_{maks}}{8fsV_{c_{pp}}} = \frac{V_o(1-D_{min})}{8fs^2LV_{c_{pp}}} \quad (2.20)$$

Efisiensi



Gambar 3.3 rangkaian ekivalen buck konverter

Arus loss induktor

$$I_{Srms} = I_o \sqrt{D} \quad (2.21)$$

Switch(MOSFET) turn-on dan turn off power loss (non linier output capacitance mosfet)

$$P_{sw} = P_{turn-on} = \frac{10}{3} f_s (C_{OSS} - C_{RSS}) \sqrt{V} i^3$$

$$P_r = P_{turn-off} = \frac{20}{3} f_s (C_{OSS} - C_{RSS}) \sqrt{V} i^3$$

Coss = output capacitance

Crss = Reverse transfer capacitance

$$\text{Jadi total switching loss} = P_{sw} + P_r = 10 f_s (C_{OSS} - C_{RSS}) \sqrt{V} i^3 \quad (2.22)$$

MOSFET conduction loss

$$P_{rDS} = r_{DS} I_{Srms}^2 = D r_{DS} I_o^2 = \frac{Dr_{ds}}{Rl} P_o \quad (2.23)$$

Dioda conduction loss

$$I_{Drms} = I_o \sqrt{1 - D} \quad (2.24)$$

Power loss  $R_F$

$$P_{RF} = R_F I_{Drms}^2 \quad (2.25)$$

Arus dioda rata2

$$I_D = (1 - D) I_o \quad (2.26)$$

Loss Voltage forward diode

$$P_{VF} = V_F I_D \quad (2.27)$$

Total power loss dioda

$$P_D = P_{VF} + P_{RF} = R_F I_{Drms}^2 + V_F I_D = (1 - D) \left( \frac{V_f}{V_o} + \frac{R_f}{R_L} \right) P_O \quad (2.28)$$

Power loss maksimum di induktor

$$P_{rL} = r_L I_O^2 = \frac{r_L}{R_L} P_O \quad (2.29)$$

$r_L$  = Copper loss in inductor windings

Power loss maksimum di kapasitor

$$P_{rC} = \frac{rcRL \left(1 - \frac{V_o}{V_{imaks}}\right)^2}{12f_s^2 L^2} \quad (2.30)$$

Overall power loss :

$$P_{LS} = P_{rDS} + P_{SW} + P_D + P_{rL} + P_{rC}$$

Jadi efisiensi total

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} = \frac{P_o}{P_o + P_{LS}} \quad (2.31)$$

### 3.2.1 Desain buck konverter :

– Langkah 1

Menentukan spesifikasi yang diinginkan

Tabel 3.1. Tabel spesifikasi buck converter

Spesifikasi	Nilai
Tegangan input	11V – 13V
Arus input Maksimum	3A
Arus output	0.1A – 9.5A
Frekuensi switching	31kHz
Tegangan output	2V – 9.5 V
R min	1Ω
Ripple	< 0.1%
Efisiensi	~90%

– Langkah 2

Menentukan dutycycle maksimum dan minimum

$$\begin{aligned}
 P_{O_{\text{Maks}}} &= V_{O_{\text{Maks}}} \times I_{O_{\text{Maks}}} \\
 &= 9.5 \times 9.5 \\
 &= 90.25 \text{ W}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{O_{\text{Min}}} &= V_{O_{\text{Min}}} \times I_o \\
 &= 2\text{V} \times 0.1 \\
 &= 0.2\text{W}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{V_{\text{dcMaks}}} &= \frac{V_{\text{omaks}}}{V_{\text{imin}}} \\
 &= \frac{9.5}{11} \\
 &= 0.86
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{V_{\text{dcMin}}} &= \frac{V_{\text{omin}}}{V_{\text{imaks}}} \\
 &= \frac{2}{13} \\
 &= 0.15
 \end{aligned}$$

Asumsi Efisiensi ( $\eta$ ) = 90%

$$\begin{aligned}
 D_{\text{maks}} &= \frac{M_{V_{\text{dcMin}}}}{\eta} \\
 &= \frac{0.92}{0.85} \\
 &= 0.95
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D_{\text{min}} &= \frac{M_{V_{\text{dcMaks}}}}{\eta} \\
 &= \frac{0.15}{0.85} \\
 &= 0.18
 \end{aligned}$$

Berarti  $D_{\text{maks}} = 95\%$  dan  $D_{\text{min}} = 18\%$

– Langkah 3

Menentukan nilai induktor

Digunakan  $F_s = 31\text{kHz}$ , dikarenakan clock generator maksimum pada ATmega8535 hanya sampai 31kHz pada crystal 16Mhz.

Maka Nilai Induktor Minimal :

$$L_{\text{min}} = \frac{R_{\text{lmaks}} (1 - D_{\text{min}})}{2 f_s}$$

$$\begin{aligned}
 L_{\text{min}} &= \frac{27(1-0.18)}{2 \cdot 31 \cdot 10^3} \\
 &= 0.69 \text{ mH}
 \end{aligned}$$

Digunakan 2.5mH

Maka arus ripple inductor maksimal adalah :

$$\begin{aligned}\Delta iL_{\text{Maks}} &= \frac{V_o(1-D_{\text{min}})}{f_s L} \\ &= \frac{9.5(1-0.18)}{31.10^3 \cdot 2.5.10^{-3}} \\ &= 0.1 \text{ A}\end{aligned}$$

– Langkah 4

Menentukan nilai kapasitor

Ripple voltage adalah

$$V_r = \frac{1}{100} V_o = 0.01 \cdot 9.5 = 0.095 \text{ V}$$

Maksimum ESR Kapasitor adalah

$$r_C = \frac{V_r}{\Delta iL_{\text{Maks}}} = \frac{0.095}{0.1} = 0.95 \Omega$$

maka nilai C minimum adalah

$$C_{\text{min}} = \frac{D_{\text{maks}}}{2f_s r_C} = \frac{0.95}{2 \cdot 31.10^3 \cdot 0.95} = 16 \mu\text{F}$$

Digunakan kapasitor 6800  $\mu\text{F}$ , maka  $V_r =$

$$\begin{aligned}V_r &= V_{\text{cpp}} + V_{\text{rcpp}} = \frac{V_o(1-D_{\text{min}})}{8f_s^2 LC} + \frac{r_C V_o(1-D_{\text{min}})}{f_s L} \\ &= \frac{9.5(1-0.18)}{8(31.10^3)^2 2.5.10^{-3} 6800.10^{-6}} + \frac{9.5 \cdot 0.95(1-0.18)}{(31.10^3)^2 2.5.10^{-3}} \\ &= 62.08 \mu\text{V}\end{aligned}$$

– Langkah 5

Menentukan komponen switching yaitu mosfet dan dioda

$V_{\text{switch}} = V_{\text{dioda}} = V_{\text{input maks}}$

$V_{\text{Smaks}} = V_{\text{Dmaks}} = V_{\text{Imaks}} = 13 \text{ V}$

Digunakan MOSFET N-Channel IRF3205 dengan spesifikasi :

$V_{\text{DSS}} = 55 \text{ V}$

$R_{\text{DS(on)}} = 0.008 \Omega$

$I_{\text{DM}} = 80 \text{ A}$

$C_{\text{OSS}} = 781 \text{ pF}$

$$C_{RSS} = 221 \text{ pF}$$

$$Q_g = 146 \text{ nC}$$

$$V_{th} = 2\text{V} - 4\text{V}$$

Maka nilai konduksi power loss mosfet adalah

$$\begin{aligned} P_{rDS} &= D_{maks} r_{DS} I_o^2 \\ &= 0.95 \times 0.008 \times 64 \\ &= 0.486 \text{ W} \end{aligned}$$

Nilai switching loss adalah

$$\begin{aligned} P_{SW} &= 10 f_s (C_{OSS} - C_{RSS}) \sqrt{V_i^3} \\ &= 10 \cdot 31 \cdot 10^3 \times (781 \cdot 10^{-12} - 221 \cdot 10^{-12}) \times \sqrt{13^3} \\ &= 0.00813 \text{ W} \end{aligned}$$

Digunakan  $V_{GS} = V_{in}$ , maka

$$\begin{aligned} P_G &= F_s Q_g V_{GS} \\ P_{Gmaks} &= 31 \cdot 10^3 \cdot 146 \cdot 10^{-9} \cdot 13 = 0.059 \text{ W} \end{aligned}$$

Maka total power loss pada MOSFET IRF3205 adalah

$$P_{rDS} + \frac{P_{SW}}{2} + P_G = 0.486 \text{ W} + 0.00813 \text{ W} + 0.059 \text{ W} = 0.553 \text{ W}$$

Arus maksimum pada dioda adalah

$$I_{Smaks} = I_{Dmaks} = I_{Omaks} + \frac{\Delta i_L}{2} = 8\text{A} + \frac{0.1}{2} = 8.005 \text{ A}$$

Maka digunakan Dioda barrier schotky SB2040CT dengan spesifikasi

$$I_{DM} = I_F = 20\text{A}$$

$$V_{DM} = 40\text{V}$$

$$V_F = 0.55\text{V}$$

$$R_F = 0.055 \Omega$$

Total power loss di diode SB2040CT

$$\begin{aligned} P_{VF} &= (1 - D_{min}) V_F I_{Omaks} \\ &= (1 - 0.18) \cdot 0.55 \cdot 9.5 \\ &= 4.284 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{RF} &= (1 - D_{min}) R_F I_{Omaks}^2 \\ &= (1 - 0.18) \cdot 0.055 \cdot 90.25 \end{aligned}$$

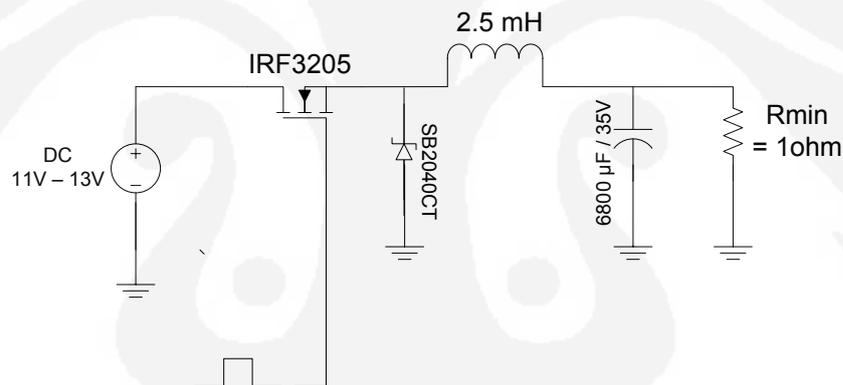
$$= 4.07\text{W}$$

Total powerloss maksimal pada dioda = 8.354W

Total loss power di kapasitor adalah

$$\begin{aligned} P_{rC} &= \frac{r_c (\Delta i_L \text{Maks})^2}{12} \\ &= \frac{0.95(0.1)^2}{12} \\ &= 0.79 \text{ mW} \end{aligned}$$

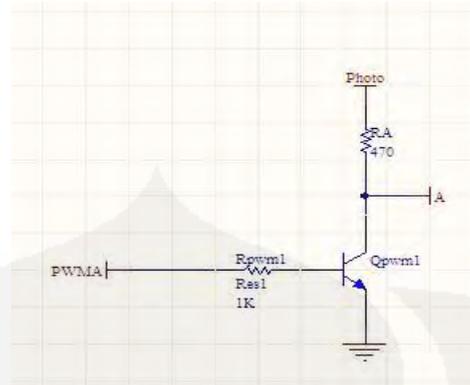
Karena nilai  $r_L$  pada induktor tidak bisa diketahui dengan cara pengukuran maka nilai total loss pada induktor tidak bisa diketahui. Sehingga nilai  $r_L$  dan efisiensi dalam perancangan buck konverter ini akan diketahui setelah melihat hasil pengujian.



Gambar 3.4 Skematik buck konverter hasil perancangan

- Langkah 6  
Menentukan rangkaian gate driver

Karena kontrol tegangan output diatur oleh pwm pada gate, maka dibutuhkan PWM generator yang bisa menghasilkan dutycycle yang bervariasi sehingga digunakan ATmega8535 sebagai kontrol pwm, karena Amplitudo maksimum pada ATmega8535 hanya sebesar 5V. maka dibutuhkan rangkaian untuk menaikkan tegangan.



Gambar 3.5 Rangkaian gate driver

PWMA adalah jalur berasal dari ATmega8535 dan photo adalah sumber yang berasal dari tegangan input.

Digunakan transistor 2N2222A dengan spesifikasi :

$$I_{C_{maks}} = 800 \text{ mA} \quad V_{BE_{sat}} = 0.6 \text{ V}$$

$$V_{CEO} = 40 \text{ V} \quad V_{CE_{sat}} = 1 \text{ V}$$

$$H_{Femin} = 75$$

Maka nilai arus pada collector adalah

$$I_C = \frac{13V-1}{1k} = 12 \text{ mA}$$

Nilai arus pada basis adalah

$$I_{Bmin} = \frac{I_C}{hfemin} = \frac{12}{75} = 0.16 \text{ mA} ; \text{ maka } I_B \text{ minimal adalah } 0.16 \text{ mA}$$

$$I_B = \frac{5V-0.6}{1k} = 4.6 \text{ mA}$$

Sehingga nilai amplitude pada pulse high pwm sekarang adalah sebesar  $V_{input}$ .

$$V_{g(peak)} = V_{input}$$

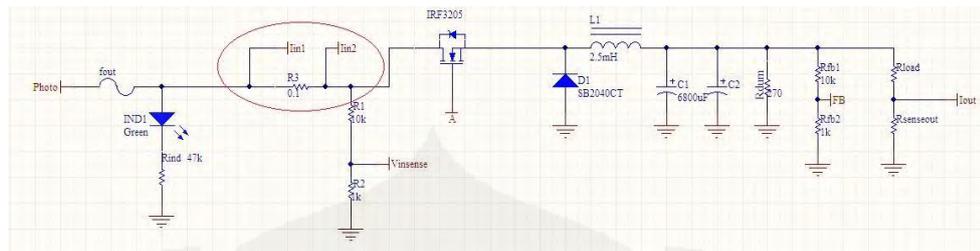
### 3.3 Perancangan Kontrol Digital

Kontrol digital yang digunakan adalah ATMEGA8535 dengan Kristal 16Mhz dengan power supply dc 5V yang catunya diregulasi ke nilai tegangan 5v oleh IC simple siwtching buck yaitu LM2576-5V. Digunakan bahasa BASIC sebagai bahasa pemrogramannya dan BASCOM-IDE sebagai compilernya. Kontrol digital mempunyai 3 fungsi utama yaitu :

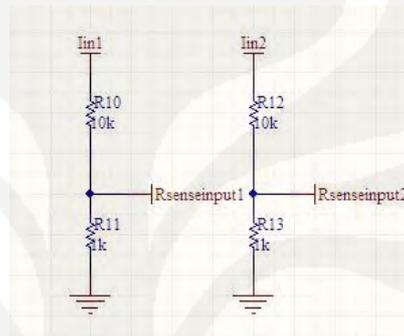
1. Sebagai analog to digital converter dari hasil sensing pada tegangan arus input dan output
2. Sebagai pemroses dan kontrol dari hasil proses input



– Sense arus input



Gambar 3.7 Gambar jalur pengambilan nilai arus input pada rangkaian buck konverter



Gambar 3.8 Gambar rangkaian pembagi tegangan untuk sensing arus input

Apabila digunakan  $R_{sense\ input} = 0.1 \Omega$ ,  $V_{in} = 11V - 13V$ ,  $I_{in} = 0 - 3A$

Maka nilai pada tiap jalur adalah

$$V_{R_{sense\ input\ 1}} = \frac{1}{11} \times 13V = 1.1818V$$

$$V_{R_{sense\ input\ 2}} = \frac{1}{11} \times (13 - (0.1 \times 3))V = 1.143V$$

Sehingga nilainya dalam byte adalah

$$V_{R_{sense\ input\ 1}} = \frac{1.1818}{0.0048} = 246_{10} = F6_{16} = 11110110_2$$

$$V_{R_{sense\ input\ 2}} = \frac{1.143}{0.0048} = 240_{10} = EE_{16} = 11101110_2$$

Sehingga simpangan maksimum untuk nilai arus input dari 0 – 3A adalah

$$\Delta V_{R_{sense\ input}} = 6_{16} = 00000110_2$$

Terlihat bahwa simpangan data 0 – 3A sangat kecil yaitu = 00000110<sub>2</sub>, sehingga akan tidak mungkin mendapatkan hasil yang valid dan tepat.

Dikarenakan pembacaan arus input akan dilakukan presisi dalam 2 digit dibelakang koma. Nilai nilai pada simpangan akan ditunjukkan pada table dibawah ; Arus = (byte x 0.0048 x  $\frac{11}{1}$ )

Tabel 3.2 nilai konversi arus ke bilangan biner

Byte <sub>2</sub>	Arus (A)
00000000	0
00000001	0.5
00000010	1
00000011	1.6
00000100	2.1
00000101	3.1

Ada dua cara yang bisa dilakukan untuk mengatasi ini

1. Menaikan nilai  $R_{sense}$ , cara ini akan melebarkan simpangan byte sehingga meningkatkan presisi nilai pada pembacaan arus, akan tetapi cara ini akan menurunkan nilai efisiensi rangkaian karena semakin besar nilai  $R_{sense}$  input akan menyebabkan bertambahnya nilai hambatan total dimana  $R_{maks}$  rangkaian yang cukup kecil yaitu  $1.3 \Omega$ .
2. Memperbanyak pencuplikan pengambilan data, maksudnya adalah sensing  $V_{R_{sense} input 1}$  dan  $V_{R_{sense} input 2}$  dilakukan berulang-ulang kali dan setiap pengambilan datanya akan ditambah terus menerus dan hasilnya akan dibagi dengan jumlah sampling

$$V_{R_{sense} input} = V_{sampling1} + V_{sampling2} + V_{sampling3} + \dots + V_{samplingN}$$

$$V_{R_{sense} input} = \frac{V_{R_{sense} input}}{N}$$

Hasil dari  $V_{R_{sense} input}$  disimpan dalam variable dengan format single dengan 6 angka dibelakang koma, sehingga hasil dari perkalian tidak lagi dalam bentuk bytes namun sudah dalam bentuk integer tidak bertanda dan mempunyai 7 angka dibelakang koma.

Dengan cara ini akan membentuk suatu deret data yang bervariasi yang nilainya membuat lebih presisi.

Contoh :

$$V_{in} = 10V \quad I_{in} = 0.3A$$

Maka nilai,

$$V_{R_{sense\ input\ 1}} = 10 \times \frac{1}{11} = 0.9V ; \frac{0.9}{0.0048} = 187.5$$

Kemungkinan variasi pencuplikan (contoh 6 pencuplikan):

187 ; 187 ; 188 ; 187 ; 188 ; 187

Total : 1122

$$\text{Maka } V_{R_{sense\ input\ 1}} = \frac{1122}{6} = 187.16667_{10}$$

$$V_{R_{sense\ input\ 2}} = (10 - (0.3 * 0.1)) \times \frac{1}{11} = 0.8973V ; \frac{1.062}{0.0048} =$$

186.9375

Kemungkinan variasi pencuplikan (contoh 6 pencuplikan):

186 ; 186 ; 186 ; 187 ; 187 ; 187 Total : 1119

$$\text{Maka } V_{R_{sense\ input\ 1}} = \frac{1119}{6} = 186.5_{10}$$

Sehingga

$$\Delta V_{R_{sense\ input}} = 187.16667_{10} - 186.5_{10} = 0.66667$$

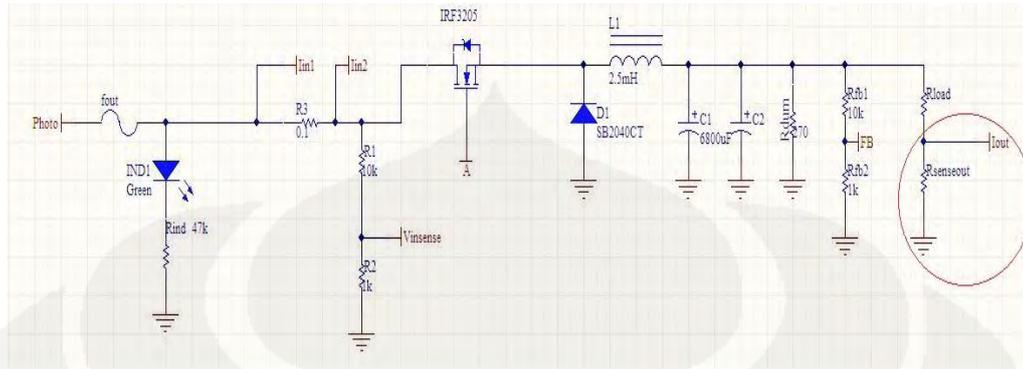
Pembuktian :

$$\begin{aligned} \text{Arus} &= (\text{byte} \times 0.0048 \times \frac{11}{1}) \\ &= 0.66667 \times 0.0048 \times \frac{11}{1} \\ &= 0.352 \text{ A} \end{aligned}$$

Terbukti dari teknik diatas bisa membuat hasil lebih presisi, **semakin banyak jumlah pencuplikan semakin presisi sensing dari arus**, walaupun dengan simpangan data yang kecil.

Keuntungan dari teknik diatas juga bisa memperkecil error pembacaan yang berasal dari noise yang ada pada jalur tegangan input.

– Sense Arus output



Gambar 3.9 Gambar jalur pengambilan nilai arus input pada rangkaian buck konverter

$R_{senseout}$  menggunakan  $R = 0.1 \Omega$ , Seperti halnya sensing pada arus input, pada arus output juga menggunakan teknik yang sama, namun pada sensing arus output, salah satu inputnya terhubung ke ground sehingga :

$$V_{Rsense\ output\ 1} = \frac{0.1}{R_{load} + 0.1} \times V_{out}$$

$$V_{Rsense\ output\ 2} = 0$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} V_{Rsense\ output} &= V_{Rsense\ output\ 1} - V_{Rsense\ output\ 2} \\ &= \frac{0.1}{R_{load} + 0.1} \times V_{out} - 0 \\ &= \frac{0.1}{R_{load} + 0.1} \times V_{out} \end{aligned}$$

Sehingga byte maksimum pada  $V_{out} = 13V$  ;  $R_{load} = 1.625\Omega$  ;  $I_{out} = 8A$

$$\begin{aligned} V_{Rsense\ output} &= \frac{0.1}{1.625 + 0.1} \times 13 \\ &= 0.754 \end{aligned}$$

Sehingga,

$$\text{Byte} = \frac{0.754}{0.0048} = 157_{10} = 9D_{16}$$

Dan byte minimum pada  $V_{out} = 11V$  ;  $I_{out} = 0.1\Omega$

$$V_{R_{sense\ output}} = \frac{0.1}{110+0.1} 11$$

$$= 0.0099$$

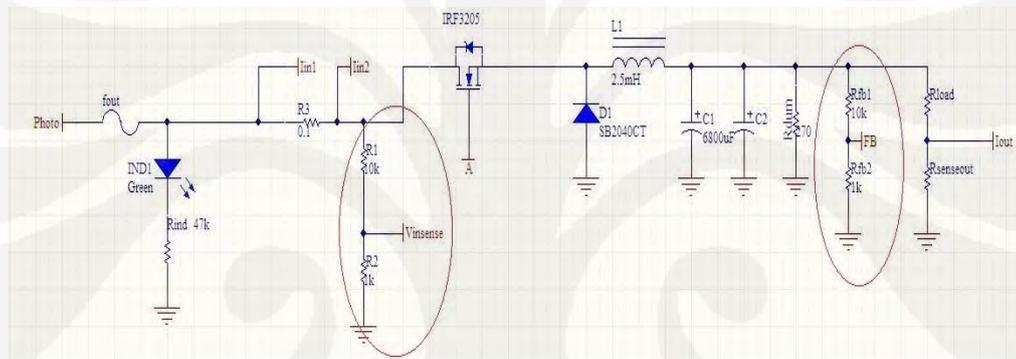
Sehingga,

$$\text{Byte} = \frac{0.0099}{0.0048} = 2_{10} = 02_{16}$$

Maka lebar data pada sensing arus output adalah dari  $02_{16}$  -  $9D_{16}$ .

Pada sensing arus out juga dilakukan pencuplikan seperti yang dilakukan pada sensing arus input, untuk mendapatkan hasil yang lebih presisi dan untuk memperkecil error hasil dari noise pada jalur tegangan output.

- Sense tegangan output dan input



Gambar 3.10 Gambar jalur pengambilan nilai tegangan input dan output pada rangkaian buck konverter

Pada sense tegangan input dan output digunakan rangkaian pembagi tegangan dengan resistor 1k dan 10k, digunakan rangkaian pembagi tegangan karena input maksimal yang bias diterima oleh A/D converter pada ATmega8535 adalah 5V. sehingga,

$$V_{senseout} = \frac{1}{1+10} V_{out}$$

$$V_{sensein} = \frac{1}{1+10} V_{in}$$

Disaat  $V_{in}$  Maks = 13V

$$V_{senseout} = \frac{1}{1+10} 13$$

$$= 1.17V = \frac{1.17}{0.0048} = 243_{10}$$

Disaat  $V_{in \text{ Min}} = 11\text{V}$

$$\begin{aligned} V_{\text{senseout}} &= \frac{1}{1+10} 11 \\ &= 0.99\text{V} = \frac{0.99}{0.0048} = 206_{10} \end{aligned}$$

Sehingga lebar data pada sensing  $V_{in}$  adalah  $206_{10} - 243_{10}$

Disaat  $V_{out \text{ Maks}} = 9.5\text{V}$

$$\begin{aligned} V_{\text{senseout}} &= \frac{1}{1+10} 9.5 \\ &= 0.855\text{V} = \frac{0.855}{0.0048} = 178_{10} \end{aligned}$$

Disaat  $V_{out \text{ Min}} = 0.1\text{V}$

$$\begin{aligned} V_{\text{senseout}} &= \frac{1}{1+10} 0.1 \\ &= 0.009\text{V} = \frac{0.009}{0.0048} = 1_{10} \end{aligned}$$

Sehingga lebar data pada sensing  $V_{out}$  adalah  $1_{10} - 178_{10}$

2. Hasil dari data pada A/D converter yang sebelumnya digunakan untuk mengambil data tegangan dan arus pada input dan output akan disimpan didalam RAM ATmega8535 dan akan diolah kemudian dijadikan parameter untuk menghasilkan suatu keluaran.

Script basic untuk mensimpan hasil dari adc adalah

*“ Dim Vin as word*

*Vin = Getadc(0) “*

Dim vin as word adalah fungsi inialisasi register Vin yang mempunyai variable word, sehingga register Vin bias diakses data maksimal 16 bit.

Vin = Getadc(0) adalah fungsi perintah untuk adc agar memulai conversinya, selama waktu konversi, program terinterupsi sampai konversi selesai, setelah itu data hasil dari konversi sebesar 10 bit disimpan dalam register Vin.

Dengan script ini bisa dengan mudah kita memanggil dan menyimpan data dari adc, yang tentunya akan mempermudah proses-proses berikutnya.

### 3. ATmega8535 sebagai PWM generator

Didalam ATmega8535 terdapat fasilitas PWM generator dan bias diatur dutycyclenya, terdapat dua PWM generator, yang masing-masing bias dikontrol secara independent.

Config script untuk mengaktifkan dan menset PWM adalah

*“ Config Timer1 = Pwm , Pwm = 8 , Compare A Pwm = Clear Down , Prescale = 1 ”*

Timer1 difungsikan sebagai pwm, lebar data = 8 bit, perhitungan nilai dari besar ke kecil, dan pembagi besar clock adalah 1.

Maka besar frekuensi didalam ATmega8535 dapat dihitung dengan cara

$$f_{\text{PWM}} = \frac{16\text{Mhz}}{256} = 62\text{kHz} ; \frac{62\text{kHz}}{2} = 31\text{kHz}$$

dengan lebar 8 bit maka simpangan maksimum data adalah 255, sehingga untuk mendapatkan nilai dutycycle adalah

nilai = 255 x DC, sehingga apabila dalam perancangan buck converter mempunyai DutyCycle maksimum = 95%, maka nilai maksimum = 255 \* 0.95 = 242 dan nilai minimum = 18%, maka nilai minimum = 255 \* 0.18 = 45

dikarenakan menggunakan transistor npn 2n2222A sebagai driver gate mosfet, maka ada pembalikan kondisi pulsa (high → low, low → High).

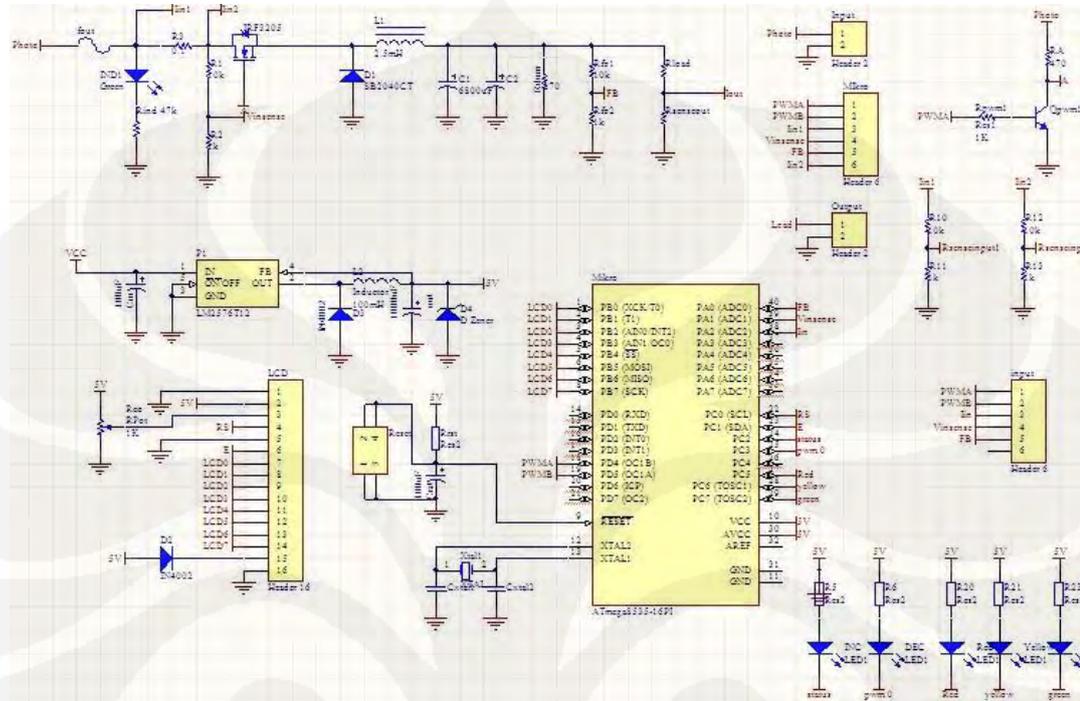
Sehingga nilai maksimum dan minimum berubah menjadi :

nilai maksimum : 255 – 242 = 13

nilai minimum : 255 – 45 = 210

Pada mikro terdapat rangkaian regulator menggunakan LM2576 simple-buck-regulator, alasan memakai regulator LM2576. karena IC ini mampu tetap

Sehingga rangkaian total menjadi



Gambar 3.11 Gambar total perancangan rangkaian buck konverter dan mikrokontroler

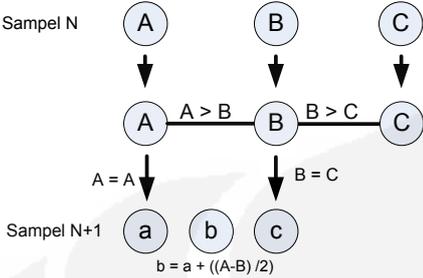
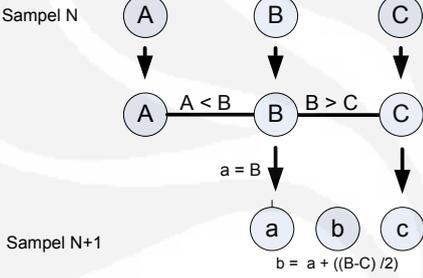
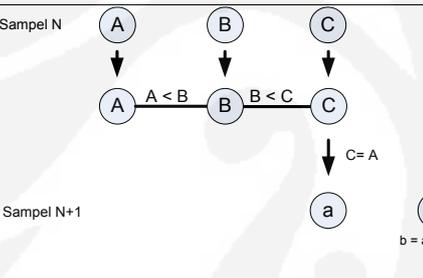
meregulasi tegangan menjadi 5V disaat input hanya  $V_{out} + 1V$ , IC ini cocok sekali utk dilingkungan dengan input yang berubah-ubah signifikan seperti photovoltaic. Dan kemudian menggunakan LCD display 2x16 utk memudahkan pembacaan disaat pengukuran.

### 3.4 Perancangan algoritma MPPT (maksimum power point tracking)

Ada berbagai macam teknik dan algoritma metode pencarian pada tracking daya maksimum ini, seperti hill-climbing teknik, P&O algorithm, PI / PID, fuzzy dsb.

Namun dalam tulisan ini penulis memilih P&O algorithm sebagai algoritma MPPT. Didalam P&O algorithm (Perturb and Observe algorithm) selalu mempunyai 3 sampel yang saling membandingkan, dimana nilai dari 3 sampel tersebut sangat dinamis berubah sesuai dengan nilai sebelumnya. Gambar dibawah merupakan visualisasi dari keadaan keadaan pada P&O algorithm.

Tabel 3.3 Visualisasi nilai pencuplikan data pada algoritma P&amp;O

<p>Sampel N</p>  <p>Sampel N+1</p> $b = a + ((A-B)/2)$	<p>Ini adalah nilai dimana nilai A paling besar diantara B dan C, dengan demikian range sampling berubah dimana MP (maksimum power) akan berada diantara sampling A dan B, kemudian dilakukan sampling berikutnya dengan nilai <math>A = A</math> ; <math>B = A + ((A-B)/2)</math> ; <math>C = C</math></p>
<p>Sampel N</p>  <p>Sampel N+1</p> $b = a + ((B-C)/2)$	<p>Ini adalah dimana nilai B paling besar diantara A dan C, dengan demikian range sampling juga akan berubah dimana nilai MP akan berada pada sampling B dan C, kemudian dilakukan sampling berikutnya dengan nilai <math>A = B</math> ; <math>B = B + ((B-C)/2)</math> ; <math>C = C</math></p>
<p>Sampel N</p>  <p>Sampel N+1</p> $b = a + (B-C)$ $c = b + (B-C)$	<p>Ini adalah dimana nilai C paling besar diantara A dan B, sehingga dianggap pada sample ini nilai MP tidak ditemukan oleh karena itu sampling berikutnya berubah dengan nilai <math>A = C</math> ; <math>B = A + ((B-C)/2)</math> ; <math>C = B + ((B-C)/2)</math></p>

Perancangan algoritma P&O didalam sistem MPPT , berarti mencari daya maksimum yang bisa dihasilkan oleh photovoltaic pada suatu waktu, daya maksimum disini adalah daya pada input buck converter. Jadi nilai daya adalah  $V_{in} \times I_{in}$ . Apabila dilihat pada gambar diatas maka :

$$A = V_{in \text{ pada waktu } t1} \times I_{in \text{ pada waktu } t1}$$

$$B = V_{in \text{ pada waktu } t2} \times I_{in \text{ pada waktu } t2}$$

$$C = V_{in \text{ pada waktu } t3} \times I_{in \text{ pada waktu } t3}$$

Berdasarkan karakteristik dari photovoltaic, nilai tegangan yang dipengaruhi oleh suhu dan nilai arus yang dipengaruhi intensitas cahaya matahari, maka arus maksimum pada photovoltaic akan selalu berubah, dimana arus yang digunakan

adalah tegangan dibagi dengan hambatan, sehingga, didalam MPPT ini nilai sampling tidak hanya terhadap waktu tetapi juga nilai tegangan output dan arus output terhadap beban. Dalam beban konstan, nilai tegangan output lah yang mempengaruhi arus output, dan arus output yang mempengaruhi nilai arus input. Nilai tegangan output bisa berubah sesuai dengan PWM dengan nilai dutycycle yang berubah-ubah, secara umum nilai  $V_o = \text{duty cycle} \times V_i$ , dengan merubah nilai dutycycle ini akan merubah nilai tegangan output, sehingga sampling dilakukan tidak hanya terhadap waktu, tetapi terhadap suatu waktu dan kebutuhan arus yang berubah-ubah. Apabila kebutuhan arus lebih besar dari arus maksimal yang diberikan oleh photovoltaic, maka respon dari photovoltaic adalah tegangan yang turun, dan arus yang turun, sehingga dengan turunnya dua parameter diatas, maka nilai daya juga akan turun. Maka konstanta sampling akan menjadi

$$A = V_{in} \text{ pada waktu } t_1 \text{ dan pada } pwm_1 \times I_{in} \text{ pada waktu } t_1 \text{ dan pada } pwm_1$$

$$B = V_{in} \text{ pada waktu } t_2 \text{ dan pada } pwm_2 \times I_{in} \text{ pada waktu } t_2 \text{ dan pada } pwm_2$$

$$C = V_{in} \text{ pada waktu } t_3 \text{ dan pada } pwm_3 \times I_{in} \text{ pada waktu } t_3 \text{ dan pada } pwm_3$$

Jadi,

$$A = P_A \text{ dengan } pwm \text{ dutycycle} = n \text{ dan } t = a$$

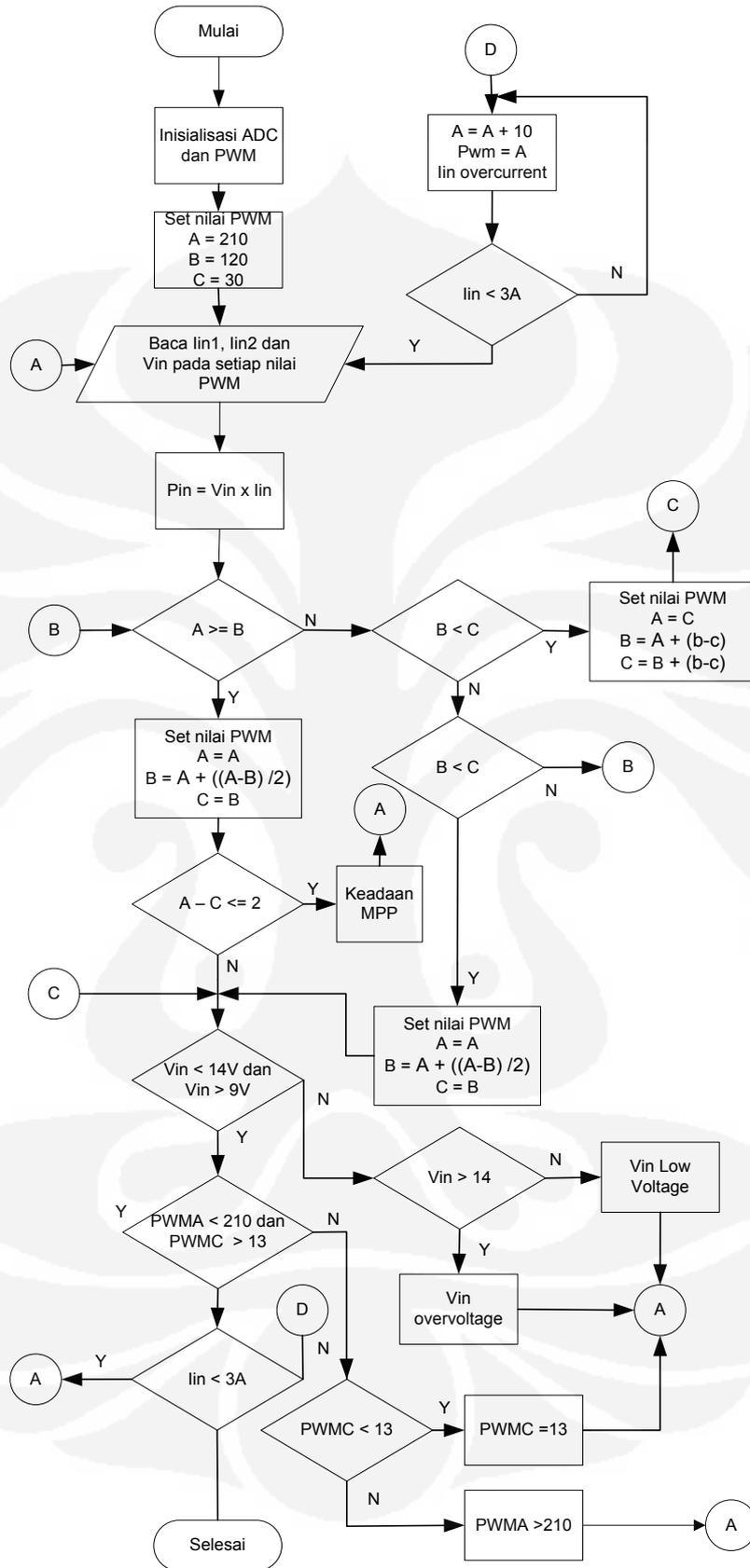
$$B = P_B \text{ dengan } pwm \text{ dutycycle} = n + m \text{ dan } t = a + b$$

$$C = P_C \text{ dengan } pwm \text{ dutycycle} = n + 2m \text{ dan } t = a + 2b$$

Berdasarkan nilai dutycycle maksimum dan minimum maka, nilai  $n = \text{duty cycle minimum} = 0.18$ ,  $a = 0$ ,  $m = \Delta pwm$  dan  $b = \text{jeda waktu pengambilan antara satu data dengan data berikutnya}$ . Setelah algoritma sudah menemukan nilai daya optimum dari photovoltaic, maka algoritma akan meng-*hold* nilai pwm tersebut tetapi disaat yang bersamaan algoritma terus mengambil informasi nilai daya input pada setiap  $t$ , apabila nilai  $P_{in \text{ pada waktu } t_1 \text{ dan pada } pwm_1}$  lebih besar dari  $P_{in \text{ pada waktu } t_2 \text{ dan pada } pwm_1}$  maka algoritma akan menahan nilai pwm, sebaliknya apabila lebih kecil maka algoritma akan mencoba menaikkan dan menurunkan nilai pwm karena dianggap nilai dari daya yang bisa diberikan oleh photovoltaic sudah berubah. Nilai pwm akan terus berubah sampai nilai daya optimum tercapai, dan begitu seterusnya algoritma akan terus mencari nilai daya optimum untuk mencari kemampuan daya yang bisa diberikan oleh photovoltaic pada waktu  $t$ .

Tabel 3.4 *Rules* dan respon pada suatu kondisi pada photovoltaic

Keadaan	Respon	state
$A < B < C$	MP blm tercapai, terus menaikkan PWM dengan $\Delta = (B - C)$	PWM=C
$A < B > C$	MP hampir tercapai, menaikkan PWM dengan $\Delta = 0.5(B - C)$	PWM=B
$A > B > C$	MP hampir tercapai, menaikkan PWM dengan $\Delta = 0.5(A - B)$	PWM=A
State=A selama 5x	MP tercapai, meng- <i>hold</i> PWM dan mulai membandingkan nilai daya input yang dicuplik	PWM=A
$P_{in_{t+a}} > P_{in_t}$	meng- <i>hold</i> PWM dan terus membandingkan nilai daya input yang dicuplik	PWM=A
$P_{in_{t+a}} < P_{in_t}$	MP belum tercapai, menurunkan PWM	Restart



Gambar 3.12 Flowchart Algoritma P&O untuk mencari daya optimum

## BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA

### 4.1 Pengujian rangkaian sensing tegangan dan arus

Pengujian dilakukan dengan teknik multiple sampling, jumlah sampling = 33, Sampling dilakukan 33 kali dikarenakan batas dari SRAM pada mikrokontroler ATmega8535 yang membatasi indexing sampai 33 kali karena ada jumlah insialisasi yg cukup banyak dari keseluruhan program, sehingga indexing maksimal hanya cukup sampai 33 kali.

Script basic :

```

“For Index = 1 To 33
  Waitus 100
  Vin(index) = Getadc(2)
  Waitus 100
  Vout(index) = Getadc(0)
  V_in = V_in + Vin(index)
  V_out = V_out + Vout(index)
Next Index
V_in = V_in / 33
V_in = V_in / 0.0048
V_out = V_out / 33
V_out = Vout / 0.0048”
  
```

Table 4.1 Tabel pengujian Vsense input dan output

Tegangan (V)		Faktor bagi	Tegangan Hasil perhitungan		Tegangan Hasil pengujian		Nilai V_in(dalam format single)		Nilai rekonversi V_in x 0.0048	
Vin	Vo		Vin	Vo	Vin	Vo	Vin	Vo	Vin	Vo
0	0	0.09	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000
0.5	0.5	0.09	0.045	0.045	0.046	0.045	9.374	9.373	0.045	0.045
1	1	0.09	0.090	0.090	0.092	0.091	18.749	18.749	0.090	0.090
1.5	1.5	0.09	0.135	0.135	0.134	0.134	28.124	28.124	0.135	0.135
2	2	0.09	0.180	0.180	0.182	0.182	37.499	37.499	0.180	0.180
2.5	2.5	0.09	0.225	0.225	0.224	0.224	46.874	46.874	0.225	0.225
3	3	0.09	0.270	0.270	0.272	0.271	56.249	56.247	0.270	0.270
3.5	3.5	0.09	0.315	0.315	0.316	0.316	65.624	65.624	0.315	0.315
4	4	0.09	0.360	0.360	0.356	0.355	74.999	74.997	0.360	0.360
4.5	4.5	0.09	0.405	0.405	0.406	0.406	84.374	84.374	0.405	0.405

5	5	0.09	0.450	0.450	0.451	0.451	93.749	93.749	0.450	0.450
5.5	5.5	0.09	0.495	0.495	0.495	0.494	103.124	103.124	0.495	0.495
6	6	0.09	0.540	0.540	0.541	0.541	112.499	112.499	0.540	0.540
6.5	6.5	0.09	0.585	0.585	0.585	0.585	121.874	121.874	0.585	0.585
7	7	0.09	0.630	0.630	0.630	0.630	131.249	131.249	0.630	0.630
7.5	7.5	0.09	0.675	0.675	0.674	0.675	140.624	140.624	0.675	0.675
8	8	0.09	0.720	0.720	0.720	0.720	149.999	149.999	0.720	0.720
8.5	8.5	0.09	0.765	0.765	0.765	0.765	159.374	159.374	0.765	0.765
9	9	0.09	0.810	0.810	0.811	0.811	168.749	168.749	0.810	0.810
9.5	9.5	0.09	0.855	0.855	0.854	0.854	178.124	178.124	0.855	0.855
10	-	0.09	0.900	-	0.900	-	187.5	-	0.900	-
11	-	0.09	0.990		0.991		206.25		0.990	
12	-	0.09	1.080		1.080		225		1.080	
13	-	0.09	1.170		1.171		243.75		1.170	
14	-	0.09	1.260		1.260		262.5		1.260	

Pada hasil sensing tegangan input dan input dengan sampling 33 kali mendapatkan nilai yang sangat presisi dengan tingkat error < 0.001%.

Pada pengukuran arus, konfigurasi software hampir sama dan juga dilakukan seperti konfigurasi pengukuran tegangan, hanya saja untuk mengukur arus input dilakukan dengan memasukan dua parameter, yaitu tegangan sebelum  $R_{senseInput}$  dengan tegangan sesudah  $R_{senseInput}$ . Perbedaan nilai tegangan pada kedua titik itu, dibagi dengan nilai  $R_{sense}$  maka didapat nilai arus.

$$\text{Nilai } R_{senseInput} = 0.1\Omega$$

$$\text{Mengukur nilai arus} = \frac{(V_{input} - V_{sesudah R_{sense}})}{0.01}$$

Pengukuran nilai arus dibawah 0.04A, membuat penilaian arus sama dengan 0 atau bit terjadi overflow sehingga nilai menjadi bit maksimum, ini terjadi karena nilai bit konversi  $V_{input}$  lebih kecil dari  $V_{sesudah R_{sense}}$  sehingga nilai menjadi overflow karena nilainya minus. Hal ini bisa diatasi dengan algoritma apabila nilai  $V_{input}$  lebih kecil dari  $V_{sesudah R_{sense}}$  maka Arus  $\leq 0.04$ , dan dianggap 0.04.

## 4.2 Pengujian Buck converter

Pengujian dilakukan pada beban bervariasi dan nilai duty cycle yang bervariasi, untuk mengetahui efisiensi dari rangkaian buck converter, dan respon dari rangkaian.

Pengujian dilakukan dengan Input dari power supply dengan spesifikasi 12V-60A. Berdasarkan perancangan, nilai  $V_{gate(peak)}$  adalah sebesar  $V_{in}$ , kemudian didapat nilai  $V_o$  di duty cycle 100% = 8.8V, yang seharusnya  $V_o$  duty cycle 100% =  $V_D = 12V$ , sehingga terdapat perbedaan 3.2V. Dilakukan literatur pada mosfet N-Channel dan didapatkan untuk membuat Mosfet N-channel tetap dalam keadaan saturasi  $V_{Gate}$  harus lebih positif dari  $V_{Source}$ , namun terdapat masalah karena  $V_{Smaksimum} = V_{gate} - 3.2V$ , ternyata nilai 3.2V itu adalah nilai  $V_{threshold}$ , dimana pada IRF3205 nilai  $V_{threshold}$  min = 2V, dan maks = 4V, maka dari itu Nilai  $V_g = (V_S = V_D) + 3.2V$ . maka dilakukan perubahan nilai tegangan supply untuk  $V_g = V_D + 3.2V$ . Berikut adalah table-tabel nilai hasil pengujian dari buck converter pada beban minimal, nominal dan maksimal dengan nilai  $gate = V_D + 3.2V$ .

Table 4.2 Hasil pengujian pada buck converter di beban 27ohm

Bit	PWM(%)	Vo	Io	Vin	Iin	Po	Pin	$\eta$ (buck)
210	17.65	1.316	0.042	12	0.017	0.055	0.204	27.09
200	21.57	1.771	0.058	12	0.023	0.103	0.276	37.22
190	25.49	2.23	0.073	12	0.029	0.163	0.348	46.78
180	29.41	2.692	0.09	12	0.036	0.242	0.432	56.08
170	33.33	3.157	0.102	12	0.045	0.322	0.540	59.63
160	37.25	3.62	0.122	12	0.058	0.442	0.696	63.45
150	41.18	4.09	0.136	12	0.069	0.556	0.828	67.18
140	45.10	4.55	0.152	12	0.081	0.692	0.972	71.15
130	49.02	5.02	0.166	12	0.097	0.833	1.164	71.59
120	52.94	5.49	0.181	12	0.111	0.994	1.332	74.60
110	56.86	5.96	0.198	12	0.128	1.180	1.536	76.83
100	60.78	6.42	0.213	12	0.149	1.367	1.788	76.48

90	64.71	6.89	0.227	12	0.168	1.564	2.016	77.58
80	68.63	7.36	0.242	12	0.188	1.781	2.256	78.95
70	72.55	7.82	0.26	12	0.209	2.033	2.508	81.07
60	76.47	8.3	0.276	12	0.235	2.291	2.820	81.23
50	80.39	8.78	0.292	12	0.262	2.564	3.144	81.54
40	84.31	9.26	0.308	12	0.287	2.852	3.444	82.81
30	88.24	9.73	0.323	12	0.311	3.143	3.732	84.21
20	92.16	10.21	0.339	12	0.345	3.461	4.140	83.60
10	96.08	10.69	0.355	12	0.379	3.795	4.548	83.44

Table 4.3 Hasil pengujian pada buck converter di beban 9.6 ohm

Bit	PWM(%)	Vo	Io	Vin	Iin	Po	Pin	$\eta$ (buck)
210	17.65	1.181	0.25	12	0.047	0.295	0.564	52.349
200	21.57	1.609	0.343	12	0.074	0.552	0.888	62.149
190	25.49	2.042	0.434	12	0.108	0.886	1.296	68.382
180	29.41	2.476	0.53	12	0.151	1.312	1.812	72.422
170	33.33	2.913	0.623	12	0.198	1.815	2.376	76.380
160	37.25	3.348	0.716	12	0.259	2.397	3.108	77.129
150	41.18	3.787	0.808	12	0.321	3.060	3.852	79.437
140	45.10	4.23	0.903	12	0.394	3.820	4.728	80.789
130	49.02	4.66	0.996	12	0.474	4.641	5.688	81.599
120	52.94	5.11	1.093	12	0.562	5.585	6.744	82.818
110	56.86	5.55	1.164	12	0.657	6.460	7.884	81.941
100	60.78	5.99	1.283	12	0.76	7.685	9.120	84.267
90	64.71	6.43	1.377	12	0.873	8.854	10.476	84.518
80	68.63	6.87	1.477	12	0.99	10.147	11.880	85.412
70	72.55	7.32	1.573	11.9	1.117	11.514	13.292	86.624
60	76.47	7.73	1.671	11.9	1.254	12.917	14.923	86.559
50	80.39	8.21	1.765	11.9	1.393	14.491	16.577	87.416
40	84.31	8.66	1.86	11.9	1.543	16.108	18.362	87.724

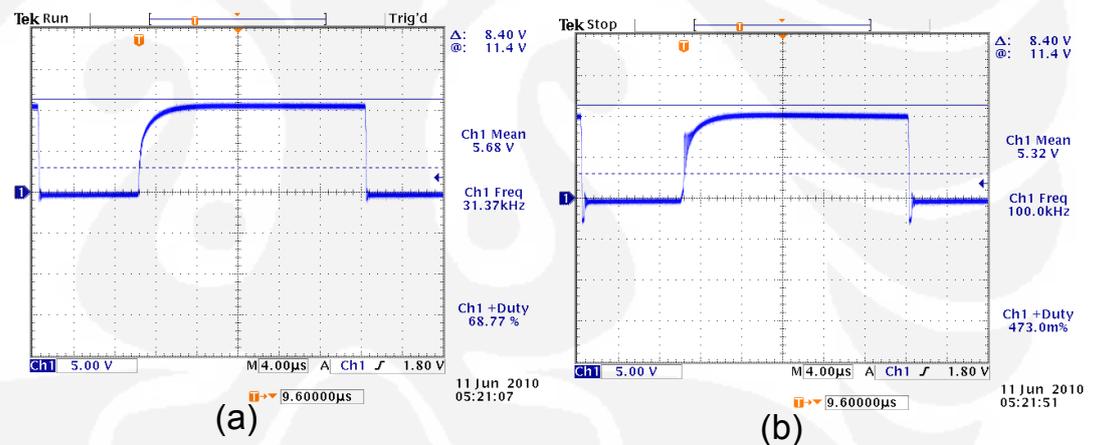
30	88.24	9.1	1.961	11.9	1.701	17.845	20.242	88.159
20	92.16	9.56	2.057	11.9	1.867	19.665	22.217	88.512
10	96.08	10.01	2.156	11.9	2.034	21.582	24.205	89.163

Table 4.4 Hasil pengujian pada buck converter di beban 1.29 ohm

Bit	PWM(%)	Vo	Io	Vin	Iin	Po	Pin	$\eta$ (buck)
210	17.65	0.967	1.027	12	0.158	0.993	1.896	52.379
200	21.57	1.334	1.414	12	0.272	1.886	3.264	57.790
190	25.49	1.704	1.82	12	0.418	3.101	5.016	61.828
180	29.41	2.073	2.227	12	0.597	4.617	7.164	64.441
170	33.33	2.441	2.634	12	0.814	6.430	9.768	65.823
160	37.25	2.803	3.062	11.8	1.071	8.583	12.638	67.914
150	41.18	3.165	3.484	11.8	1.357	11.027	16.013	68.864
140	45.10	3.523	3.894	11.8	1.681	13.719	19.836	69.161
130	49.02	3.87	4.368	11.8	2.076	16.904	24.497	69.006
120	52.94	4.22	4.844	11.7	2.49	20.442	29.133	70.167
110	56.86	4.56	5.308	11.6	2.933	24.204	34.023	71.142
100	60.78	4.88	5.78	11.5	3.42	28.206	39.330	71.717
90	64.71	5.22	6.204	11.4	3.912	32.385	44.597	72.617
80	68.63	5.5	6.622	11.3	4.432	36.421	50.082	72.723
70	72.55	5.87	7.06	11.3	4.983	41.442	56.308	73.599
60	76.47	6.19	7.474	11.2	5.551	46.264	62.171	74.414
50	80.39	6.5	7.874	11.1	6.142	51.181	68.176	75.072
40	84.31	6.8	8.277	11	6.745	56.284	74.195	75.859
30	88.24	7.1	8.673	11	7.387	61.578	81.257	75.782
20	92.16	7.38	9.059	10.9	8.018	66.855	87.396	76.497
10	96.08	7.65	9.418	10.8	8.656	72.048	93.485	77.069

Analisa tabel hasil pengujian

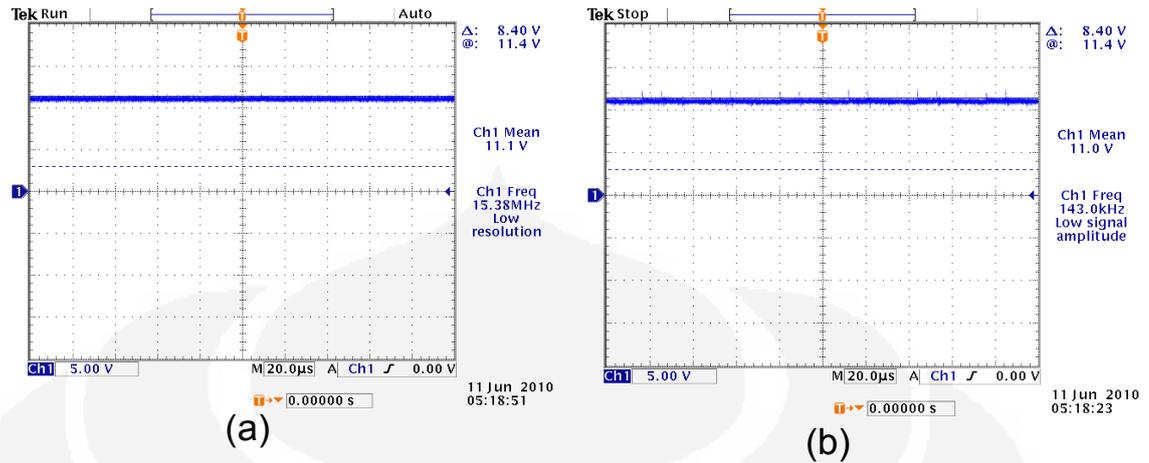
1. Perubahan nilai bit pada register pwmla akan merubah nilai %duty cycle, perubahan nilai %dc akan menyebabkan perubahan pada tegangan output, semakin besar nilai %dc maka semakin besar nilai tegangan output, karena pada beban tetap maka semakin besar tegangan output maka semakin besar arus yang dihasilkan.
2. Nilai tegangan output tertinggi yg bisa dicapai = 10.69V di beban 27ohm dan pwm 96%, nilai tegangan output terendah = 0.967V di beban 1.29ohm di duty cycle 17%.
3. Nilai daya output maksimum yang tercapai adalah 72.048W, didalam kondisi ini terdapat perubahan gambar grafik pada tegangan output, input dan bentuk pulsa  $V_L$  yang ditunjukkan pada gambar 4.3, gambar 4.4 dan gambar 4.5. pada kondisi daya paling besar mempunyai efisiensi sebesar 77%.



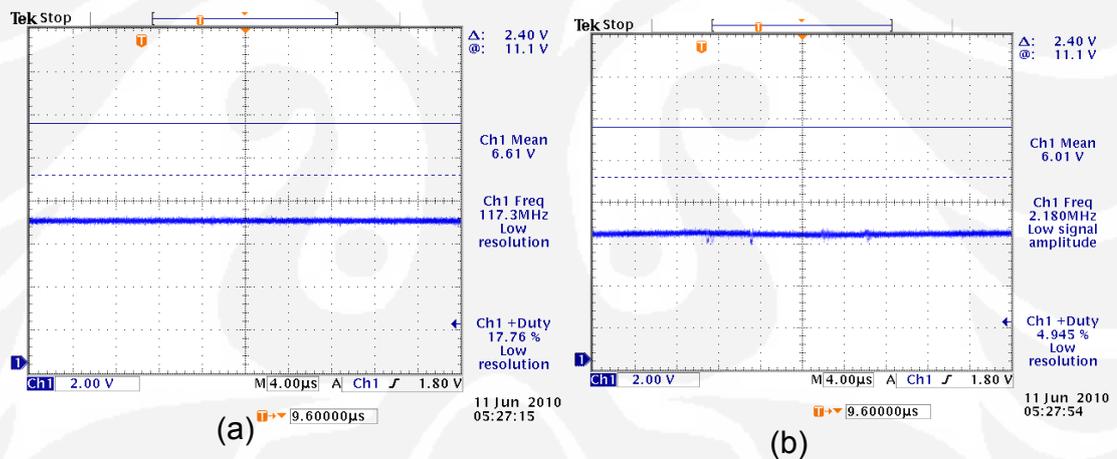
Gambar 4.1 Gambar gelombang pada  $V_L$

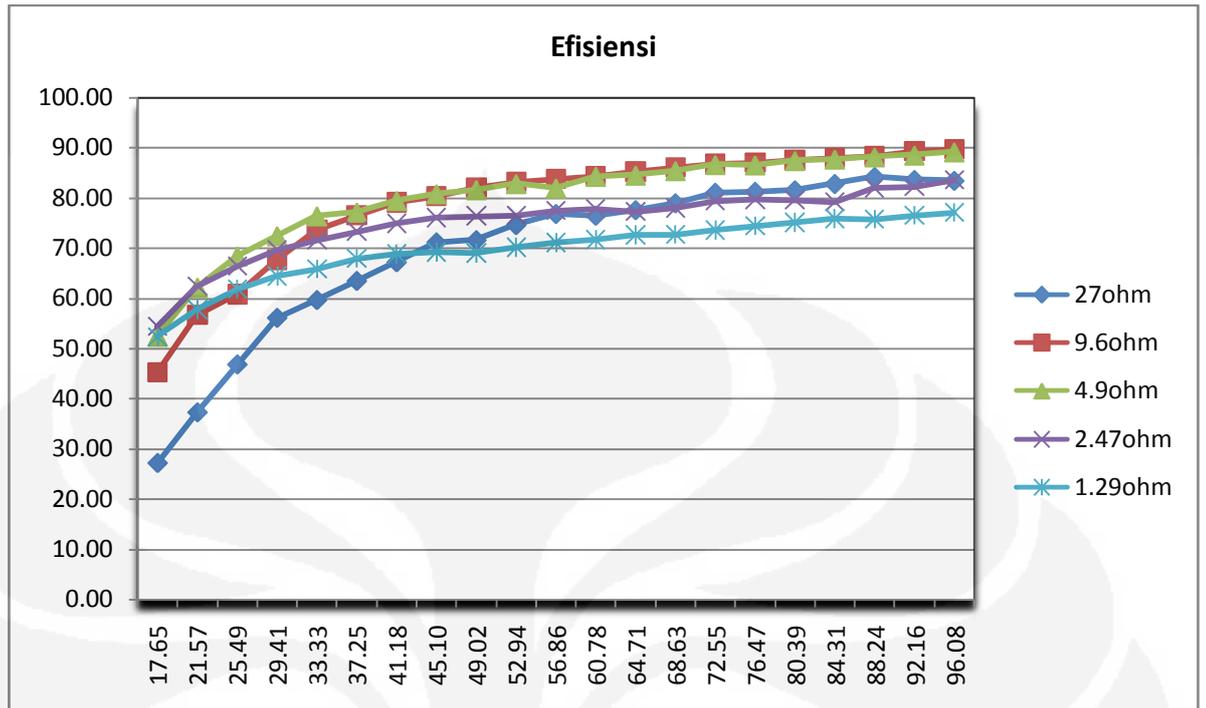
(a).  $V_L$  disaat daya rendah dan (b).  $V_L$  disaat daya besar

4. Pada gambar 4.3b Terjadi osilasi pada saat gelombang naik dan turun, respon itu terjadi pada saat rangkaian bekerja pada daya tinggi, semakin tinggi, semakin jelas terlihat osilasi. Dan terjadi noise juga terjadi pada vin saat daya tinggi seperti gambar 4.4b

Gambar 4.2 Gambar gelombang pada  $V_{in}$ (a).  $V_{in}$  disaat daya rendah dan (b).  $V_{in}$  disaat daya besar

5. Pada tegangan output juga terjadi noise hanya saja tidak begitu signifikan.

Gambar 4.3 Gambar gelombang pada  $V_o$ (a).  $V_o$  disaat daya rendah dan (b).  $V_o$  disaat daya besar



Gambar 4.4 Grafik efisiensi buck converter terhadap beban dan nilai pwm

6. Mosfet dengan tipe N-channel tersaturasi disaat tegangan pada gate lebih positif dari tegangan source, berdasarkan perancangan apabila transistor 2N2222 dalam keadaan off maka tegangan pada gate mendapatkan tegangan sebesar  $V_D + 3.2V$ , sehingga mosfet dalam keadaan 100 %, keadaan ini sangat berbahaya apabila kontrol pwm oleh mikrokontroler error atau shutdown dan mengakibatkan transistor dalam keadaan off. Untuk mengatasi keadaan ini, diberikan tegangan basis secara permanen sebesar 5V yang disuplai langsung oleh tegangan input dan diregulasi oleh rangkaian LM2576-5V, dengan begitu tegangan basis selalu dalam keadaan "high", sehingga transistor selalu ON dan  $V_g = \sim 0V$  disaat terjadi error pada pwm kontroler
7. Disaat pertama kali rangkaian dinyalakan, terjadi tegangan naik sesaat sebesar = dutycycle 100%, hal ini terjadi karena pada program port keluaran PWM sudah diinisialisasi sebagai output dan dibuat dalam mode open collector sehingga apabila tidak cepat-cepat diinisialisasi nilai pwmnya (register pwm1a), maka pwm akan terset nilai default = 0 yang artinya = pwm 0% atau dengan kata lain menjadi logika rendah

–low”, sehingga transistor dalam keadaan OFF. Dan Vgate menjadi 100%. Untuk mengatasi hal ini, inisialisasi nilai pwm harus dinisialisasi secepat mungkin dengan diberi nilai sama dengan 255, agar keluaran sama dengan –high” sehingga transistor ON, dan Vgate menjadi 0%.

8. Berdasarkan gambar 4.6 di beban rendah (27ohm) dan dutycycle rendah 17% - 25%, nilai efisiensi mencapai titik terendah yaitu dibawah 50%, akan tetapi didalam dutycycle tengah sampai dutycycle tinggi efisiensi naik secara signifikan, begitu juga pada beban yang lain nilai efisiensi cenderung rendah pada pwm rendah.
9. Berdasarkan gambar 4.6 Nilai efisiensi tertinggi tercapai pada beban  $9.7\Omega$  pada dutycycle 96% yaitu sebesar 89.60%.
10. Perbedaan nilai efisiensi ini terjadi karena ada daya yang terbuang didalam komponen komponen buck converter. Seperti dioda induktor mosfet dan kapasitor, berdasarkan gambar 4.6 terlihat semakin daya makin besar semakin berkurang nilai efisiensi.

Daya yang terbuang pada mosfet IRF3205 disebabkan oleh beberapa faktor yaitu daya yang terbuang karena switching frekuensi ( $P_{SW}$ ), daya yang terbuang karena hambatan drain-source ( $P_{RDS}$ ) dan yang terbuang pada charge gate ( $P_G$ ).

Perhitungan daya terbuang pada daya terbesar berdasarkan table 4.2, 4.3 dan 4.4 berada beban 1.3 ohm pwm 96%.

$$P_{SW} = 10 f_s (C_{OSS} - C_{RSS}) \sqrt{V_i^3}$$

$$P_{RDS} = D_{maks} R_{DS} I_o^2$$

$$P_G = F_s Q_g V_{GS}$$

Note :

$C_{OSS}$  = capacitance output dari IRF3205

$C_{RSS}$  = capacitance reverse dari IRF3205

$Q_g$  = Total gate charge

Sehingga  $P_{SW}$  maksimum adalah

$$P_{SW} = 10 \cdot 31 \cdot 10^3 (560 \cdot 10^{-12}) \sqrt{10.8^3} = 6.16 \text{ mW}$$

$$P_{RDS} \text{ maksimum adalah } P_{RDS} = 0.95 \cdot 0.008 \cdot 9.418^2 = 0.67 \text{ W}$$

$$P_G \text{ maksimum adalah } P_G = 31 \cdot 10^3 \cdot 146 \cdot 10^{-9} \cdot 15.2 = 0.07 \text{ W}$$

$$\text{Total daya yang terbuang adalah } P_{disMosfet} = P_{SW} + P_{RDS} + P_G = 0.75 \text{ W}$$

Sedangkan total daya yang terbuang pada dioda adalah

$$\begin{aligned} P_{VF} &= (1-D_{\min})V_F I_O \\ &= (1-0.18) 0.55 \cdot 9.418 \\ &= 4.25 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{RF} &= (1-D_{\min})R_F I_O^2 \\ &= (1-0.18) 0.055 \cdot 88.7 \\ &= 4 \text{ W} \end{aligned}$$

Total powerloss pada dioda = 8.25 W

Total loss power di kapasitor adalah

$$\begin{aligned} P_{rC} &= \frac{r_C (\Delta i_L \text{Maks})^2}{V_i} \\ &= \frac{0.95(0.1)^2}{13} \\ &= 0.73 \text{mW} \end{aligned}$$

Sedangkan daya loss pada induktor diketahui dengan persamaan :

$$P_{rL} = r_L I_O^2$$

Karena nilai  $r_L$  tidak bisa diukur secara real, maka nilai  $r_L$  bisa dicari dengan cara membandingkan dengan hasil pengujian,

$$\text{Diketahui : } P_{in} = P_o + P_{\text{total loss mosfet}} + P_{\text{total loss dioda}} + P_{rC} + P_{rL}$$

Berdasarkan table 4.4 , nilai  $P_{in}$  pada beban 1.3 ohm pwm 95% adalah = 93.485W dan nilai  $P_o = 72.048W$ , sehingga :

$$93.485W = 72.048W + 0.75 \text{ W} + 8.25 \text{ W} + 0.73 \text{mW} + P_{rL}$$

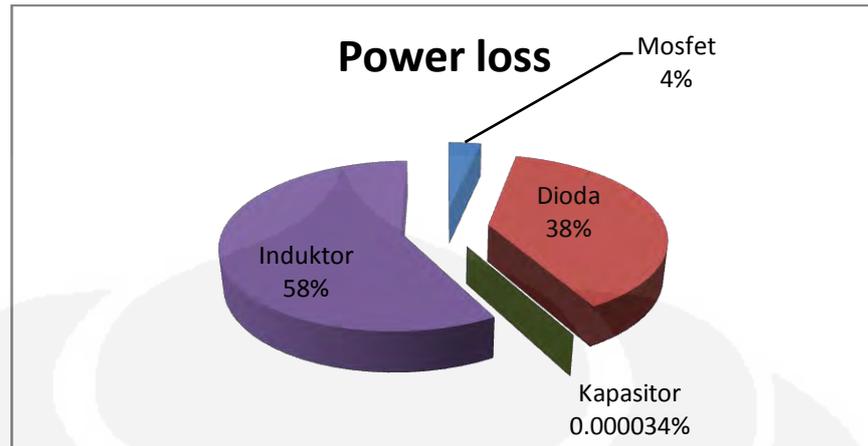
$$P_{rL} = 12.44 \text{ W}$$

$$P_{rL} = r_L I_O^2$$

$$12.44 \text{ W} = r_L \cdot 9.418^2$$

$$r_L = 0.14\Omega$$

maka didapat  $r_L = 0.14\Omega$ , dan daya yang terbuang pada induktor adalah 12.44 W

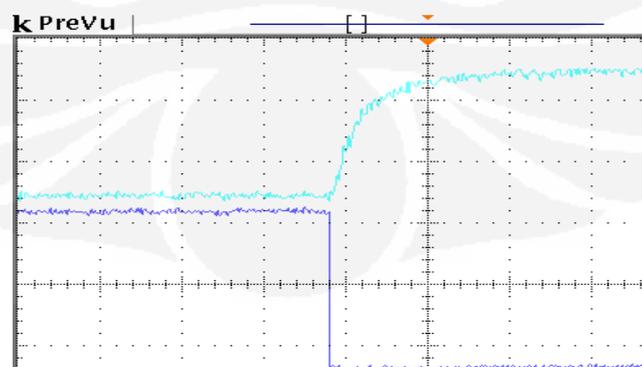


Gambar 4.5 Gambar grafik power loss pada buck converter daya output = 72.048W dengan efisiensi 77%

Power loss terbesar ada pada induktor sekitar 58% dari total daya yang hilang, ini terjadi karena nilai frekuensi switching hanya 31 kHz sehingga membutuhkan nilai induktor yang cukup besar agar tetap pada mode CCM, karena nilai induktor yang besar maka nilai  $r_L$  menjadi besar, maka sehingga semakin besar daya output semakin besar daya yang akan terbuang pada induktor.

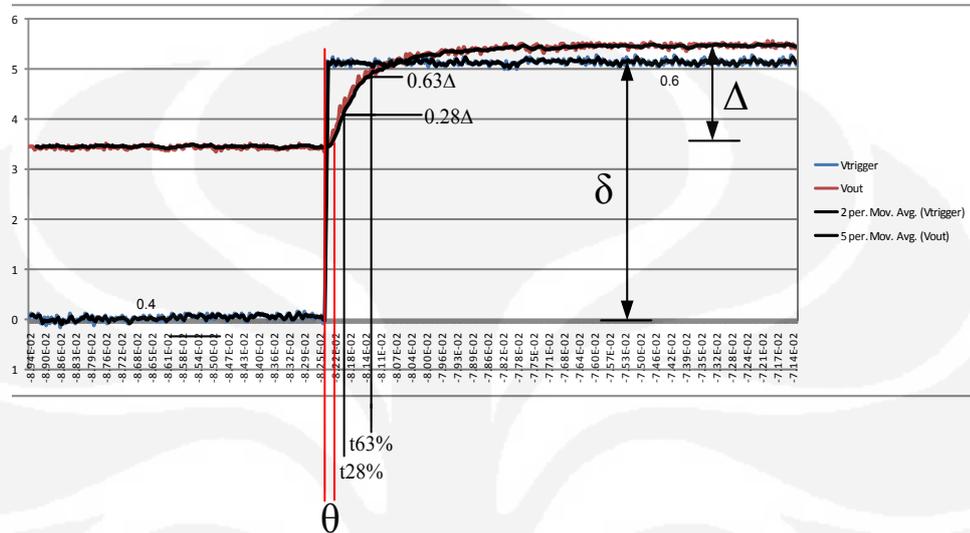
#### 4.2.1 Pengujian respon output rangkaian buck converter

Pengujian dilakukan dengan cara memberikan nilai output pada pwm 40%, kemudian diberikan 60% tanpa delay, pengujian dilakukan pada beban  $5\Omega$  dan  $V_{in} = 12V$  dan  $V_g = V_{in}$ . Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai fungsi transfer rangkaian dengan pendekatan orde 1. sehingga bisa dibuat model matematisnya.



Gambar 4.6 Gambar perubahan nilai output pada pwm 40% ke 60%

Grafik warna biru muda adalah grafik perubahan nilai output, sedangkan yang warna biru tua adalah grafik yang menggambarkan perubahan nilai pwm dari 40% ke 60%. Dari gambar diatas dapat diketahui nilai  $K_P$ ,  $\tau$ ,  $\theta$ ,  $\delta$



Gambar 4.7 nilai  $K_P$ ,  $\tau$ ,  $\theta$ ,  $\delta$  pada grafik output terhadap perubahan nilai input pwm 40%-60%

$$K_P = \frac{\Delta}{\delta}$$

$$\tau = 1.5 (t_{63\%} - t_{28\%})$$

$$\theta = t_{63\%} - \tau$$

sehingga nilai  $K_P$ ,  $\tau$  dan  $\theta$  adalah

$$K_P = \frac{5.5 - 3.48}{0.6 - 0.4} = \frac{1.98}{0.2} = 10.1$$

$$\tau = 1.5 (t_{63\%} - t_{28\%})$$

nilai tegangan disaat  $t_{63\%}$  dan  $t_{28\%}$  adalah

$$t_{63\%} = 0.63 \times 1.98 = 1.2474$$

$$t_{28\%} = 0.28 \times 1.98 = 0.5544$$

Maka,

$$3.48 + 1.2474 = 4.7274$$

$$3.48 + 0.5544 = 4.0344$$

$$t_{4.7274} = -0.0816$$

$$t_{4.0344} = -0.0820$$

maka nilai  $\tau$  dan  $\theta$  adalah

$$\tau = 1.5 (-|0.004|) = -|0.006|$$

$$\theta = t_{63\%} - \tau$$

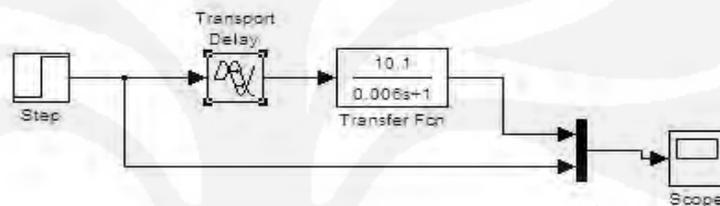
$$\theta = -0.0816 + 0.006 = -|0.0756|$$

Dari pendekatan orde 1 maka transfer fungsinya menjadi :

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{Kpe^{-\theta}}{\tau s + 1}$$

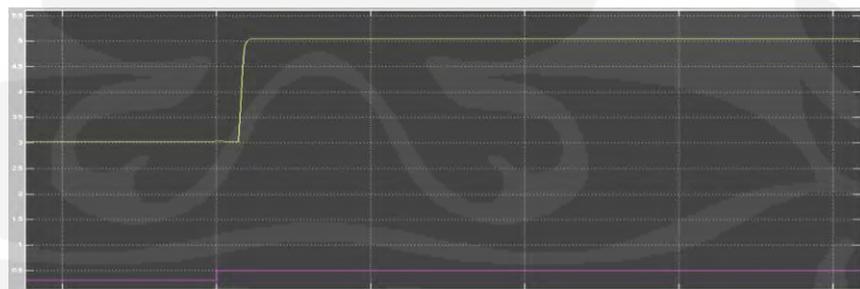
Sehingga fungsi transfer menjadi :

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{10.1 e^{-\theta}}{0.006s + 1}$$



Gambar 4.8 Pemodelan karakteristik rangkaian Buck converter di matlab

$e^{-\theta}$  bisa digantikan dengan fungsi block transport delay, dengan nilai delay = nilai dari  $\theta$  yaitu 0.0756.



Gambar 4.9 Gambar hasil scope pada hasil pemodelan matlab

### 4.3 Pengujian Algoritma MPPT

Pengujian dilakukan pada cuaca, waktu dan hambatan yang bervariasi, pengujian dilakukan di ground dengan sumber solarcell 50W dengan spesifikasi :

$$V_{OC} = 21V$$

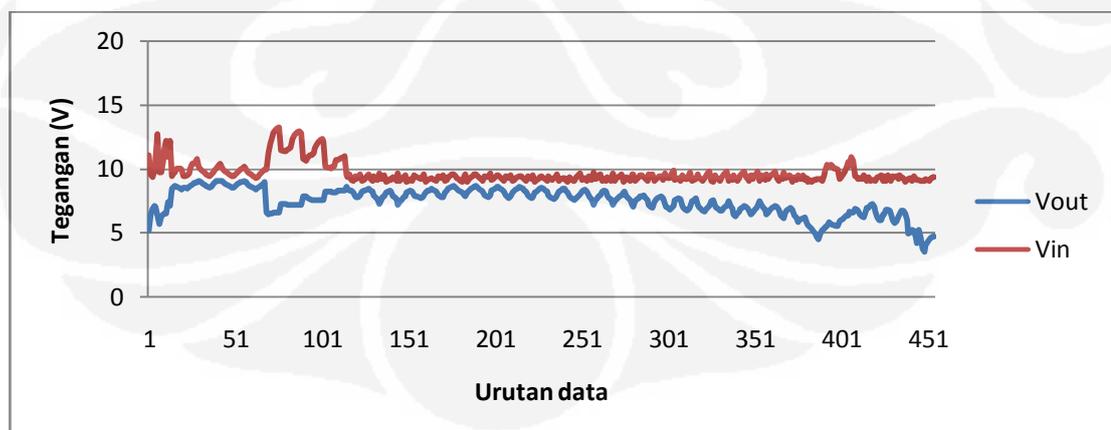
$$I_{SC} = 3.1A$$

$$I_{MP} = 3A$$

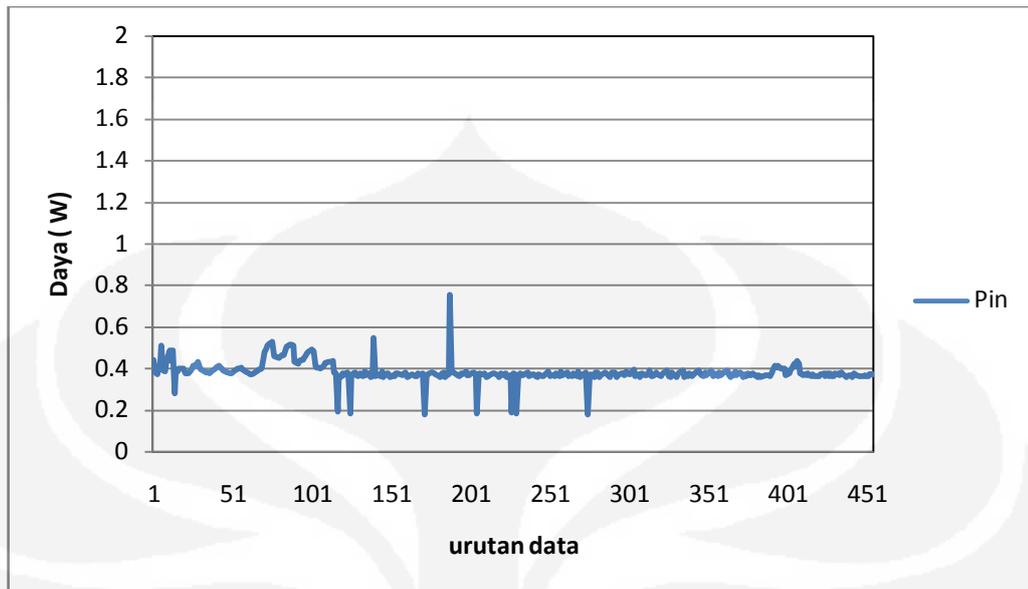
$$V_{MP} = 12V$$

Pengambilan data dilakukan dengan cara real time, nilai yang diambil adalah  $V_{input}$ , arus input,  $V_{output}$ , arus output dan nilai status pwm. Nilai dari parameter-parameter tersebut dikirimkan ke PC menggunakan komunikasi serial dengan baudrate = 19200, dengan menggunakan software RFI-Interm, data yang dikirimkan oleh mikrokontroler akan dicapture dan disave dalam bentuk format .txt, data dikirimkan dalam setiap state perubahan pwm berdasarkan algoritma yang sudah dirancang. Secara garis besar ada 6 state dalam algoritma ini, yaitu :

1. Disaat sampling A lebih besar daripada sampling B
2. Disaat sampling A lebih kecil dari sampling B, dan sampling B lebih kecil dari sampling C
3. Disaat sampling A lebih kecil dari sampling dari sampling B, dan sampling B lebih besar dari sampling C
4. Disaat perbedaan state pwm lebih kecil dari 2, state ini adalah state dimana algoritma pencarian sudah menemukan keadaan maksimum daya
5. Disaat Tegangan melebihi dan kurang dari spesifikasi input yang sudah dirancang
6. Disaat arus melebihi batas spesifikasi arus tetapi berada didalam batasan tegangan operasi.

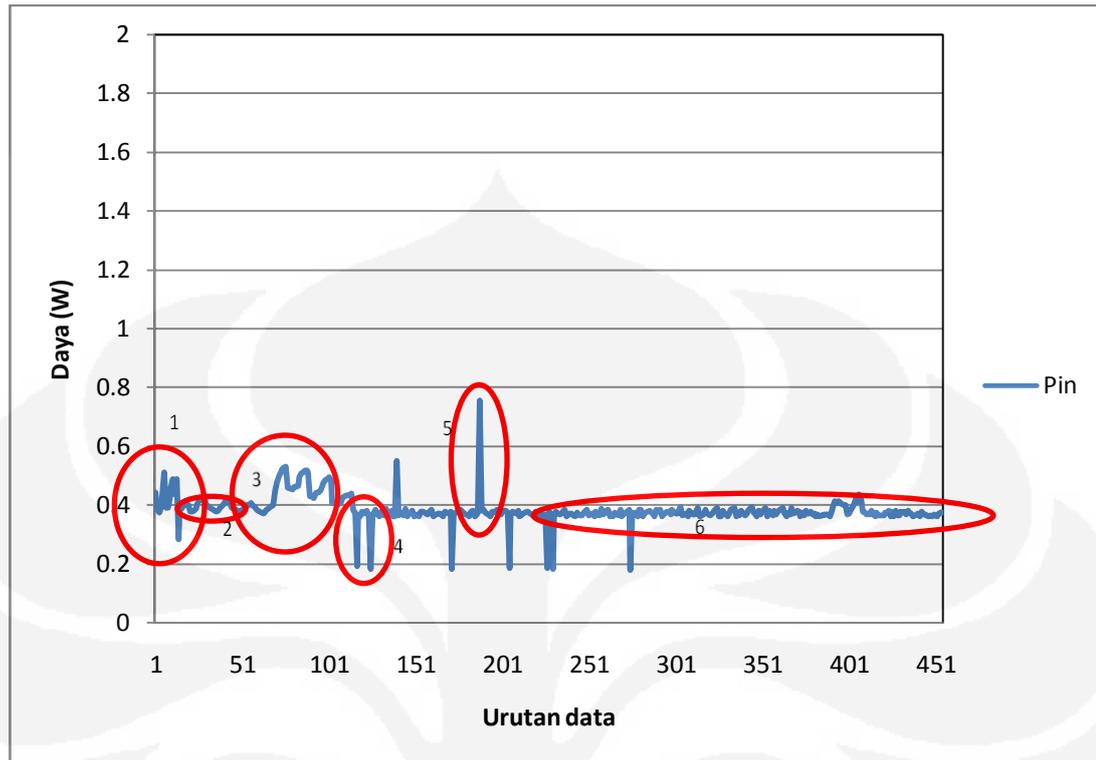


Gambar 4.10 Grafik Vin dan Vout pada pada proses pencarian daya maksimum dengan kondisi mendung, waktu sore hari dan  $R=270\text{ohm}$



Gambar 4.11 Grafik daya input pada proses pencarian daya maksimum dengan kondisi berawan mendung, waktu sore hari dan  $R=270\text{ohm}$

Pada gambar 4.12 terlihat bahwa grafik  $v_{in}$  membentuk suatu garis berosilasi dan cenderung turun, akan tetapi terlihat pada grafik Pin pada gambar 4.13 bahwa garisnya cenderung stabil. Pada grafik  $v_{in}$  yang membentuk gelombang yang berosilasi ini berarti bahwa algoritma sudah sampai pada titik maksimum dan osilasi itu terjadi karena adanya algoritma pencarian setelah daya maksimum tercapai, gerakan keatas menunjukkan bahwa algoritma akan mencoba untuk menaikkan nilai pwm dan mencari tahu apakah nilai daya input akan berkurang atau bertambah, apabila bertambah maka, nilai pwm pun akan ditambah dan akan mencoba menaikkan nilai pwmnya lagi, tetapi apabila nilai daya input justru berkurang maka nilai pwm akan dikembalikan ke nilai semula. Juga seperti gerakan keatas, gerakan kebawah juga mempunyai algoritma yang sama, hanya saja algoritma mencoba menurunkan nilai pwm.



Gambar 4.12 Grafik berbagai kondisi pada Photovoltaic kondisi berawan mendung, waktu sore hari dan  $R=270\text{ohm}$

1. Lingkaran 1, menunjukkan bahwa teknik pencarian dimulai, algoritma yang memberi nilai pwm yang bervariasi menyebabkan nilai tegangan output yang bervariasi, semakin besar nilai pwm maka tegangan output juga akan semakin besar, sehingga juga akan menaikkan nilai arus output. Pada kondisi nilai pwm yang besar menghasilkan nilai daya input yang besar akibatnya apabila hasil daya yang diinginkan lebih besar daripada nilai daya yang bisa dihasilkan oleh solarcell pada saat itu mengakibatkan nilai tegangannya akan turun. Sehingga algoritma mengetahui informasi pada nilai pwm berapa daya input mempunyai nilai yang terbesar.
2. Lingkaran 2, menunjukkan bahwa algoritma sudah menemukan nilai pwm untuk daya maksimum pada solarcell.
3. Lingkaran 3, menunjukkan bahwa adanya perubahan kondisi cuaca menjadi lebih cerah atau terang, sehingga solarcell mendapatkan intensitas atau radiasi matahari yang lebih besar, sehingga menaikkan

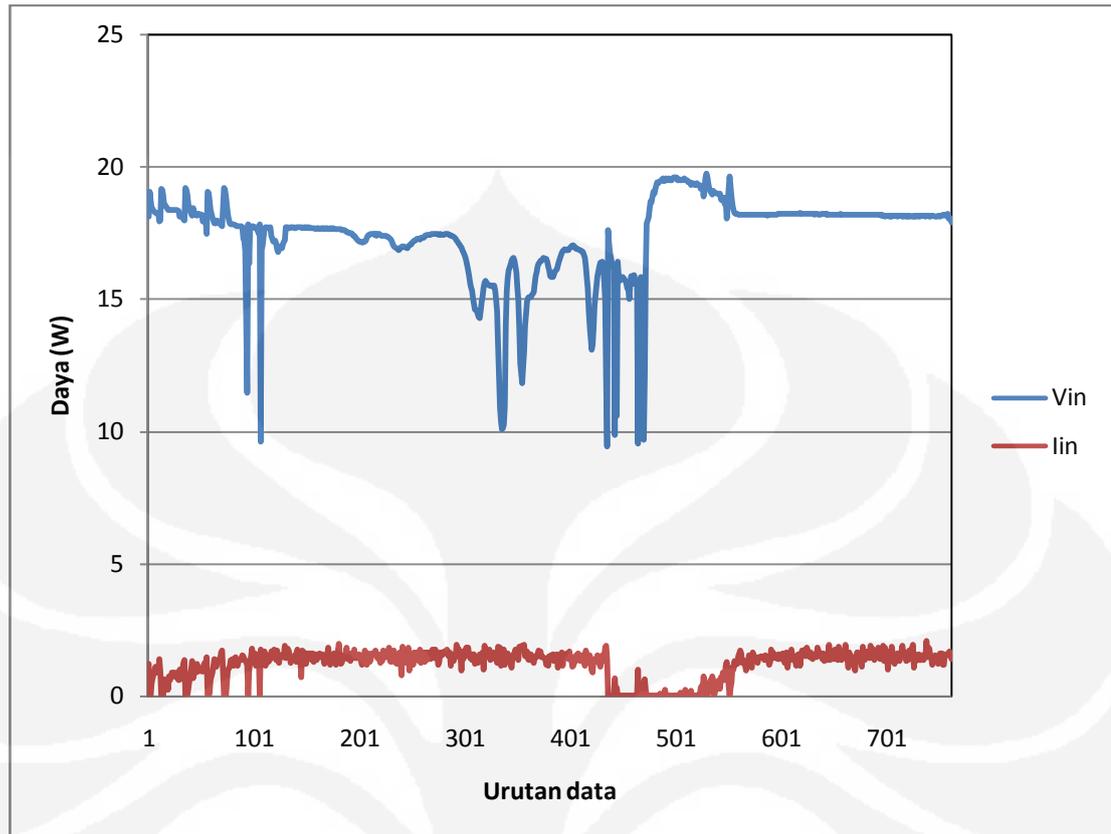
nilai daya yang bisa dihasilkan oleh solarcell. Terlihat bahwa pada lingkaran 3 ini grafik yang cenderung naik, namun turun lagi karena kondisi cuaca yang kembali lagi mendung.

4. Lingkaran 4, menunjukkan bahwa kondisi cuaca yang semakin mendung. Sehingga menyebabkan daya input turun, sedangkan algoritma masi mengeluarkan nilai pwm yang sama, sehingga dengan ini algoritma akan mencoba merubah nilai pwmnya kembali agar mendapatkan nilai daya input maksimal
5. Lingkaran 5, menunjukkan bahwa matahari terlihat sesaat setelah tertutup awan mendung, namun kembali tertutup awan.
6. Lingkaran 6, menunjukkan bahwa nilai daya maksimum sudah tercapai dan kondisi dari cuaca yang sudah tidak berubah lagi. Cuaca saat itu sudah mendung dan akan turun hujan.

Dari data diatas disimpulkan bahwa algoritma pencarian sudah berhasil dan dikarenakan cuaca mendung sehingga daya yang bisa dihasilkan oleh solarcell juga sangat kecil. Daya maksimum rata-rata yang bisa dihasilkan pada cuaca mendung dan pada beban 270 ohm adalah 0.4W, dengan nilai  $V_{in}$  tertinggi = 12.75V,  $I_{in}$  tertinggi = 0.06A.

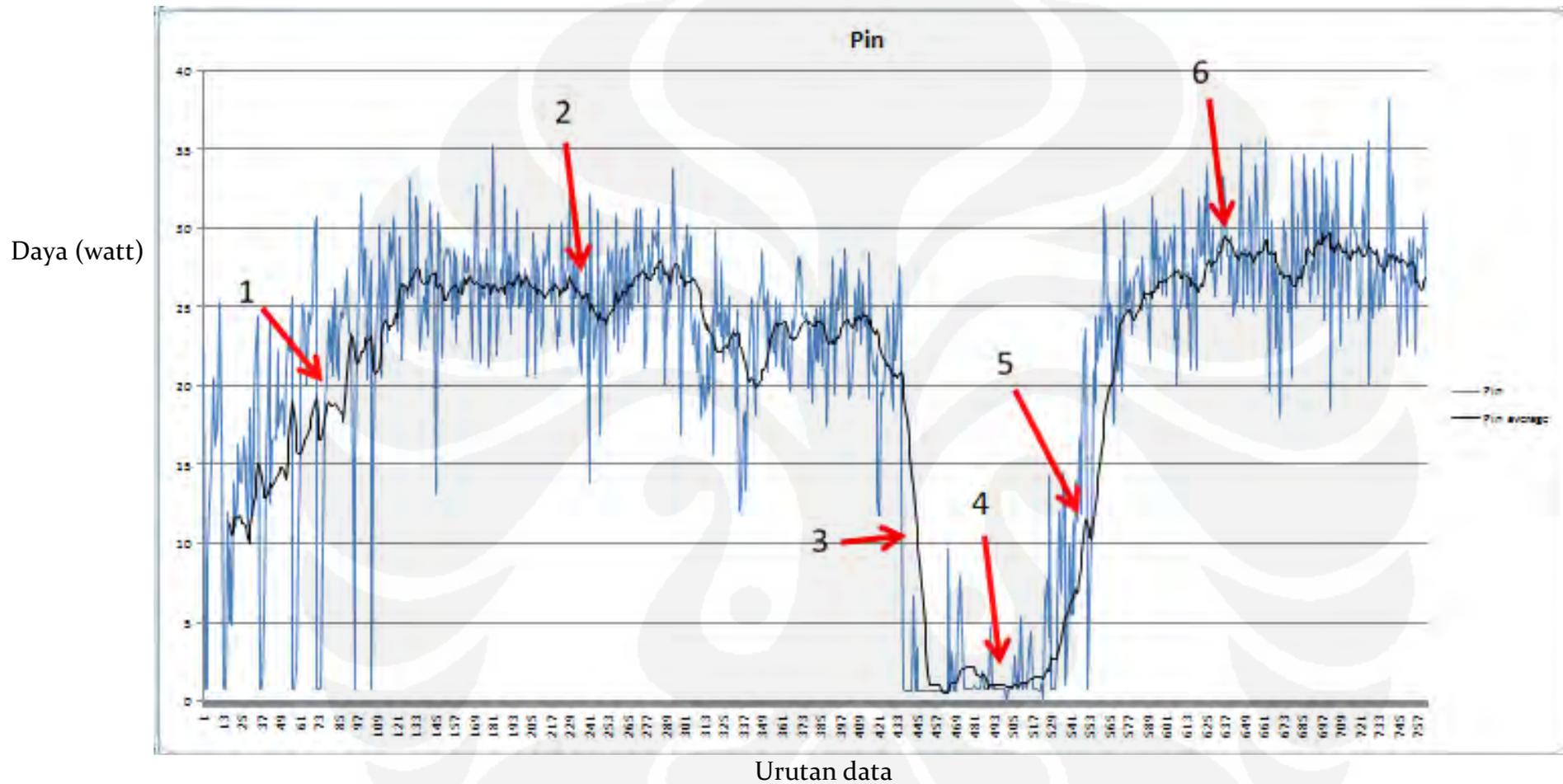
Pengujian berikutnya adalah dengan menaikkan beban menjadi 27 ohm, tegangan input langsung turun secara signifikan menjadi 5V, ini diakibatkan intensitas atau radiasi matahari yang sangat sedikit.

Percobaan kedua dilakukan pada kondisi cerah berawan di waktu siang hari dan dilakukan pada hambatan 7 ohm dan 3 ohm. Di dalam kondisi cerah berawan, terdapat 2 kondisi matahari, yaitu disaat matahari benar-benar terlihat tanpa tertutup awan dan disaat tertutup awan.



Gambar 4.13 Grafik Vin dan Iin pada proses pencarian daya maksimum dengan kondisi cerah berawan waktu siang hari dan  $R = 70\Omega$

Iin turun yaitu sekitar pada point 443 itu disebabkan oleh keadaan dimana matahari tertutup awan, sehingga mengurangi intensitas yang bisa diterima oleh solarcell, dalam keadaan tersebut software akan terus mencari nilai maksimum, sehingga terlihat disitu bahwa nilai pwm dikurangi, setelah mencapai nilai maksimum pada kondisi matahari tertutup awan, software akan mencoba lagi menaikkan pwm dan mencari daya yang dihalikan, sehingga terlihat pada point 469 Vin turun secara signifikan dan nilai arus sedikit naik, akan tetapi terlihat bahwa grafik iin kembali turun, secara algoritma berarti nilai daya lebih besar pada saat keadaan semula dibanding dengan daya setelah software mencoba menaikkan pwm. Dan kemudian matahari kembali terlihat sehingga pada point 547 nilai kembali naik.



Gambar 4.14 Grafik daya input pada proses pencarian daya maksimum dengan kondisi cerah berawan waktu siang hari dan  $R = 70\Omega$

1. Kondisi 1, grafik bergerak naik ini adalah kondisi pencarian dimana software terus melakukan penambahan dan pengurangan nilai pwm untuk mencari nilai daya maksimum
2. Kondisi 2, Ini adalah kondisi disaat daya maksimum sudah tercapai, di state ini software akan mencoba terus menaikkan dan menurunkan pwm, untuk mengetahui apakah daya yang lebih besar masih bisa tercapai. Dalam state ini daya terbesar yang dicapai adalah 27W.
3. Kondisi 3, ini adalah kondisi disaat matahari tertutup awan, dan daya pada solarcell turun secara signifikan, dalam kondisi ini software terus menurunkan nilai pwm dan terus menganalisa dan mencari daya maksimum, akan tetapi nilai daya terus turun sampai angka dibawah 1 W, ini terjadi karena daya yang dihasilkan oleh solarcell sangat rendah.
4. Kondisi 4, ini adalah kondisi dimana software sudah bisa mendapatkan nilai maksimum pada kondisi matahari tertutup awan. software akan mencoba lagi menaikkan pwm untuk mengetahui apakah daya yang lebih besar akan dicapai.
5. Kondisi 5, ini adalah kondisi dimana software mendeteksi daya yang lebih besar bisa tercapai, ini adalah kondisi dimana matahari sudah tidak lagi tertutup awan, grafik terlihat terus naik akan tetapi terlihat suatu waktu grafik kembali turun sesaat kemudian naik kembali, ini diakibatkan karena intensitas matahari berkurang karena adanya awan-awan kecil yang sesaat menutupi matahari. Software akan terus menaikkan pwm sampai didapayt nilai daya maksimum
6. Kondisi 6, ini adalah kondisi dimana sudah tercapai lagi daya maksimum.

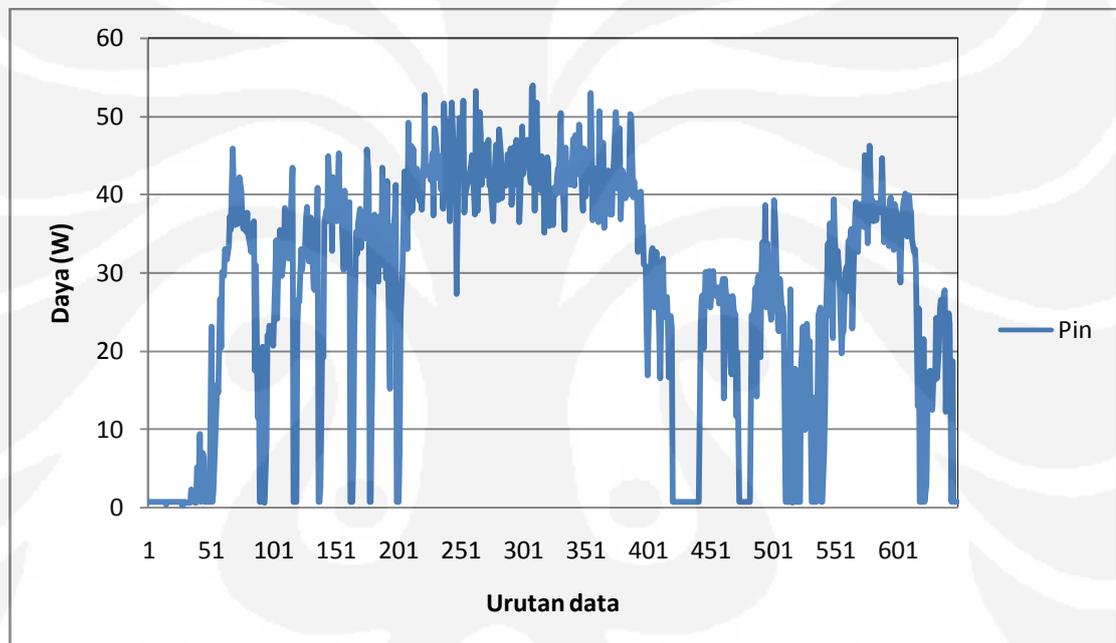
Untuk melihat apakah state nilai pwm yang berubah sesuai dengan algoritma yang dirancang, maka perlu dianalisa apakah nilai daya input yang berubah itu disebabkan oleh intensitas matahari yang ditangkap oleh solarcell itu bervariasi atau apakah terdapat kesalahan pada algoritma.

Tabel 4.5 Nilai PWM dalam proses pencarian daya maksimum

state	PWM A	PWM B	PWM C
0	17.64	52.94	88.24
1	88.24	28.63	69.41
2	88.24	73.33	58.43
3	80.78	76.86	73.33
4	80.78	79.61	78.82
5	80.78	80.39	80.00
6	80.39	84.31	88.24
7	88.24	3.53	19.22
8	88.24	67.06	45.88
9	77.65	72.16	67.06
10	77.65	76.08	74.90
11	75.29	74.90	74.90
12	74.90	78.82	82.75
13	78.82	80.78	82.75
14	78.82	79.61	80.78
15	79.22	83.14	87.06
16	87.06	44.71	2.35
17	87.06	76.47	65.88
18	87.06	84.31	81.57
19	84.31	78.82	73.33
20	84.31	82.75	81.57
21	84.31	83.92	83.53
22	81.96	81.18	80.39
23	81.57	81.18	81.18
24	81.18	85.10	89.02
25	87.06	90.98	94.90
26	94.90	52.55	10.20
27	94.90	84.31	73.73
28	94.90	92.16	89.41
29	93.33	92.55	92.16
30	92.55	90.98	89.41
31	92.55	92.16	91.76
32	92.16	96.08	94.90
33	94.90	11.01	5.49
34	94.90	70.98	47.45

35	94.90	88.63	82.75
36	94.90	93.33	91.76
37	94.90	94.51	94.12
38	94.51	94.12	94.12
39	94.12	94.90	94.90
40	94.90	94.90	94.90
41	94.90	94.90	94.90
42	94.90	94.90	94.90
43	94.90	94.90	94.90
44	94.90	94.90	94.90
45	94.90	94.90	94.90
46	94.90	94.90	94.90
47	94.90	94.90	94.90
48	94.90	94.90	94.90
49	94.90	94.90	94.90
50	94.90	94.90	94.90
51	94.90	94.90	94.90
52	94.90	94.90	94.90
53	94.90	94.90	94.90
54	94.90	94.90	94.90
55	94.90	94.90	94.90
56	94.90	94.90	94.90
57	94.90	94.90	94.90
58	94.90	94.90	94.90
59	94.90	94.90	94.90
60	94.90	94.90	94.90
61	94.90	94.90	94.90
62	94.90	94.90	94.90
63	94.90	94.90	94.90
64	94.90	94.90	94.90
65	94.90	94.90	94.90
66	94.90	94.90	94.90
67	94.90	94.90	94.90
68	94.90	94.90	94.90
75	94.90	94.90	94.90
76	94.90	94.90	94.90
77	94.90	94.90	94.90
78	94.90	94.90	94.90

Tabel 4.5 adalah contoh nilai-nilai pwm pada proses pencarian daya optimum dari photovoltaic, nilai pwm dari state 0 terlihat bahwa nilai pwm terus bergerak naik sampai pada state 42, pwm sudah pada nilai maksimal yaitu sekitar 94.9%. kondisi ini menunjukkan bahwa photovoltaic sebagai sumber memiliki daya yang cukup di kondisi cerah siang hari pada beban 7 ohm, sehingga mampu memberikan daya yang dibutuhkan walaupun pwm sudah berada pada nilai maksimalnya. Sehingga bisa disimpulkan pada kondisi ini photovoltaic mampu memberikan lebih dari 30 W. berikut adalah grafik percobaan untuk kondisi cuaca yang sama tetapi dengan beban 3ohm.



Gambar 4.15 Grafik daya input pada proses pencarian daya maksimum dengan kondisi cerah berawan waktu siang hari dan  $R = 30\Omega$

Gambar diatas adalah nilai Pin pada beban 3 ohm, kondisi pada saat pengujian adalah cerah berawan, namun banyak sekali awan kecil yang terkadang menutupi cahaya matahari dan menyebabkan radiasi cahaya matahari berkurang secara signifikan. daya sampai 45W pada waktu kondisi cerah disiang hari. Apabila dilihat grafik sebenarnya (grafik yang berwarna biru) terlihat naik turun grafik yang sangat signifikan, itu terjadi disaat matahari tertutup awan, sehingga dengan

nilai pwm tinggi, photovoltaic tidak mampu memberikan daya besar, sehingga nilai tegangan dan arus turun secara signifikan, dan pada saat itulah software akan menurunkan nilai pwm, dan coba untuk mencari daya optimum pada saat matahari tertutup awan. Sama seperti pada beban 7ohm pwm maksimal tercapai pada saat beban 3 ohm, ini berarti bahwa daya yang bisa disalurkan oleh photovoltaic bisa melebihi 45W.

Sehingga bisa disimpulkan bahwa algoritma P&O yang dirancang berhasil. Nilai daya yang turun naik secara signifikan itu disebabkan oleh daya yang bisa diberikan oleh photovoltaic sangat sensitif dan tergantung dari radiasi cahaya matahari dan temperatur, pada kondisi cerah tanpa awan mendung, daya yang bisa diberikan oleh photovoltaic bisa melebihi 45W hampir mendekati daya maksimum spesifikasi yaitu 50W, namun sangat berbeda disaat matahari tertutup awan nilai daya yang bisa diberikan jauh lebih kecil, walaupun dengan kondisi yang sama(cerah).

## BAB V

### KESIMPULAN

1. Semakin besar daya output semakin kecil efisiensi daya pada rangkaian buck converter, ini diakibatkan oleh semakin banyaknya daya yang hilang pada rangkaian, daya yang terbuang ini disebabkan oleh komponen-komponen yang digunakan, komponen yang paling besar membuang daya adalah induktor yaitu sekitar 58% dari total daya yang hilang. Ini disebabkan karena nilai  $r_L$  yang cukup besar yaitu  $0.14\Omega$ ,  $r_L$  yang besar disebabkan oleh nilai induktor yang besar, nilai induktor yang besar disebabkan oleh kecilnya nilai frekuensi switching yaitu 31kHz. Jadi dapat disimpulkan untuk mendapatkan nilai efisiensi yang tinggi pada waktu daya besar, maka dibutuhkan frekuensi switching yang tinggi.
2. Nilai efisiensi pada rangkaian buck konverter nilainya selalu rendah disaat pwm rendah.
3. Pada mosfet tipe n-channel tegangan pada gate harus lebih besar dari tegangan drain sebesar tegangan threshold, agar tegangan drain sama dengan tegangan  $source_{(peak)}$ . Di IRF3205 mempunyai tegangan threshold = 3.2V
4. Pada transistor gate, jalur pada basis selalu diberi tegangan pull-up 5V dengan resistor pull-up =  $10k\Omega$ , ini dilakukan untuk menjaga  $V_g = \sim 0V$  disaat ATmega8535 (pwm kontroler) mengalami error atau shutdown.
5. Nilai tegangan pada modul solarcell dipengaruhi oleh temperatur sedangkan nilai arus dipengaruhi oleh jumlah radiasi sinar matahari yang diterima.
6. Pada cuaca mendung daya maksimum yang bisa dikeluarkan oleh solarcell kurang dari 1W, sedangkan pada cuaca cerah bisa lebih besar dari 45W
7. Modul solarcell sangat sensitif dengan perubahan radiasi sinar matahari, perubahan sedikit bisa menyebabkan perubahan nilai daya yang bisa dihasilkan yang cukup signifikan. Sehingga ketepatan perancangan grid pada modul solarcell sangat dibutuhkan, faktor seperti letak geografis perlu diperhatikan, sebagai contoh di indonesia merupakan negara yang berada di daerah katulistiwa sehingga suhu lingkungan di indonesia cukup tinggi, oleh karena itu untuk mendapat nilai efisiensi yang lebih tinggi dari solarcell solargrid dipasang series connection untuk mendapatkan nilai tegangan yang

8. tinggi. Sedangkan untuk daerah dingin, dimana letak geografisnya condong ke daerah kutub, memiliki curahan radiasi matahari yang lebih banyak akan tetapi temperatur berada di level yang rendah, sehingga di daerah ini lebih efisien apabila solar cell disusun paralel.
9. Keuntungan dari algoritma P&O adalah kecepatan dan ketepatan dalam mencari daya maksimal dibanding dengan algoritma lain. Selain itu juga, algoritma P&O juga menjadi salah satu algoritma pencarian yang digunakan di dalam web database.
10. Karakteristik dari algoritma P&O ini adalah nilai grafiknya yang naik turun, semakin mendekati nilai yang dicari, maka akan semakin kecil grafik naik turun itu sampai akhirnya ketemu. Maka dari itu algoritma ini akan menyebabkan nilai daya sangat fluktuatif pada prosesnya menemukan daya optimum dan juga dikarenakan nilai daya yang bisa dihasilkan oleh photovoltaic juga sangat sensitif terhadap perubahan radiasi cahaya matahari, maka disaat sudah menemukan nilai daya maksimum, algoritma akan terus mencari kembali nilai daya optimum pada photovoltaic karena disaat yang cepat nilai daya yang bisa dihasilkan bisa berubah.

### Daftar Acuan

Cullen, Richard (2004). *What is Maximum Power Point Tracking (MPPT) and How Does it Work*. California. Blue sky Energy.

Kazimierczuk, Marian K (2008). *Pulse-width Modulated DC-DC Power Converters*. Ohio. Wright State university.

Mintorogo, Danny Santoso. *Strategi aplikasi sel surya pada perumahan dan bangunan komersial*.

Schelle, Donald, & Casterona, Jorge (2005). *Buck-Converter Design Demystified*. California. Technical staff of Maxim Integrated.

Tamkang. (2005). *Journal of Science and Engineering, Vol.8, No2, pp.147153*.

**DAFTAR REFERENSI**

Hart, Daniel W . *Introduction to the power electronics*.

Institute of Solar Energy, Polytechnic University of Madrid, 1994.

Lorenzo, Eduardo, *Solar Electricity, Engineering of Photovoltaic Systems*,  
Photovol-taic Power Systems, Pennsylvania, RodalePress, 1987.

Strong, Steven J., *The Solar Electric House*, A Design Manual for Home-Scale



**LAMPIRAN**

Foto rangkaian saat uji coba solarcell



Foto ujicoba saat uji coba efisiensi