



**ANALISIS EFISIENSI *SOLAR CHARGER CONTROLLER* TIPE  
PWM DAN MPPT DENGAN METODE SIMULASI**

Skripsi

disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar

Sarjana Sains Program Studi Fisika

Oleh

Aditya Yudha Perdana

4211413021

**JURUSAN FISIKA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**

**2020**

## PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang ujian skripsi Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 24 Februari 2020


Pembimbing I



Fianti, S.Si., M.Sc., Ph.D.Eng.

NIP. 197901212005012002

Pembimbing II



Isa Akhlis, S.Si., M.Si.

NIP. 197001021999031002

## PERNYATAAN

Dengan ini, saya

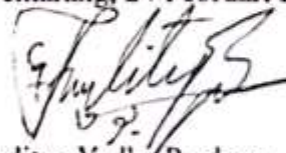
nama : Aditya Yudha Perdana

NIM : 4211413021

progam studi : Fisika

menyatakan bahwa skripsi berjudul *Analisis Efisiensi Solar Charge Controller tipe Pulse Width Modulation (PWM) dan Maximum Power Point Tracker (MPPT) dengan Metode Simulasi* ini benar-benar karya saya sendiri bukan jiplakan dari karya orang lain atau pengutipan dengan caracara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat atau temuan orang atau pihak lain yang terdapat dalam disertasi ini telah dikutip atau dirujuk berdasarkan kode etik ilmiah. Atas pernyataan ini, saya secara pribadi siap menanggung resiko/sanksi hukum yang dijatuhkan apabila ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya ini.

Semarang, 24 Februari 2020



Aditya Yudha Perdana

NIM. 4211413021

## PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul

Analisis Efisiensi *Solar Charger Controller* Tipe PWM dan MPPT dengan Metode Simulasi

disusun oleh

Aditya Yudha Perdana

4211413021

telah dipertahankan dihadapan sidang Panitia Ujian Skripsi FMIPA UNNES pada tanggal 25 Februari 2020.

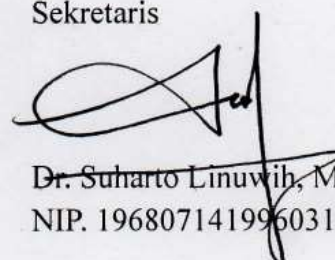
Panitia

Ketua



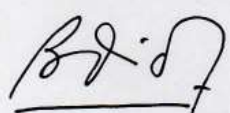
Dr. Sugianto, M.Si  
NIP. 196102191993031001

Sekretaris



Dr. Suharto Linuwih, M.Si.  
NIP. 196807141996031005

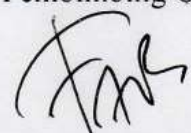
Ketua Penguji



Dr. Budi Astuti, M.Sc  
NIP. 197902162005012001

Anggota Penguji/

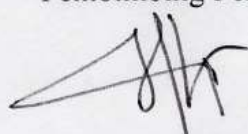
Pembimbing Utama



Fianti, S.Si., M.Sc., Ph.D,Eng.  
NIP. 197901212005012002

Anggota Penguji/

Pembimbing Pendamping



Isa Akhlis, S.Si., M.Si  
NIP. 197001031999002

## **MOTTO DAN PERSEMBAHAN**

### **MOTTO**

“Banyak amal perbuatan yang ditampakkan seperti amal dunia, menjadi amal akhirat karena bagus nya niat. Sebaliknya, banyak amal yang digambarkan seperti amal akhirat, menjadi amal dunia karena buruknya niat.”

(Al-Hadits)

“Seyogyanya seorang pelajar berniat untuk mencari ilmu hanya untuk mendapatkan ridha Allah, dan menghilangkan kebodohan diri sendiri, serta kebodohan semua orang. Dan juga, untuk tegaknya agama.”

(Syaikh Az-Zarnuji, *Ta'limul Muta'allim*)

### **PERSEMBAHAN**

Guru dan Dosenku

Ibu, Bapak

Keluarga Besarku

Santri Alumni Ponpes Balekambang dan Miftahu Rohmatillah

Sahabatku

Fisika 2013

## PRAKATA

*Bismillahirrohmanirrohim*

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya. Shalawat dan salam semoga selalu tercurah kepada Rasulullah Muhammad SAW beserta keluarganya, sahabat, dan orang-orang yang mengikuti risalah beliau hingga akhir zaman.

Setelah melalui perjuangan dengan berbagai kendala, akhirnya penulis diijinkan-Nya untuk menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul “Analisis Efisiensi *Solar Charger Controller* Tipe PWM dan MPPT dengan Metode Simulasi” di waktu yang tepat. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk melengkapi kurikulum dan menyelesaikan pendidikan Sarjana Strata Satu pada Jurusan Fisika Universitas Negeri Semarang.

Terselesaikannya skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum selaku Rektor Universitas Negeri Semarang
2. Dr. Sugianto, M.Si selaku Dekan Fakultas MIPA UNNES
3. Dr. Suharto Linuwih, M.Si selaku Ketua Jurusan Fisika
4. Dr. Mahardika Prasetya Aji, M. Si selaku Ketua Progam Studi Fisika yang selalu memberikan semangat agar segera menyelesaikan studi
5. Fianti S.Si. M.Sc., Ph.D sebagai dosen pembimbing I yang telah membimbing dengan penuh kesabaran dan memberikan arahan kepada penulis serta meluangkan waktu untuk selalu memberikan masukan, saran, dan motivasi selama penyusunan skripsi.
6. Isa Akhli S.Si., M.Si sebagai dosen pembimbing II yang telah membimbing dengan penuh kesabaran dan penuh perhatian serta meluangkan waktu untuk selalu memberikan masukan, motivasi, dan saran selama penyusunan skripsi.
7. Dr. Budi Astuti, M. Sc selaku dosen penguji
8. Prof. Supriyadi, M.Si sebagai dosen wali

9. Ibu Siti Rubi'ah dan Bapak Ngadiyono tercinta atas doa yang selalu dipanjatkan, semangat yang selalu diberikan, kesabaran yang selalu dicurahkan, dan dukungan moril maupun materil yang tak henti-hentinya diberikan
10. Sahabat-sahabat seperjuangan, Sigid, Edu, Ikhsan, Bagas, Mbak Can, Akmal, Rohman, Yoga, Jami'an, Mas Imam, Mas Gendut atas canda-tawa, ejekan, dan motivasi selama berjuang di Fisika.
11. Keluarga di KSKI; Akmal, Sigid, Alam, Cicik, Ida, Diah, Dina, Ristia, Agung atas motivasinya.
12. Teman-teman Fisika 2013 atas motivasi dan dukungan selama menjalani perkuliahan dan penelitian.
13. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang membantu menyelesaikan skripsi ini.

Sebagai akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis sendiri dan bagi pembaca sekalian, dan juga penulis mengharapkan saran dan kritik demi menyempurnakan kajian ini. Semoga penelitian yang telah dilakukan dapat menjadikan sumbangsih bagi kemajuan dunia riset Indonesia.

Amin.

Semarang, 24 Februari 2020

Penulis

## ABSTRAK

**Perdana, A.Y.2019.** Analisis Efisiensi *Solar Charge Controller* Tipe PWM dan MPPT Dengan Metode Simulasi. Jurusan Fisika. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Negeri Semarang. Pembimbing Utama Fianti, S.Si. M.Sc., Ph.D, Eng. dan Pembimbing Pendamping Isa Akhlis, S.Si., M.Si.

Kata Kunci : *Solar Charge Controller*, PWM, MPPT

Kebutuhan energi dunia diprediksi terus meningkat seiring dengan bertambahnya populasi manusia dan kemajuan teknologi. Tingginya tingkat kebutuhan energi yang terus meningkat dan terbatasnya sumber energi menjadi sebuah pendorong terciptanya teknologi terbarukan yang ramah lingkungan. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk menciptakan energi terbarukan yang ramah lingkungan yaitu dengan menggunakan sel surya. Indonesia merupakan negara tropis yang memiliki potensi energi surya dengan besar radiasi penyinaran  $4,80 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$ . Penyinaran matahari setiap waktunya dapat berbeda dikarenakan berbagai hal seperti terhalangnya sinar matahari akibat awan, intensitas matahari dari terbit sampai tenggelam, terjadinya mendung saat musim hujan, dan adanya kabut di daerah tertentu menyebabkan tingkat penyinaran energi surya berbeda-beda menyebabkan daya keluaran dari sel surya bervariasi dan tidak maksimal. Untuk itu dibutuhkan sebuah alat kontrol yang dapat menstabilkan energi keluaran dari sel surya yang disebut dengan *Solar Charge Controller* (SCC). Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai keluaran daya, tegangan, dan arus dari SCC tipe PWM dan MPPT, lalu untuk mengetahui nilai efisiensinya, serta untuk membandingkan tipe SCC yang lebih baik digunakan. Data sampel tegangan dan arus sel surya diambil di lapangan dari pukul 13.00 – 15.32, hal ini dikarenakan pada saat jam tersebut sinar matahari mencapai intensitas yang maksimal. Setelah didapatkan data lalu dilakukan analisis dengan metode simulasi menggunakan MATLAB. Nilai efisiensi rata-rata pada SCC tipe PWM yaitu sebesar 172 %. Sedangkan nilai efisiensi rata-rata pada SCC tipe MPPT yaitu sebesar 177 %. Didapatkan nilai daya, tegangan, dan arus yang dihasilkan SCC tipe MPPT sebesar 6,23 watt, 12,39 volt, 4,9 ampere dan SCC tipe PWM 6,04 watt, 12,16 volt, 4,8 ampere . Dengan demikian SCC MPPT lebih efisien digunakan sebagai *Solar Charge Controller*.



## ABSTRACT

**Perdana, A.Y.2019.** Efficiency Analysis of Solar Charge Controller Type PWM and MPPT with Simulation Method. Department of Physic. Mathematic and Science Faculty. Universitas Negeri Semarang. Main Advisor Fianti, S.Si. M.Sc., Ph.D, Eng. And Counselor Advisor Isa Akhlis, S.Si., M.Si.

Key Word : Solar Charge Controller, PWM, MPPT

The worlds energy nessecity is predicted to continously grow with the human populacy growing and the advance of technology. The height of energy nessecity that continously grow and limited energy source that make it a motivation to creat new technology that more environment friendly. One of the effort that can be implement to creat a renewable energy is to use solar cell. Indonesia is a tropical country that have potency solar energy with radiation light  $4.80 \text{ kWh/m}^2/\text{day}$ . Each day the sun's irradiation can be different due to various things such as obstruction of the sun due to clouds, the intensity of the sun from sunrise to sunset, the occurrence of clouds during the rainy season, and the presence of fog in certain areas making it irradiation rate of solar light to be varried that make the solar cell output power to be varried as well and not maximal . That why there is need a control device that can stabilize output power from solar cell called Solar Charge Controller (SCC). This research is run to know output power value, voltage , and current from SCC PWM type and MPPT type, and to know its efficiency value, and to compare related to the type of SCC that better used. Data on the voltage and current of solar cells taken in the field from 13.00 - 15.32, this is because at that time the sunlight reaches maximum intensity and analysed with simulation method using MATLAB. Average efficiency value for SCC type PWM is 172 %. Meanwhile average efficiency value for SCC type MPPT is 177%. Then was obtained power value,voltage,and influx that produced by SCC type MPPT is 6.23 watt, 12.39 volt, 49 ampere and SCC type PWM 6.04 watt, 12.16 volt, 4.8 ampere . Its can be concluded that SCC type MPPT is more efficient to use for solar controller.

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING .....	ii
PERNYATAAN .....	iii
PENGESAHAN .....	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN .....	v
PRAKATA .....	vi
ABSTRAK .....	viii
ABSTRACT .....	ix
DAFTAR ISI .....	x
DAFTAR TABEL .....	xiv
DAFTAR GAMBAR .....	xv
BAB 1. PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
1.5 Penegasan Istilah .....	3
1.6 Batasan Masalah .....	4
1.7 Sistematika Penulisan .....	5

## BAB 2. LANDASAN TEORI<sup>15</sup>

2.1	Sel Surya .....	6
2.1.1	Struktur Sel Surya .....	6
2.1.2	Semikonduktor Tipe-n dan Tipe-p .....	8
2.1.3	Sambungan p-n .....	11
2.2	Buck Converter .....	12
2.3	Boost Converter .....	16
2.4	Buck-boost Converter .....	20
2.5	Solar Charge Controller .....	21
2.5.1	Modulasi Lebar Pulsa .....	22
2.6	Maximum Power Point Tracking (MPPT) .....	25
2.6.1	Hill Climbing/P&O .....	26
2.6.2	Incremental Inductance .....	28
2.6.3	Fuzzy Logic MPPT .....	28
2.6.4	Fractional Open-Circuits Voltage .....	28
2.6.5	Fractional Short-circuit Current .....	29
BAB 3. METODE PENELITIAN .....		30
3.1	Waktu dan Tempat .....	30
3.2	Alat dan Bahan .....	30
3.3	Metode Penelitian .....	31
3.4	Diagram Alir Skripsi .....	32
3.5	Perhitungan Nilai Efisiensi .....	33

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....	34
4.1 Pengujian dan Analisa Solar Charge Controller .....	34
4.1.1 Solar Charge Controller Tipe PWM .....	34
4.1.2 Solar Charge Controller Tipe MPPT .....	35
4.1.3 Perbandingan Daya Tegangan dan Arus Pada Sel Surya, SCC Tipe PWM dan SCC Tipe MPPT .....	36
BAB 5. SIMPULAN DAN SARAN .....	41
5.1 Simpulan .....	41
5.2 Saran .....	41
DAFTAR PUSTAKA .....	42
LAMPIRAN .....	46

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
3.1 Spesifikasi sel surya .....	31
4.1 Perbedaan daya, tegangan, dan arus pada sel surya, SCC tipe PWM, dan SCC tipe MPPT .....	37

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1. Ilustrasi bagian-bagian sel surya .....	8
2.2. Semikonduktor tipe- <i>n</i> .....	9
2.3. Semikonduktor tipe- <i>p</i> .....	10
2.4. Sambungan <i>p-n</i> .....	11
2.5. Topologi <i>buck converter</i> .....	12
2.6. Keadaan ON <i>buck converter</i> (ON State) .....	13
2.7. Arus induktor pada <i>buck</i> konverter. ....	14
2.8. Keadaan OFF <i>buck converter</i> (OFF State) .....	15
2.9. Rangkaian <i>Boost converter</i> .....	17
2.10. Rangkaian <i>boost converter</i> saat <i>switch</i> tertutup .....	17
2.11. Rangkaian <i>boost converter</i> saat <i>switch</i> terbuka .....	18
2.12. Topologi Buck-boost converter .....	20
2.13. Siklus kerja buck-boost converter saat switch ON dan OFF .....	21
2.14. Sinyal PWM .....	21
2.15. Tegangan rata-rata sinyal PWM .....	23
2.16. Rangkaian PWM analog .....	23
2.17. Pembentukan sinyal PWM .....	24
2.18. Pengaruh pembebanan kurva VI panel surya .....	25
2.19. Prinsip kerja MPPT .....	26
2.20. Diagram algoritma SCC tipe MPPT <i>Perturb and Observe</i> .....	27
3.1. Diagram alir tugas akhir skripsi .....	32
4.1. Simulasi simulink SCC tipe PWM .....	35
4.2. Simulink Algoritma MPPT tipe <i>Perturbe and Observation</i> .....	36
4.3. Grafik perbandingan tegangan pada sel surya, SCC tipe PWM dan SCC tipe MPPT .....	38
4.4. Grafik perbandingan arus pada sel surya, SCC tipe PWM dan SCC tipe MPPT .....	39

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Simulasi SCC Tipe PWM dan Tipe MPPT dengan MATLAB.....	45
Lampiran 2. Data Daya, Tegangan, dan Arus Hasil Running Program.....	48
Lampiran 3. Dokumentasi Pengambilan Data.....	57

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi dunia diprediksi terus meningkat seiring dengan bertambahnya populasi manusia dan kemajuan teknologi. Bahkan menurut Saputri (2015), mulai tahun 2000 hingga 2030 kebutuhan energi diperkirakan meningkat hingga 70%. Bahan bakar minyak tercatat menyumbang konsumsi energi terbesar yakni hingga 80% dari total konsumsi energi dunia (Li *et al.*, 2006). Tuntutan kebutuhan energi yang terus meningkat dan terbatasnya sumber energi serta untuk melindungi bumi dari pemanasan global maka perlu untuk diwujudkan suatu teknologi baru yang ramah lingkungan. Teknologi baru tersebut pada umumnya disebut dengan sumber energi terbarukan.

Energi terbarukan menurut Dincer (2000) merupakan salah satu tindakan yang sangat efisien dan efektif untuk dilakukan dalam upaya pemenuhan kebutuhan energi manusia yang terus meningkat. Meskipun dalam pelaksanaannya pengembangan energi terbarukan memerlukan waktu yang relatif panjang atau disebut dengan pembangunan berkelanjutan jangka panjang. Oleh karena itu, sejak tahun 2015 pemerintah telah mencatat adanya pembangunan berkelanjutan terkait dengan energi terbarukan. Adapun salah satu pembangkit listrik tenaga Energi Baru Terbarukan (EBT) baru mampu memasok energi listrik sebesar 9,4 GW dengan komposisi: tenaga angin sebesar 0,4 GW, surya 0,3 GW, bioenergi 1,9 GW, mikrohidro 0,3 GW, air 5,1 GW, dan panas bumi 1,4 GW (ESDM, 2016).

Energi yang dikeluarkan oleh sinar matahari di luar atmosfer bumi adalah 1366 W/m<sup>2</sup>. Sedangkan energi matahari ketika telah mencapai permukaan bumi hanya 160 W/m<sup>2</sup> (West, 2003). Suplai energi surya dari sinar matahari yang diterima permukaan bumi sangat luar biasa besarnya, yaitu mencapai  $3 \times 10^{17}$  joule pertahun, energi ini setara dengan  $2 \times 10^{17}$  Watt. Sehingga, dengan menutup 0,1% saja permukaan bumi dengan sel surya yang memiliki efisiensi 10% sudah mampu untuk menutupi kebutuhan energi diseluruh dunia saat ini (Gratzel, 2001).



Indonesia merupakan negara tropis memiliki potensi energi surya yang sangat besar. Hal ini dikarena wilayah Indonesia terbentang melintasi garis khatulistiwa. Sehingga memiliki radiasi penyinaran yang besar yaitu  $4,80 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$  (ESDM, 2016). Akan tetapi tingkat penyinaran matahari setiap waktunya dapat berbeda dikarenakan berbagai hal seperti terhalangnya sinar matahari akibat awan, intensitas matahari dari terbit sampai tenggelam, terjadinya mendung saat musim hujan, dan adanya kabut di daerah tertentu menyebabkan tingkat penyinaran energi surya berbeda-beda menyebabkan daya keluaran dari sel surya bervariasi dan tidak maksimal. Agar daya yang dihasilkan oleh sel surya dapat maksimal maka diperlukan suatu solusi. Sehingga pemanfaatan energi matahari di Indonesia dapat optimal. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk memaksimalkan sel surya yaitu dengan menggunakan suatu pengontrol.

Pengontrol yang dapat digunakan untuk menstabilkan energi yang dihasilkan sel surya disebut dengan *solar charge controller* (SCC). Tipe SCC yang telah digunakan untuk menstabilkan energi diantaranya pengontrol tipe PWM (*Pulse Width Modulation*) (Abdul-Adheem, 2012) dan tipe MPPT (*Maximum Power Point Tracker*) (Alsadi *et al*, 2012). Pengontrol tipe PWM memanfaatkan lebar pulsa untuk mendapatkan sebuah nilai tegangan keluaran yang diinginkan. Sedangkan untuk tipe MPPT memanfaatkan titik istimewa yang biasa disebut titik MPP (*Maximum Power Point*). Dimana pada titik tersebut sel surya menghasilkan tegangan dan arus listrik tertinggi (Pebriningtyas, 2013). Untuk mengetahui SCC mana yang lebih baik dalam menstabilkan output, maka simulasi atau pemodelan dari masing-masing tipe perlu dilakukan.

Tujuannya dari simulasi atau pemodelan tersebut yaitu agar output dari kedua tipe SCC dapat dianalisis dan dibandingkan. Dengan adanya perbandingan tersebut diharapkan dapat diketahui gambaran lengkap tentang proses dan hasil pengontrolan output. Serta dapat disajikan secara sistematis yang nantinya dapat mendukung pengaplikasian sumber EBT sel surya dengan tingkat efisiensi dan efektifitas yang optimal.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Berapa besar keluaran daya (P) , tegangan(V), dan arus (I) terhadap waktu dari SCC tipe PWM dengan MPPT?
2. Berapa besar nilai efisiensi daya dari masing-masing SCC tipe PWM dan MPPT?
3. Pengontrol tipe apa yang lebih baik digunakan dalam sel surya?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk:

1. Mengukur keluaran daya (P), tegangan (V), dan arus (I) dari masing-masing SCC tipe PWM dan MPPT
2. Menghitung besarnya nilai efisiensi dari masing-masing SCC tipe PWM dan MPPT
3. Mengetahui tipe pengontrol yang lebih baik untuk diaplikasikan pada sel surya.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk:

1. Memberi informasi nilai daya (P), tegangan (V), dan arus (I) dari masing-masing SCC tipe PWM dan MPPT
2. Memberi informasi efisiensi dari masing-masing SCC tipe PWM dan MPPT
3. Mendapatkan informasi tipe pengontrol yang lebih baik digunakan pada sel surya

## 1.5 Penegasan Istilah

Untuk menghindari penafsiran yang berbeda terhadap beberapa istilah yang digunakan, maka diperlukan penegasan istilah sebagai berikut

1. Sel surya adalah perangkat yang mampu mengkonversi langsung energi cahaya matahari menjadi energi listrik.
2. Modul surya merupakan gabungan dari beberapa sel surya yang tersusun seri-pararel.
3. *Solar charge controller* adalah alat pengontrol arus atau tegangan keluaran panel surya yang digunakan untuk mengisi baterai dan mengatur daya dari baterai ke beban (Singh *et al.*, 2017).
4. PWM (*Pulse Width Modulation*) adalah salah satu teknik modulasi dengan mengubah lebar pulsa (*duty cycle*) dengan nilai amplitudo dan frekuensi yang tetap
5. MPPT (*Maximum Power Point Tracker*) adalah algoritma yang digunakan untuk mengontrol dan mencari titik daya maksimum dari hasil konversi energi matahari menjadi energi listrik oleh panel surya untuk disimpan di baterai / *accumulator*.

## 1.6 Batasan Masalah

Pembatasan suatu masalah digunakan untuk menghindari adanya penyimpangan maupun pelebaran pokok masalah agar penelitian tersebut lebih terarah dan memudahkan dalam pembahasan sehingga tujuan penelitian akan tercapai. Beberapa batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Luas lingkup hanya meliputi informasi seputar simulasi modul surya dan *solar charge controller* tipe PWM dan MPPT khusus *Perturb and Observe*.
2. Informasi yang disajikan yaitu: simulasi modul surya dan *solar charge controller* menggunakan simulink MATLAB, serta tingkat efisiensi dari masing-masing SCC ( PWM dan MPPT).

## **1.7 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan skripsi disusun dan dibagi menjadi tiga bagian untuk memudahkan pemahaman tentang struktur dan isi skripsi. Penulisan skripsi ini dibagi menjadi tiga bagian, yaitu bagian pendahuluan skripsi, bagian isi skripsi, dan bagian akhir isi skripsi.

Bagian pendahuluan skripsi terdiri dari halaman judul, sari (abstrak), halaman pengesahan, motto dan persembahan, kata pengantar, daftar isi, daftar gambar, daftar tabel, dan daftar lampiran.

Bagian isi skripsi, terdiri dari lima bab yang tersusun dengan sistematika bab 1 yang meliputi pendahuluan, berisi latar belakang, permasalahan, pembatasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan skripsi; bab 2 yang berisi landasan teori yaitu teori-teori pendukung penelitian; bab 3 memuat metode penelitian, berisi tempat pelaksanaan penelitian, alat dan bahan yang digunakan, serta langkah kerja yang dilakukan dalam penelitian; bab 4 yang meliputi hasil penelitian dan pembahasan, dalam bab ini dibahas tentang hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan dan terakhir bab 5 yaitu penutup yang berisi tentang kesimpulan hasil penelitian yang telah dilakukan serta saran-saran yang berkaitan dengan hasil penelitian.

Bagian akhir skripsi memuat tentang daftar pustaka yang digunakan sebagai acuan dari penulisan skripsi.

## BAB 2

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Sel Surya

Sel surya atau juga sering disebut sel fotovoltaik adalah perangkat yang mampu mengkonversi langsung energi cahaya matahari menjadi energi listrik (Fonash, 2010). Sel surya sangat berperan untuk memaksimalkan potensi sangat besar energi cahaya matahari yang melimpah.

Sel surya dapat dianalogikan sebagai perangkat dengan dua terminal yang dapat menghasilkan tegangan saat disinari cahaya matahari (Sirait *et al.*, 2015). Penyinaran pada satu sel surya komersial yang beredar di Indonesia berbahan *Polycrystalline silicon* mampu menghasilkan tegangan DC sebesar 0,5 volt dan arus *short-circuit* 532 mA dengan luas sel surya 52 mm x 26 mm. Besar tegangan dan arus ini tidak cukup untuk berbagai aplikasi, sehingga umumnya sejumlah sel surya disusun secara seri membentuk modul surya. Satu modul surya biasanya terdiri dari 24-36 sel surya dan total menghasilkan tegangan DC sebesar 12 V dalam kondisi penyinaran ideal. Modul surya tersebut bisa digabungkan secara paralel atau seri dengan modul surya lain untuk memperbesar total tegangan dan arus keluarannya sesuai dengan daya yang dibutuhkan untuk aplikasi tertentu

##### 2.1.1 Struktur Sel Surya

Teknologi sel surya telah melalui berbagai macam pengembangan dari waktu ke waktu dari mulai sel surya generasi pertama (penggunaan silikon sebagai bahan dasar pembuatan sel surya), sel surya generasi kedua (sel surya dengan film tipis), dan yang terbaru adalah generasi ketiga (sel surya dengan bahan polimer atau disebut dengan sel surya organik) (ESDM, 2011) dengan struktur dan bagian penyusun yang berbeda-beda, namun pada umumnya bagian-bagian sel surya dapat dilihat dari Gambar 2.



**Gambar 2.1.** Ilustrasi bagian-bagian sel surya.

Gambar 2.1 menunjukkan bagian-bagian sel surya yang secara umum terdiri dari:

1. Substrat

Substrat adalah material yang menopang seluruh komponen sel surya. Untuk sel surya dye-sensitized (DSSC) dan generasi ketiga (sel surya organik) substrat juga berfungsi sebagai tempat masuknya cahaya sehingga material yang digunakan adalah material yang konduktif tapi juga transparan seperti indium tin oxide (ITO) dan flourine doped tin oxide (FTO) (Aryza *et al*, 2017).

2. Material semikonduktor

Material semikonduktor merupakan bagian inti dari sel surya yang biasanya mempunyai ketebalan dengan orde ratusan mikrometer untuk sel surya generasi pertama (silikon) dan mikrometer untuk sel surya generasi kedua (film tipis). Material semikonduktor inilah yang berfungsi menyerap cahaya dari sinar matahari (Aryza *et al*, 2017). Gambar 2.1 menggunakan semikonduktor dengan material silikon, yang umum diaplikasikan di industri elektronik. Sedangkan untuk sel surya lapisan tipis, material yang digunakan dan telah masuk pasaran yaitu Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub> (CIGS) (Jackson *et al.*, 2010), CdS/CdTe dengan MoO<sub>x</sub> sebagai *back contact* (Lin *et al.*, 2010), dan juga material-material semikonduktor potensial lain yang sedang dalam penelitian

intensif seperti  $Cu_2ZnSn(S,Se)_4$  (Kim, 2014) dan  $Cu_2O$  (*copper-oxide*) (Minami *et al.*, 2013).

### 3. *Charge collector*

*Charge collector* ini biasanya terdiri dari beberapa lapisan garis konduktor tipis yang berfungsi untuk mengumpulkan muatan dan di letakkan di setiap lapisan semikonduktor.

### 4. Lapisan antireflektif

Cahaya yang terefleksi harus diminimalisir agar cahaya yang terserap oleh semikonduktor dapat optimal, oleh karena itu biasanya sel surya dilapisi oleh lapisan anti-refleksi. Material anti-refleksi ini adalah lapisan tipis dengan besar indeks refraktif optik antara semikonduktor dan udara yang menyebabkan cahaya dipantulkan ke arah semikonduktor sehingga meminimumkan cahaya yang dipantulkan keluar.

### 5. Enkapsulasi

Bagian ini berfungsi sebagai enkapsulasi untuk melindungi modul surya dari hujan atau kotoran.

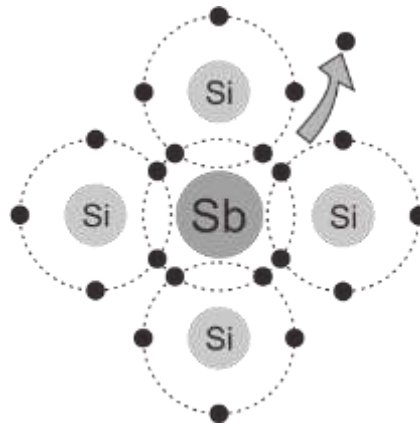
## 2.1.2 Semikonduktor Tipe-*n* dan Tipe-*p*

Semikonduktor adalah material yang nilai resistivitasnya terletak antara  $10^{-2} - 10^9 \Omega\text{cm}$  atau juga bisa disebut sebagai material dengan *energy gap* yang memiliki nilai eksitasi elektronik terletak antara nol sampai 3 eV. Material dengan *band gap* nol adalah metal atau semimetal, sedangkan untuk material dengan *energy gap* lebih besar dari 3 eV adalah banyak diketahui sebagai isolator (Yu & Cardona, 2010). Sifat-sifat kelistrikan konduktor maupun isolator tidak mudah dipengaruhi oleh perubahan temperatur, cahaya atau medan magnet, tetapi material semikonduktor sangat sensitif terhadap perubahan-perubahan tersebut (Baihaqi dkk, (n.d)).

### 2.1.2.1 Semikonduktor tipe-n

Apabila bahan semikonduktor intrinsik (murni) didoping dengan bahan bervalensi lain maka diperoleh semikonduktor ekstrinsik. Pada bahan semikonduktor intrinsik jumlah elektron bebas dan *hole* adalah sama. Konduktivitas semikonduktor intrinsik sangat rendah karena terbatasnya jumlah pembawa muatan yakni *hole* maupun elektron bebas tersebut.

Jika bahan silikon didoping dengan bahan dengan ketidakmurnian (impuritas) bervalensi lima (penta-valens), maka diperoleh semikonduktor tipe-n. Dopan yang bervalensi lima ini misalnya antimoni (Sb), arsenic (As), dan *phosphor* (P). Struktur kisi-kisi kristal bahan silikon tipe-n dapat dilihat pada Gambar 2.2.



**Gambar 2.2.** Semikonduktor tipe-n.

Atom antimoni (Sb) bervalensi lima, maka empat elektron valensi mendapatkan pasangan ikatan kovalen dengan atom silikon sedangkan elektron yang lain tidak mendapatkan pasangan. Oleh karena itu ikatan elektron ini terhadap inti menjadi lemah dan mudah menjadi elektron bebas. Karena setiap atom dopan ini menyumbang sebuah elektron, maka jumlah atom yang bervalensi lima disebut sebagai atom donor dan elektron bebas sumbangan dari atom dopan inipun dapat dikontrol.

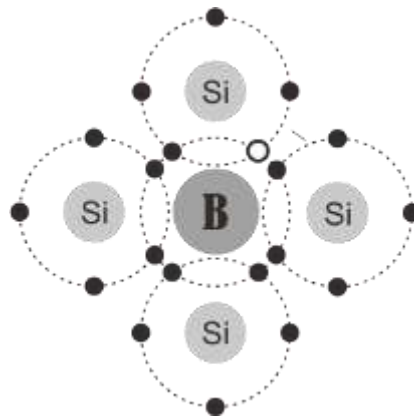
Meskipun bahan silikon tipe-n ini mengandung elektron bebas (pembawa muatan mayoritas) cukup banyak, namun secara keseluruhan kristal ini tetap netral karena jumlah muatan positif pada inti atom



masih sama dengan jumlah keseluruhan elektronnya. Pada bahan tipe-*n* disamping jumlah elektron bebas meningkat, ternyata jumlah *hole* (pembawa muatan minoritas) menurun. Hal ini disebabkan oleh jumlah elektron bebas yang semakin bertambah maka kecepatan *hole* dan elektron berekombinasi (bergabungnya kembali elektron dengan *hole*) semakin meningkat, sehingga jumlah *hole* menurun (Surjono, 2007).

### 2.1.2.2 Semikonduktor Tipe-p

Apabila bahan semikonduktor murni (intrinsik) didoping dengan bahan impuritas (ketidakmurnian) bervalensi tiga, maka akan diperoleh semikonduktor tipe-*p*. Dopan yang bervalensi tiga tersebut misalnya boron (B), gallium (Ga), dan indium (In). Struktur kisi-kisi kristal semikonduktor (silikon) tipe-*p* adalah seperti Gambar 2.3.

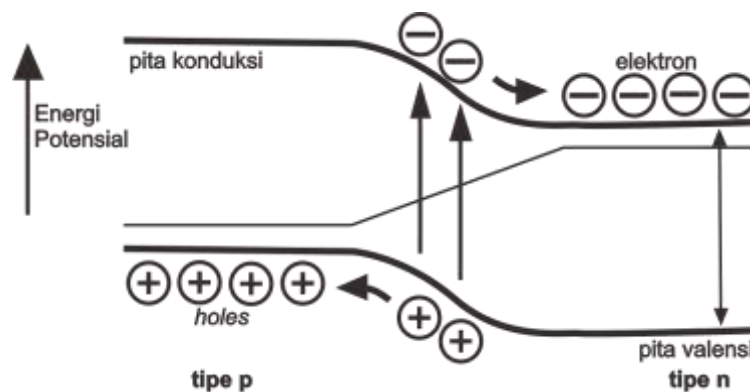


**Gambar 2.3.** Semikonduktor tipe-*p*.

silikon yang didoping dengan atom bervalensi tiga seperti boron (B) akan menyebabkan hanya tiga ikatan kovalen yang bisa dipenuhi. Sedangkan tempat yang seharusnya membentuk ikatan kovalen keempat menjadi kosong (membentuk *hole*) dan bisa ditempati oleh elektron valensi lain. Dengan demikian sebuah atom bervalensi tiga akan menyumbangkan sebuah *hole*. Atom bervalensi tiga disebut juga atom akseptor, karena atom ini siap untuk menerima elektron.

Seperti halnya pada semikonduktor tipe-*n* secara keseluruhan kristal semikonduktor tipe-*p* ini netral, karena jumlah *hole* dan elektronnya sama. Pada bahan tipe-*p*, *hole* merupakan pembawa muatan mayoritas. Penambahan atom dopan akan meningkatkan jumlah *hole* sebagai pembawa muatan mayoritas, dan pembawa muatan minoritasnya adalah elektron (Surjono, 2007).

### 2.1.3 Sambungan *p-n*



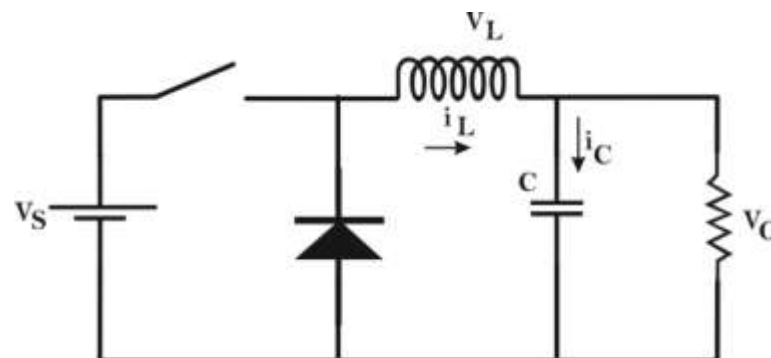
**Gambar 2.4.** Sambungan *p-n*.

Misalkan kita memiliki sepotong silikon tipe-*p* dan sepotong silikon tipe-*n* dan secara sempurna terhubung membentuk sambungan *p-n* seperti diperlihatkan pada Gambar 2.4 sesaat setelah terjadi penyambungan pada daerah perbatasan terjadi perubahan. Pada daerah tipe-*n* memiliki sejumlah elektron yang akan dengan mudah terlepas dari atom induknya. Pada bagian kiri (tipe-*p*), atom aseptor menarik elektron (atau menghasilkan *hole*). Kedua pembawa muatan mayoritas tersebut memiliki cukup energi untuk mencapai material pada sisi lain sambungan. Dalam hal ini terjadi difusi elektron dari tipe-*n* ke tipe-*p* dan difusi *hole* dari tipe-*p* ke tipe-*n*. Proses difusi ini tidak berlangsung selamanya karena elektron yang sudah berada di tempatnya akan menolak elektron yang datang kemudian. Proses difusi berakhir saat tidak ada lagi elektron yang memiliki cukup energi untuk mengalir.

Daerah yang sangat tipis dekat sambungan disebut daerah deplesi (*depletion-region*) atau daerah transisi. Daerah ini dapat membangkitkan pembawa muatan minoritas saat terdapat cukup energi luar untuk membangkitkan pasangan *hole*-elektron. Salah satu dari pembawa muatan minoritas ini misalnya elektron pada tipe-*p*, akan mengalami pengaruh dari proses penolakan elektron difusi dari tipe-*n*, dengan kata lain elektron minoritas ini akan ikut tertarik ke semikonduktor tipe-*n*. Gerakan pembawa muatan akibat pembangkitan akibat energi luar ini lebih dikenal sebagai *drift*. Situasi akan stabil saat arus difusi sama dengan arus *drift*. Pada daerah sambungan yang sangat tipis terjadi pengosongan pembawa muatan mayoritas akibat terjadinya difusi ke sisi yang lain. Hilangnya pembawa muatan mayoritas di daerah ini meninggalkan lapisan muatan positif di daerah tipe-*n* dan lapisan muatan negatif di daerah tipe-*p*.

## 2.2 Buck Converter

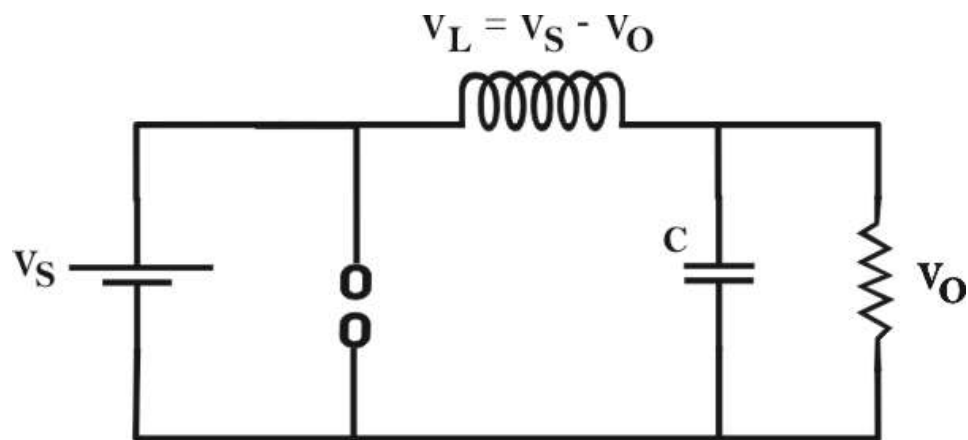
*Buck converter* adalah salah satu topologi DC-DC konverter yang digunakan untuk menurunkan tegangan DC. Prinsip kerja rangkaian ini adalah dengan kendali pensaklaran. Komponen utama pada topologi *buck converter* adalah penyaklar, dioda, induktor, dan kapasitor. Dioda dipasang untuk memberikan jalan untuk arus induktor ketika saklar terbuka dan menjadi bias mundur ketika saklar tertutup (Hart, 2010). Pada Gambar 2.5 ditunjukkan topologi *buck converter* yang masih dasar dengan nilai komponen yang masih belum diketahui.



**Gambar 2.5.** Topologi *buck converter*.

Penyaklar dapat berupa transistor, MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*) yang secara luas digunakan sebagai switch dan sebagai penguat sinyal pada perangkat elektronik, atau IGBT (*Insulated Gate Bipolar Transistor*) yang merupakan komponen semikonduktor dengan tiga terminal utama dengan fungsi sebagai *switch* yang mengkombinasikan kecepatan pensaklaran efisiensi tinggi. Kondisi saklar terbuka dan tertutup ditentukan oleh isyarat PWM. Pada saat saklar terhubung, maka induktor, kapasitor, dan beban akan terhubung dengan sumber tegangan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6. Kondisi seperti ini disebut dengan keadaan ON (*ON State*). Saat kondisi ON maka dioda akan *reverse bias*. Sedangkan saat saklar terbuka maka seluruh komponen tadi akan terisolasi dari sumber tegangan seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.8 keadaan ini disebut dengan kondisi OFF (*OFF State*). Saat kondisi OFF ini dioda menyediakan jalur untuk arus induktor. *Buck converter* disebut juga *down converter* karena nilai tegangan keluaran selalu lebih kecil dari inputnya.

Berikut ini adalah penjelasan mengenai kedua kondisi pada *buck converter*.



**Gambar 2.6.** Keadaan ON *buck converter* (*ON State*).

Saat kondisi ON maka rangkaian *buck converter* akan nampak seperti Gambar 2.6 dan dioda akan *reverse bias*. Dengan demikian tegangan pada induktor adalah

$$V_L = V_S - V_o = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.1)$$

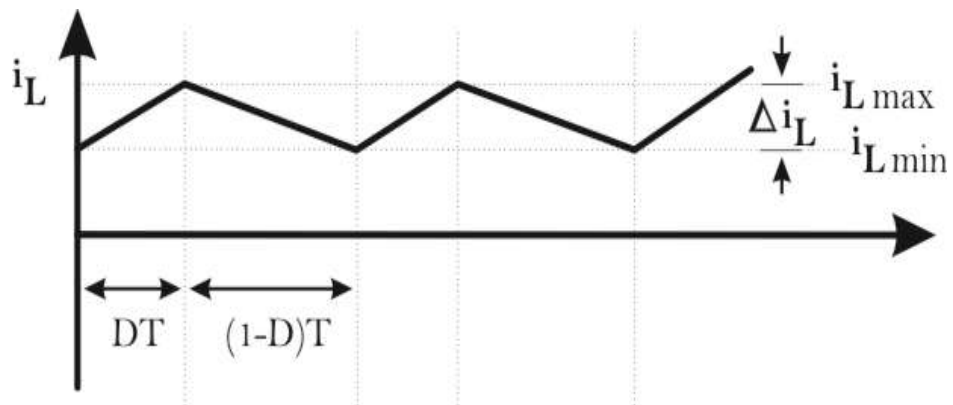
Sehingga diperoleh,

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{(V_s - V_o)}{L} \quad (2.2)$$

Selama nilai turunan dari arus adalah konstanta positif, maka arus akan bertambah secara linear seperti yang digambarkan pada Gambar 2.7 selama selang waktu 0 sampai dengan  $DT$ . Perubahan pada arus selama kondisi *ON* dihitung dengan menggunakan persamaan 2.3.

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{(V_s - V_o)}{L} \quad (2.3)$$

$$\Delta i_{L_{closed}} = \frac{(V_s - V_o)}{L} DT \quad (2.4)$$



**Gambar 2.7.** Arus induktor pada *buck converter*

Saat kondisi OFF atau saklar terbuka, maka dioda menjadi *forward bias* untuk menghantarkan arus induktor, dan rangkaian *buck converter* akan nampak seperti Gambar 2.8 tegangan pada induktor saat saklar terbuka adalah

$$V_L = -V_o = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.5)$$

dimana:

$\frac{di_L}{dt}$  : perubahan arus pada induktor

$V_L$  : tegangan induktor

$V_o$  : tegangan keluaran

$V_S$  : tegangan sumber

$L$  : induktor

$\Delta i_{L_{closed}}$  :  $(i_{L_{n-1}} - i_{L_n})$  saat *switch* tertutup

Sehingga diperoleh,

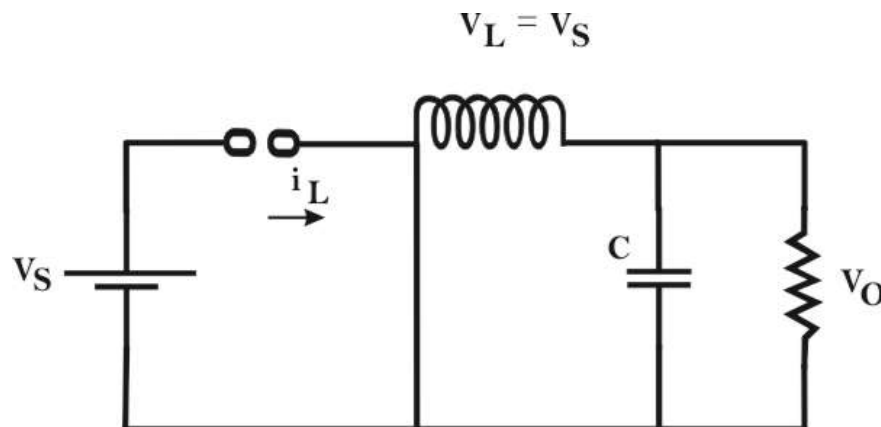
$$\frac{di_L}{dt} = \frac{-V_o}{L} \quad (2.6)$$

Turunan dari arus di induktor adalah konstanta negatif, dan arus berkurang secara linear, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7 pada ruas  $(1-D)T$ . Perubahan pada arus induktor ketika saklar terbuka adalah,

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{(1-D)T} = -\frac{V_o}{L} \quad (2.7)$$

$$\Delta i_{L_{open}} = -\frac{V_o}{L}(1-D)T \quad (2.8)$$

$(1-D)T$ , adalah waktu pada saat *switch* terbuka dan  $\Delta i_{L_{open}}$  adalah  $(i_{L_{n-1}} - i_{L_n})$  saat *switch* terbuka



**Gambar 2.8.** Keadaan OFF *buck converter* (OFF State).

Operasi keadaan tunak (*steady state*) terpenuhi jika arus pada induktor pada akhir siklus penyaklaran adalah sama dengan saat awal penyaklaran, artinya perubahan pada arus induktor selama satu periode adalah nol. Hal ini berarti

$$\Delta i_{L_{closed}} + \Delta i_{L_{open}} = 0 \quad (2.9)$$

Berdasarkan persamaan  $\Delta i_{L_{closed}}$  dan  $\Delta i_{L_{open}}$  diperoleh,

$$\frac{(V_s - V_o)}{L} DT - \frac{V_o}{L} (1 - D)T = 0 \quad (2.10)$$

DT, adalah waktu pada saat *switch* tertutup

Dengan menyelesaikan  $V_o$  diperoleh hubungan,

$$V_o = V_s D \quad (2.11)$$

Memiliki nilai yang sama dengan integral tegangan keluaran selama 1 periode,

$$\frac{1}{T} \int_0^T V_o(t) dt = \frac{1}{T} V_s \int_0^{DT} 0 dt \quad (2.12)$$

$$\frac{1}{T} V_o ]_0^T = \frac{1}{T} V_s ]_0^{DT} \quad (2.13)$$

$$\frac{1}{T} (V_o \times T - V_o \times 0) = \frac{1}{T} (V_s \times DT - V_s \times 0) \quad (2.14)$$

$$\frac{1}{T} V_o T - \frac{1}{T} V_o \times 0 = \frac{1}{T} V_s DT - \frac{1}{T} V_s \times 0 \quad (2.15)$$

$$V_o - 0 = V_s D - 0 \quad (2.16)$$

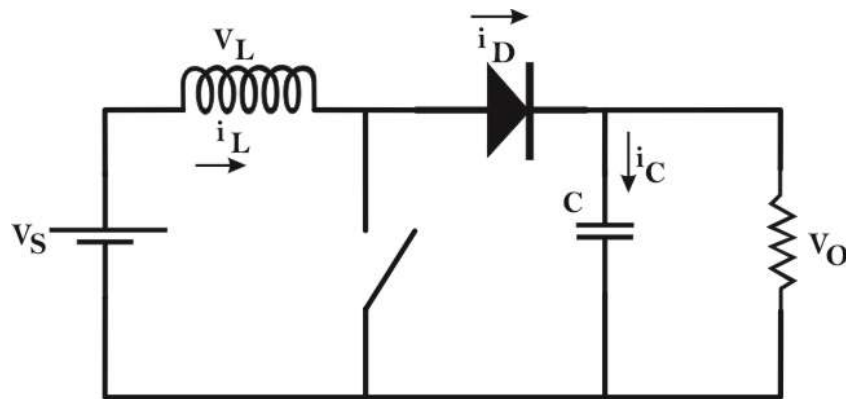
$$V_o = V_s D \quad (2.17)$$

Berdasarkan pada persamaan (2.11) dan persamaan (2.17) karena nilai tegangan keluaran *buck converter* sebanding dengan nilai *duty cycle*, maka untuk memperoleh nilai keluaran tegangan yang bervariasi, caranya adalah dengan mengubah nilai *duty cycle*-nya.

### 2.3 Boost Converter

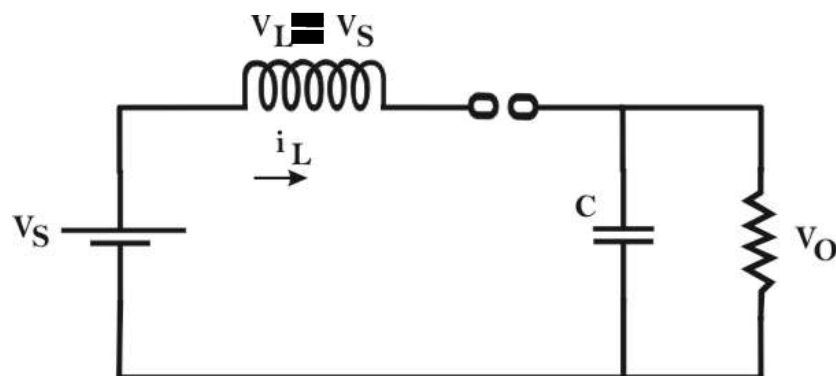
DC-DC *converter* adalah rangkaian elektronika daya untuk mengkonversi level tegangan DC ke level tegangan DC yang . Salah satu jenis DC-DC *converter* adalah *boost converter* (Hart, 2010). *Boost converter* adalah suatu DC-DC *converter* yang memiliki arus masukan kontinyu dan arus keluaran diskontinyu (Xiao *et al.*, 2007).

Karakteristik tersebut membuat *boost converter* digunakan untuk sistem MPPT, sebab ketika arus terputus maka tegangan yang terukur akan sama dengan tegangan rangkaian terbuka. Gambar rangkaian *boost converter* ditunjukkan oleh Gambar 2.9. *Boost converter* bekerja dengan cara membuka dan menutup *switch* secara berkala.



**Gambar 2.9.** Rangkaian *Boost converter*.

Hubungan tegangan dan arus pada rangkaian *boost converter* dianalisis menggunakan beberapa asumsi, yaitu : Kondisi *steady-state* ada, periode *switching* adalah  $T$ , dan *switch* tertutup untuk waktu  $DT$  dan terbuka untuk  $(1-D)T$ , arus induktor kontinu (selalu bernilai positif), kapasitor sangat besar, dan tegangan keluaran konstan, komponen ideal. Untuk prinsip kerja *boost converter* diilustrasikan seperti Gambar 2.10 dan Gambar 2.11



**Gambar 2.10.** Rangkaian *boost converter* saat *switch* tertutup.

Ketika *switch* tertutup, diode mengalami *reversed-bias*. Gambar 2.10 menunjukkan rangkaian *boost converter* ketika *switch* tertutup. Hukum tegangan Kirchoff untuk rangkaian *boost converter* ketika *switch* tertutup adalah



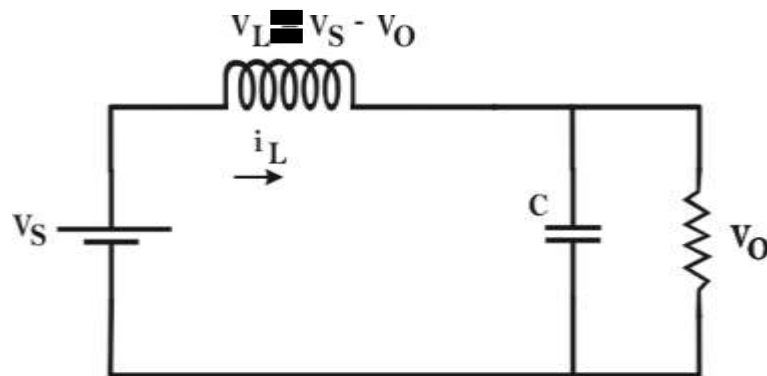
$$V_L = V_s = L \frac{di_L}{dt} \text{ atau } \frac{di_L}{dt} = \frac{V_s}{L} \quad (2.18)$$

Perubahan arus bernilai konstan, sehingga arus meningkat secara linear ketika *switch* tertutup. Perubahan arus induktor yang terjadi adalah

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_s}{L} \quad (2.19)$$

Solusi untuk  $\Delta i_L$  *switch* tertutup

$$\Delta i_{L_{closed}} = \frac{V_s DT}{L} \quad (2.20)$$



**Gambar 2.11.** Rangkaian *boost converter* saat *switch* terbuka.

Ketika *switch* terbuka, diode menjadi *forward-bias*. Dengan mengasumsikan tegangan keluaran  $V_o$  konstan, tegangan pada induktor adalah:

$$V_L = V_s = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.21)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s - V_o}{L} \quad (2.22)$$

Perubahan arus induktor konstan, sehingga arus berubah secara linear ketika *switch* terbuka. Perubahan arus induktor ketika *switch* terbuka adalah

$$\frac{\Delta i_L}{dt} = \frac{\Delta i_L}{(1-D)T} = \frac{V_s - V_o}{L} \quad (2.23)$$

Solusi untuk  $\Delta i_L$  *switch* terbuka adalah,

$$\Delta i_{L_{open}} = \frac{(V_s - V_o)(1 - DT)}{L} \quad (2.24)$$

Jika bekerja sampai kondisi *steady-state*, total perubahan arus induktor sama dengan nol. Menggunakan persamaan (2.20) dan persamaan (2.24), dapat ditentukan hubungan antara masukan dan tegangan keluaran *boost converter*

$$\Delta i_{L_{closed}} + \Delta i_{L_{open}} = 0 \quad (2.25)$$

$$\frac{V_s DT}{L} + \frac{(V_s - V_o)(1 - DT)}{L} = 0 \quad (2.26)$$

Solusi untuk  $V_o$ ,

$$\frac{L}{T} \frac{V_s DT}{L} + \frac{L}{T} \frac{(V_s - V_o)(1 - DT)}{L} = 0 \frac{L}{T} \quad (2.27)$$

$$V_s \cdot D + (V_s - V_o)(1 - D) = 0 \quad (2.28)$$

$$\cancel{V_s} \cdot D + V_s - \cancel{V_s} \cdot D - V_o + V_o \cdot D = 0 \quad (2.29)$$

$$V_s - V_o + V_o D = 0 \quad (2.30)$$

$$V_s - V_o(1 - D) = 0 \quad (2.31)$$

$$V_o = \frac{V_s}{1 - D} \quad (2.32)$$

dimana:

$\frac{di_L}{dt}$  : perubahan arus pada induktor

$V_L$  : tegangan induktor

$V_o$  : tegangan keluaran

$V_s$  : tegangan sumber

$L$  : induktor

$\Delta i_{L_{closed}}$  :  $(i_{L_{n-1}} - i_{L_n})$  saat *switch* tertutup

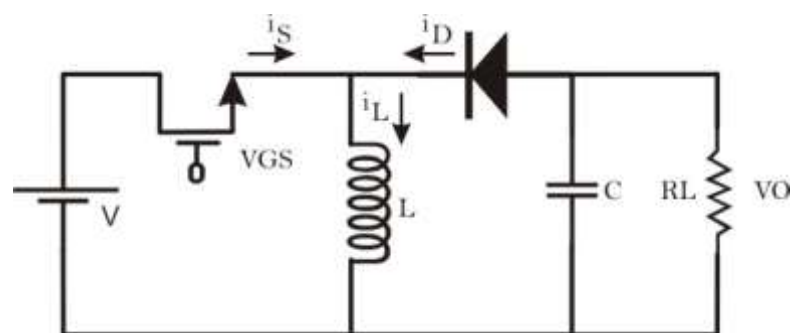
$\Delta i_{L_{open}} : (i_{L_{n-1}} - i_{L_n})$  saat *switch* terbuka

Persamaan (2.32) menunjukkan ketika *switch* terbuka dan  $D$  sama dengan nol, keluaran sama dengan masukan. Ketika nilai *duty ratio* meningkat, keluaran lebih besar daripada masukan. *Boost converter* dapat menghasilkan tegangan keluaran lebih besar atau sama dengan tegangan masukan (Hart, 2010).

## 2.4 *Buck-boost Converter*

Adanya gangguan seperti *partial shadow* pada sistem sel surya juga sangat memengaruhi tegangan keluaran panel surya, maka dibuatlah sebuah alat pengubah tegangan DC-DC yaitu *buck-boost converter*. Alat ini dapat mengubah tegangan DC ke DC menjadi lebih tinggi atau lebih rendah dari tegangan masukannya. Sehingga pengguna dapat memilih sendiri tegangan yang akan di aplikasikan ke beban yaitu lebih tinggi atau lebih rendah dari tegangan output sel surya. *Buck-boost converter* adalah sebuah rangkaian DC-DC converter yang memiliki kelebihan yaitu tegangan keluaran dapat diatur lebih besar atau lebih kecil dari sumber (Dwidayanti, Gusmedi, & Ratna, 2017).

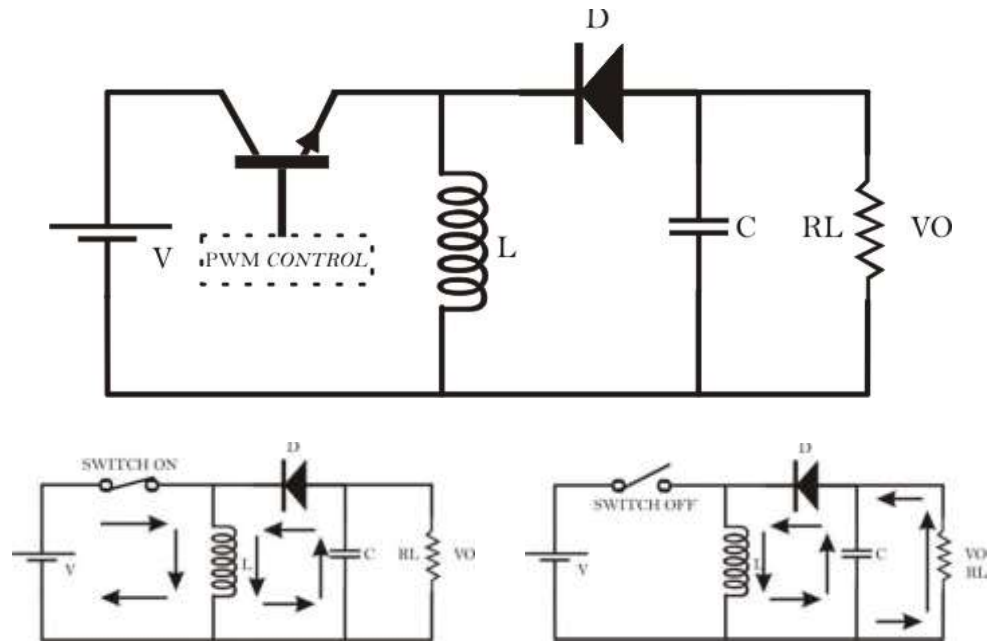
Gambar 2.12 merupakan rangkaian dasar *buck-boost converter* yang terdiri dari power MOSFET sebagai switching komponen, induktor ( $L$ ), dioda, kapasitor ( $C$ ), dan resistor sebagai beban ( $R_L$ )



**Gambar 2.12.** Topologi *Buck-boost converter*.

Induktor digunakan sebagai filter untuk mengurangi *ripple* arus, sedangkan kapasitor digunakan sebagai filter untuk mengurangi *ripple* tegangan. Dioda digunakan sebagai komponen *switching* yang bekerja pada keadaan *switch open*,

sehingga arus tetap mengalir ke induktor. Prinsip kerja rangkaian ini dibagi menjadi 2 mode yaitu mode 1 saat *switch* di-ON-kan dan mode 2 pada saat *switch* di-OFF-kan. Siklus kerja *buck-boost converter* terlihat seperti Gambar 2.13.



**Gambar 2.13.** Siklus kerja *buck-boost converter* saat *switch* ON dan OFF

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

## 2.5 Solar Charge Controller

*Solar charge controller* adalah komponen didalam sistem PLTS yang berfungsi sebagai pengatur arus atau tegangan keluaran panel surya yang digunakan untuk mengisi baterai dan mengatur daya dari baterai ke beban untuk menjaga baterai dari pengisian yang berlebihan (*over-charge*). Pada umumnya solar charge controller

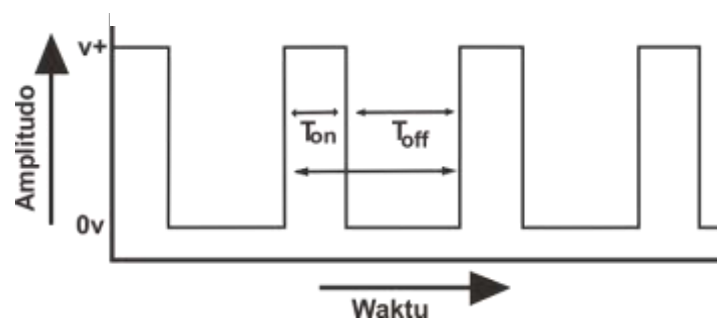
yang sering ditemukan di pasaran adalah tipe Modulasi Lebar Pulsa (*Pulse Width Modulation* (PWM)) dan Tipe *Maximum Power Point Tracker* (MPPT)

### 2.5.1 Modulasi Lebar Pulsa

*Pulse Width Modulation* (PWM) atau Modulasi Lebar Pulsa adalah salah satu teknik modulasi dengan mengubah lebar pulsa (*duty cycle*) dengan nilai amplitudo dan frekuensi yang tetap. Satu siklus pulsa merupakan kondisi HIGH kemudian berada di zona transisi ke kondisi LOW. Lebar pulsa PWM berbanding lurus dengan amplitudo sinyal asli yang belum termodulasi. *Duty-cycle* merupakan representasi dari kondisi logika HIGH dalam suatu periode sinyal dan di nyatakan dalam bentuk (%) dengan range 0% sampai 100%, sebagai contoh jika sinyal berada dalam kondisi HIGH terus menerus artinya memiliki *duty cycle* sebesar 100%. Jika waktu sinyal keadaan HIGH sama dengan keadaan LOW maka sinyal mempunyai *duty cycle* sebesar 50%.

Beberapa Contoh aplikasi PWM adalah pemodulasian data untuk telekomunikasi, pengontrolan daya atau tegangan yang masuk ke beban, regulator tegangan, efek audio dan penguatan, serta aplikasi-aplikasi lainnya.

Sebagai contoh pada gambar 2.14 merupakan gambar sinyal PWM yang berbentuk kotak



**Gambar 2.14.** Sinyal PWM.

Besarnya tegangan keluaran yang dihasilkan dari PWM dapat dihitung dengan persamaan seperti berikut:

$$T_{total} = T_{on} + T_{off} \quad (2.33)$$

$$D = \frac{T_{on}}{T_{total}} \quad (2.34)$$

$$V_{out} = D \times V_{in} \quad (2.35)$$

$$V_{out} = \frac{T_{on}}{T_{total}} \times V_{in} \quad (2.36)$$

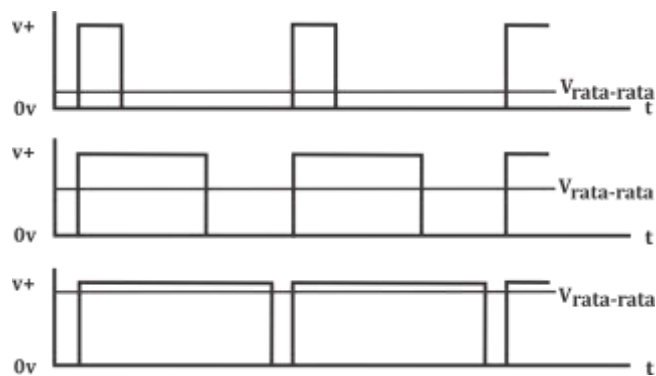
Keterangan:

$T_{on}$  : waktu pulsa "HIGH"

$T_{off}$  : waktu pulsa "LOW"

$D$  : *Duty-cycle*

Berdasarkan persamaan diatas dapat diketahui bahwa perubahan *duty cycle* akan merubah tegangan keluaran atau tegangan rata-rata seperti pada Gambar 2.15

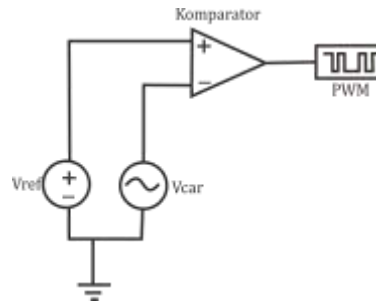


**Gambar 2.15.** Tegangan rata-rata sinyal PWM.

Gambar 2.15 menunjukkan besarnya tegangan rata-rata yang dapat dihasilkan oleh sebuah metode PWM, yang mana ketika  $T_{off}$  lebih panjang dibandingkan dengan  $T_{on}$  maka besarnya nilai tegangan rata-rata akan cenderung lebih rendah dari tegangan input, begitu juga sebaliknya. Namun ketika  $T_{off}$  dan  $T_{on}$  sama, maka besarnya nilai tegangan rata-rata akan bernilai setengah dari tegangan input.

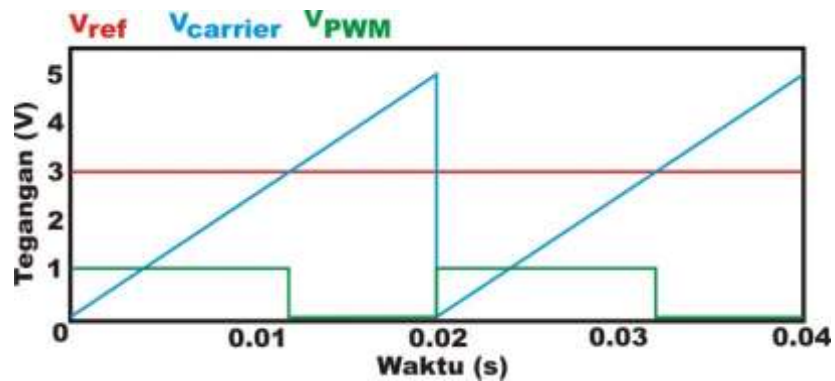
### 2.5.1.1 PWM Analog

Pembangkitan sinyal PWM yang paling sederhana adalah dengan cara membandingkan sinyal gigi gergaji sebagai tegangan *carrier* dengan tegangan referensi menggunakan rangkaian op-amp *comparator* seperti ditunjukkan pada Gambar 2.16



**Gambar 2.16.**Rangkaian PWM analog

Cara kerja dari komparator analog ini adalah membandingkan gelombang tegangan gigi gergaji dengan tegangan referensi seperti yang terlihat pada Gambar 2.17



**Gambar 2.17.** Pembentukan sinyal PWM

Saat nilai tegangan referensi lebih besar dari tegangan *carrier* (gigi gergaji) maka *output comparator* akan bernilai HIGH. Namun saat tegangan referensi bernilai lebih kecil dari tegangan *carrier*, maka *output comparator* akan bernilai LOW. Dengan memanfaatkan prinsip kerja dari komparator inilah, untuk mengubah *duty-cycle* dari sinyal output cukup dengan mengubah-

ubah besar tegangan referensi. Besarnya *duty-cycle* rangkaian PWM ini dihitung dengan menggunakan persamaan

$$Duty - cycle = \frac{V_{reference}}{V_{carrier}} \times 100\% \quad (2.37)$$

### 2.5.1.2 *PWM Digital*

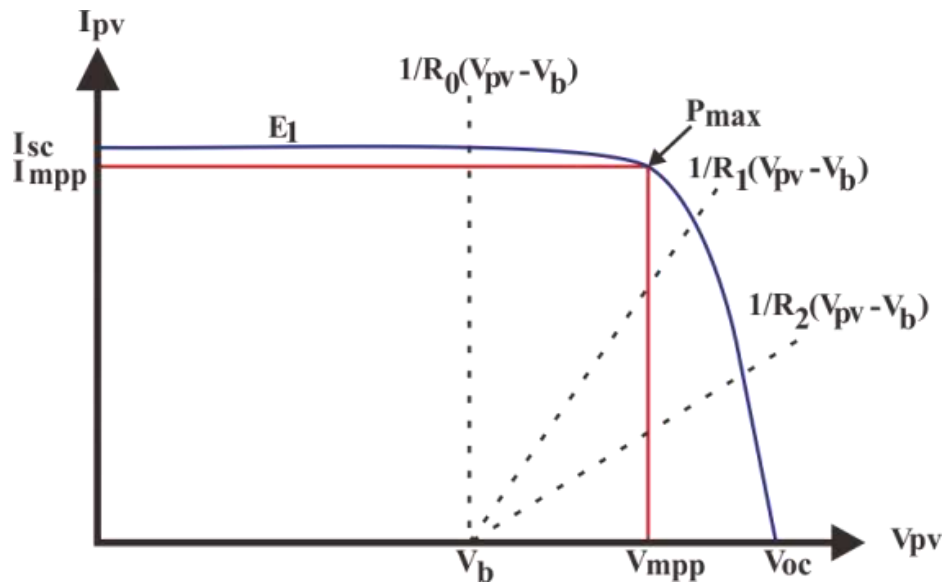
Metode digital untuk setiap siklus, kita bisa memberi nilai dari 0 hingga 255. Ketika kita memberikan angka 0, berarti pada siklus tersebut tidak akan pernah bernilai 5 volt (siklus selalu bernilai 0 volt). Sedangkan ketika kita memberikan nilai 255, maka sepanjang siklus akan bernilai 5 volt (tidak pernah 0 volt). Jika kita memberikan nilai 127 (kita anggap setengah dari 0 sampai 255), maka setengah siklus akan bernilai 5 volt, dan setengah siklus lagi akan bernilai 0 volt. Sedangkan jika jika memberikan 25% dari 255 ( $1/4 * 255$  atau 64), maka  $1/4$  siklus akan bernilai 5 volt, dan  $3/4$  sisanya akan bernilai 0 volt.

## 2.6 *Maximum Power Point Tracking (MPPT)*

*Maximum Power Point Tracking* atau sering disingkat dengan MPPT merupakan sebuah sistem elektronik yang dioperasikan pada sebuah panel surya sehingga panel surya bisa menghasilkan power maksimum. Perlu diperhatikan, MPPT bukanlah sebuah sistem tracking mekanik yang digunakan untuk mengubah posisi modul terhadap posisi matahari sehingga mendapatkan energi maksimum matahari. MPPT benar-benar sebuah sistem elektronik yang bisa menelusuri titik power maksimum power yang bisa dikeluarkan oleh sebuah panel surya.

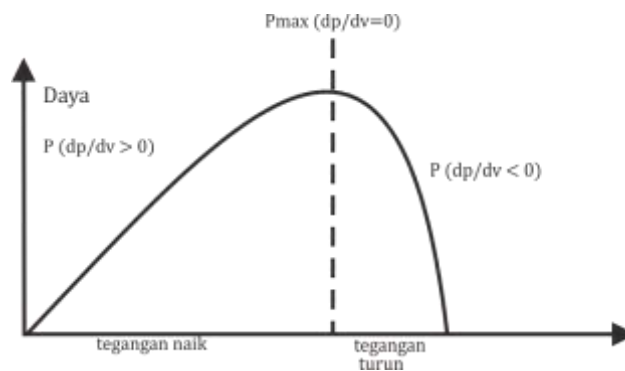
Sistem MPPT bekerja dengan cara memaksa panel surya agar tetap pada titik daya maksimumnya, sehingga daya yang mengalir ke beban adalah daya maksimal. Pada umumnya MPPT menggunakan DC-DC *converter* untuk menggeser daya operasi dari panel surya menjadi titik daya maksimalnya.





**Gambar 2.18.** Pengaruh pembebanan kurva VI panel surya

Gambar 2.19 menunjukkan prinsip kerja algoritma MPPT yang bekerja pada tiga daerah kondisi yakni kondisi saat kenaikan daya, kondisi saat puncak daya, dan kondisi saat penurunan daya. Kondisi saat kenaikan daya ditunjukkan oleh kenaikan grafik ke arah maksimum dengan perubahan daya bernilai positif ( $dP/dV > 0$ ). Ketika berada di kondisi puncak, tidak ada perubahan daya ( $dP/dV = 0$ ), sedangkan saat terjadi penurunan daya ditunjukkan oleh grafik yang menurun dengan perubahan daya bernilai negatif ( $dP/dV < 0$ )

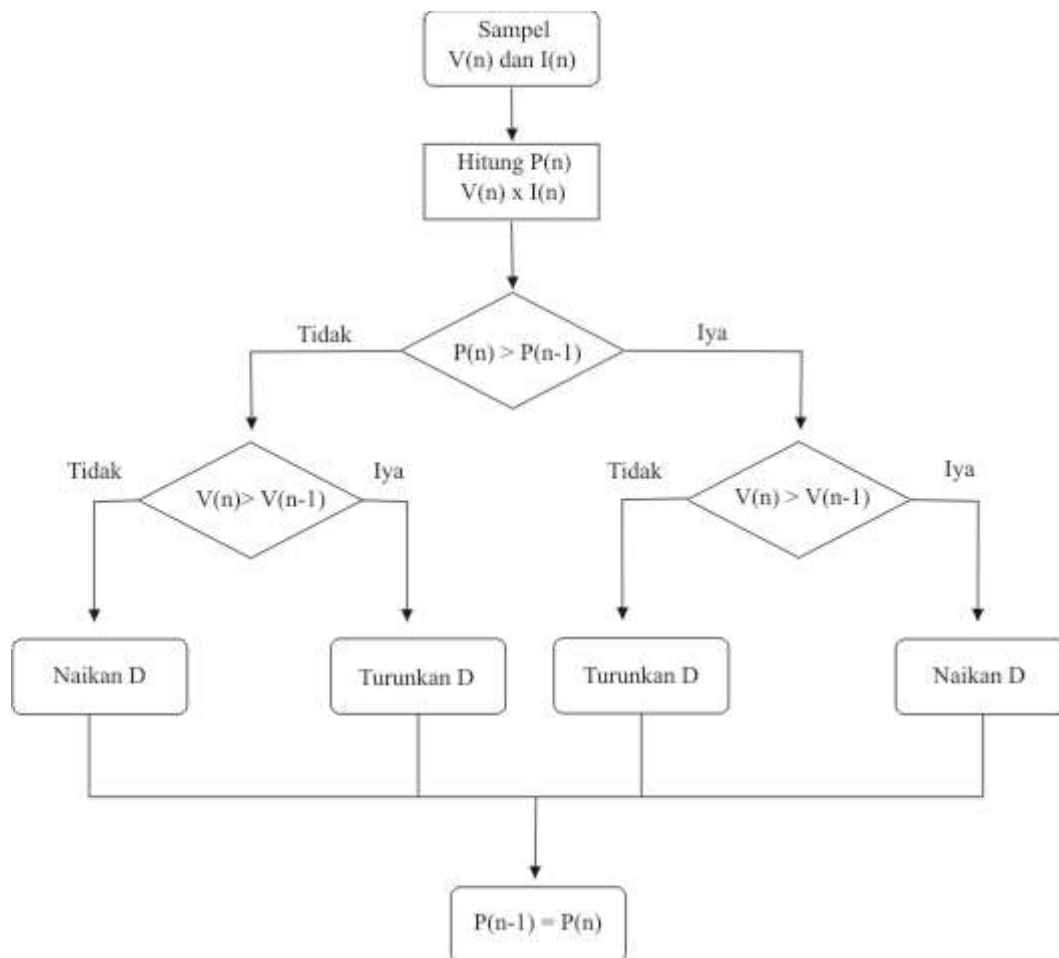


**Gambar 2.19.** Prinsip kerja MPPT.

Terdapat berbagai jenis algoritma MPPT yang bisa digunakan untuk menjajaki nilai daya maksimal pada rangkaian sel surya diantaranya adalah:

### 2.6.1 Hill Climbing/P&O

Metode ini memanfaatkan perubahan daya terhadap waktu berdasarkan kurva karakteristik P-V sel surya. Cara kerja metode ini membutuhkan dua parameter yaitu  $V(k)$  dan  $I(k)$  dari sel surya (Aprian, 2010). Daya sel surya  $P(k)$  dapat diketahui dengan mengalikan kedua parameter ini, inti dari teknik pelacakan ini adalah dengan menghitung kemiringan dari respon kurva P-V seperti yang telah dijelaskan Gambar 2.19.



**Gambar 2.20.** Diagram algoritma SCC tipe MPPT *Perturb and Observe* (Moring, 2012)

Algoritma yang paling banyak digunakan adalah algoritma *Perturb & Observe* (P&O) (Anil, Patil, Vinchurkar, 2014). Algoritma P&O mengubah *duty cycle* yang mengontrol konverter daya, cara ini mengambil beberapa langkah gangguan untuk mendapatkan titik MPP. Gangguan ini

menyebabkan titik operasi baru dengan daya output yang berbeda. Jika daya output ini lebih besar dari daya output sebelumnya, titik ini ditetapkan sebagai titik operasi baru. Jika lebih rendah, titik daya yang sama disesuaikan ke tegangan kerja yang lebih rendah atau lebih tinggi, tergantung pada arah langkah sebelumnya.

### 2.6.2 Incremental Inductance

Ide dari MPPT tipe *incremental conductance* ini didasarkan pada kenyataan bahwa nilai kemiringan dari kurva daya sel surya adalah bernilai nol di titik MPP. Seperti yang telah diketahui dalam Gambar 2.19 dalam meraih MPP nilai  $dP/dV=0$ , rumus ini dapat juga ditulis sebagai berikut.

$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(IV)}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} \cong I + V \frac{\Delta I}{\Delta V} \begin{cases} \frac{\Delta I}{\Delta V} = -I/V & \text{pada titik MPP} \\ \frac{\Delta I}{\Delta V} > -I/V & \text{di kiri nilai MPP} \\ \frac{\Delta I}{\Delta V} < -I/V & \text{di kanan titik MPP} \end{cases} \quad (2.38)$$

Nilai MPP dapat dijangki dengan membandingkan konduktansi instan ( $I/V$ ) dengan kenaikan konduktansi ( $\Delta I/\Delta V$ ), ketika nilai konduktansi instan sama dengan kenaikan konduktansi maka diraihlah keadaan MPP.

### 2.6.3 Fuzzy Logic MPPT

*Fuzzy Logic MPPT* Merupakan algoritma MPPT yang memanfaatkan logika fuzzy sebagai skema untuk menentukan perubahan *duty cycle* agar daya maksimal sel surya dapat diraih. Pada penelitian Cheikh(2007) digunakan dua masukan yakni error (E) atau menunjukkan letak jatuhnya daya yang tidak pada titik maksimum, dan perubahan error (CE) merupakan arah perubahan titik error (E) dengan menggunakan metode tabel mamdani.

### 2.6.4 Fractional Open-Circuits Voltage

Metode ini berdasar pada konsep bahwa tegangan pada daya maksimal ( $V_{MPP}$ ) secara proporsional linear berbanding lurus dengan tegangan rangkaian terbuka ( $V_{OC}$ ) dengan konstanta proporsional  $k_1$ , dimana

$$V_{MPP} \approx k_1 V_{OC} \quad (2.39)$$

dengan nilai  $k_1$  bervariasi menurut material sel surya dan juga teknik fabrikasinya dimana pada umumnya berada diantara 0,71 sampai 0,78 (Esrām, 2007).

### **2.6.5 Fractional Short-circuit Current**

Metode ini hampir sama dengan metode *Fractional Open-Circuits Voltage* (FOCV) namun dengan memperhatikan nilai  $I_{SC}$  melalui pendekatan

$$I_{MPP} \approx k_2 I_{SC} \quad (2.40)$$

Dimana  $k_2$  konstanta proporsional, seperti halnya metode FOCV nilai  $k_2$  juga bergantung dari bahan material dan juga teknik fabrikasidari sel surya.

## **BAB 3**

### **METODE PENELITIAN**

Penelitian ini mengenai analisis perbandingan SCC tipe PWM dan MPPT, dimana dalam penelitian ini terbagi menjadi 3 bagian yaitu merangkai sel surya secara seri-pararel sehingga mendapatkan tegangan dan arus seperti yang diharapkan. Kemudian mensimulasikan data yang di dapat dari sel surya kedalam dua jenis SCC tadi sehingga mendapatkan daya yang lebih stabil.

#### **3.1 Waktu dan Tempat**

##### **1. Waktu Penelitian**

Penelitian ini dilakukan dari bulan April 2018 sampai Juli 2019, yaitu mulai dari pembuatan proposal skripsi, perangkaian sel surya, pengambilan data di lapangan, sampai selesai mengolah datanya

##### **2. Tempat Penelitian**

Tempat pelaksanaan penelitian ini terjadi di dua tempat, yakni: tempat pertama untuk perakitan sel surya terdapat di Lab. Elektronika lanjut di Gedung D9 lt. 3. Kemudian untuk tempat yang kedua adalah tempat pengambilan data tegangan dan arus yang dihasilkan dari sel surya bertempat di halaman Dekanat FMIPA UNNES Gedung D12.

#### **3.2 Alat dan Bahan**

##### **1. Perangkat lunak MATLAB**

MATLAB (*Matrix Laboratory*) versi R2007b digunakan sebagai program perhitungan dan komputasi dari sampel data yang telah diambil, pembuatan grafik hasil pengujian dan analisis output pengujian.

##### **2. Multimeter digital**

Digital Multimeter digunakan untuk mengukur tegangan dan arus yang keluar dari sel surya

### 3. Sel surya

Sel surya merupakan penghasil tegangan dan arus ang datanya telah di ambil untuk di simulasikan dengan menggunakan MATLAB. Sel surya yang digunakan merupakan sel surya dengan bahan *polycrystalin Silicone* dengan spesifikasi seperti yang terlihat pada Tabel 3.1

**Tabel 3.1.** Spesifikasi sel surya

Material	<i>Polycrystalin silicone</i>
Dimensi	52 mm × 26 mm
Daya maksimal	0,252 – 0,253 W
Arus maksimal	0,487 A
Tegangan maksimal	0,518 V
<i>Short-circuit current</i>	0,532 A
<i>Open-circuit voltage</i>	0,564 V
Efisiensi konversi	17,4 %

### 3.3 Metode Penelitian

Dalam penyelesaian penelitian tugas akhir ini ada beberapa langkah kegiatan yang dilakukan sebagai berikut:

#### 1. Studi literatur

Merupakan tahapan di mana penulis mengumpulkan dan berbagai teori yang berkaitan dengan sistem MPPT. Studi literatur dimaksudkan untuk mempelajari berbagai sumber referensi atau teori (buku dan internet) yang berkaitan dengan penelitian tugas akhir sebagai dasar dalam mengerjakan tugas akhir ini. Pada pengujian yang dilakukan, sumber data yang digunakan adalah sumber data yang telah didapat dari pengambilan data menggunakan multimeter digital

## 2. Pengujian pada perangkat lunak MATLAB

Pengujian dilakukan dengan menggunakan software MATLAB R2007b Struktur program pengujian yang dipergunakan adalah proses simulasi SCC tipe PWM dan MPPT tipe Perturb & Observe

## 3. Sumber data ke dalam program yang telah dibuat

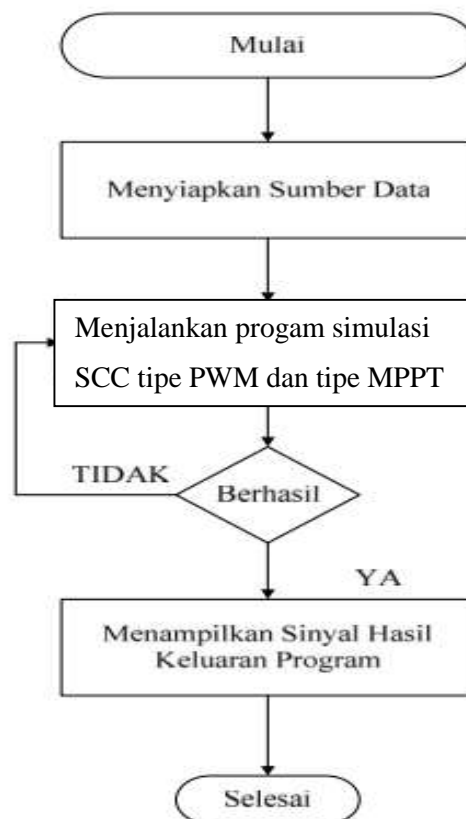
Pada langkah ini merupakan pemrosesan sumber data ke dalam program pengujian pada simulasi MATLAB. Dari langkah ini didapat nilai dan bentuk sinyal keluaran.

## 4. Hasil data pemrosesan yang telah dilakukan

Data yang telah diproses ditampilkan dalam wujud gambar plot dimana sumbu x merupakan waktu (menit) dan sumbu y merupakan *magnitude* (daya, tegangan, dan arus).

### 3.4 Diagram Alir Skripsi

Berikut merupakan diagram alir dari tugas akhir yang penulis lakukan



**Gambar 3.1.** Diagram alir tugas akhir.

### 3.5 Perhitungan Nilai Efisiensi

Perhitungan nilai efisiensi dihitung menggunakan persamaan dibawah ini

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \text{ (Miguel } et al., 2019) \quad (3.1)$$

$\eta$  : efisiensi

$P_{out}$  : daya SCC

$P_{in}$  : daya sel surya



## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pengujian dan Analisa *Solar Charge Controller*

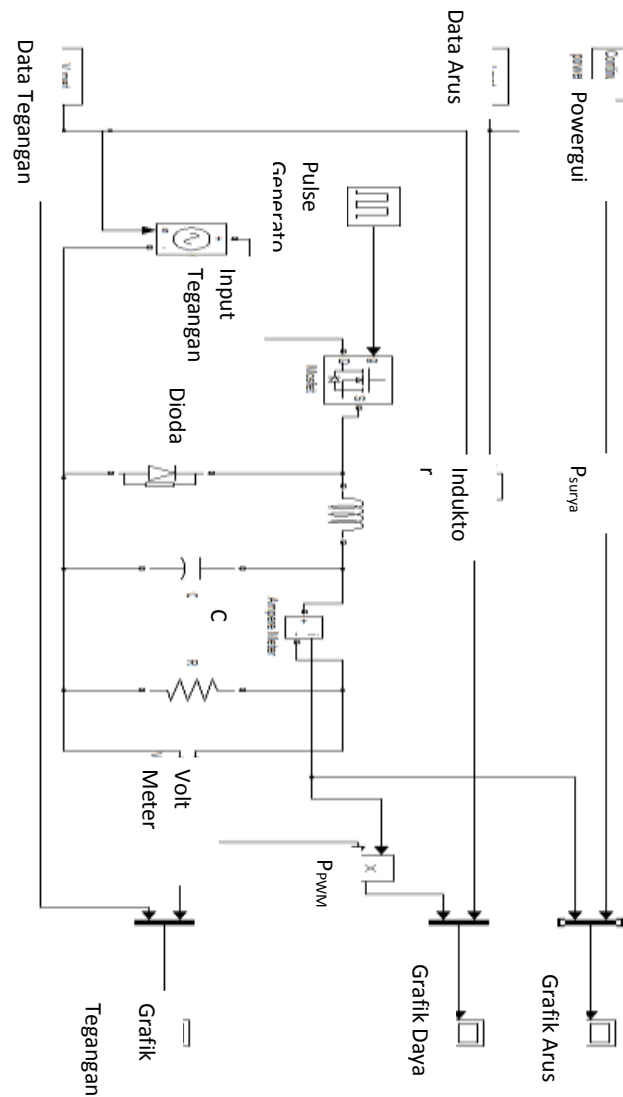
*Solar charger controller* (SSC) merupakan *device* elektronik yang digunakan untuk mengontrol arus listrik (*current regulator*) baik arus yang masuk dari sel surya ke baterai maupun ke beban keluaran. Selain itu SCC juga bekerja untuk menjaga baterai dari kelebihan pengisian muatan sehingga baterai menjadi lebih awet.

Pengujian dilakukan dengan metode simulasi menggunakan aplikasi simulink MATLAB dengan data tegangan dan arus dari sel surya yang dapat dilihat pada Lampiran 2 yang dilakukan pada tanggal 02 September 2018 pukul 13.00 – 14.28. Sel surya yang digunakan adalah tipe *polycrystalin silicon* dengan spesifikasi seperti pada Tabel 3.1 berjumlah 24 keping yang dirangkai seri dengan dimensi 208 mm × 156 mm. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan unjuk kerja antara dua tipe SSC yang sering digunakan dalam sistem PLTS yaitu tipe PWM dan tipe MPPT.

##### 4.1.1 *Solar Charge Controller Tipe PWM*

*Solar charge controller* tipe PWM merupakan pengontrol daya sel surya yang menggunakan teknologi modulasi lebar pulsa. Pengujian SCC ini memanfaatkan simulasi simulink MATLAB seperti yang terlihat digambar 4.1

-



**Gambar 4.1.** Simulasi simulink SCC tipe PWM.

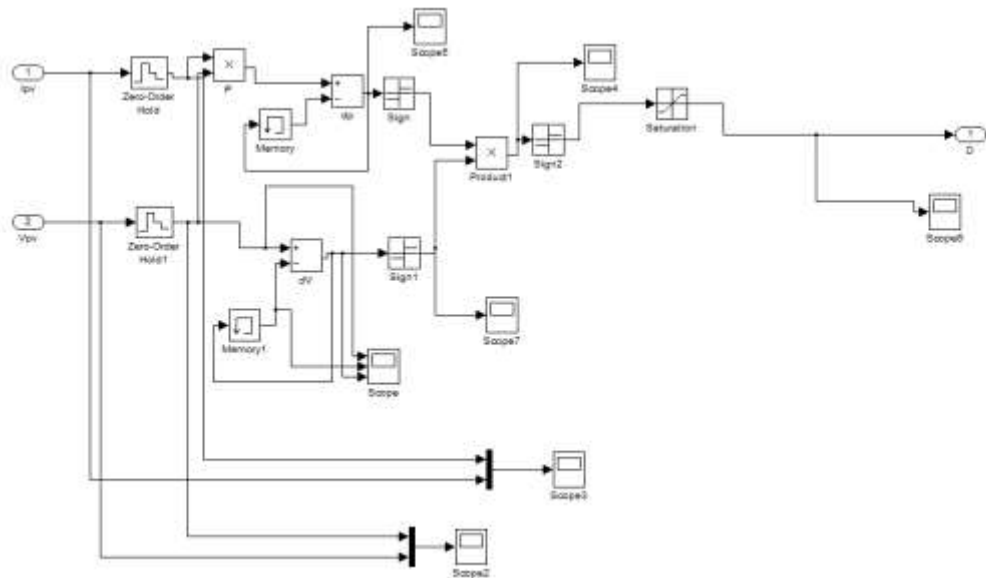
Pembangkit Sinyal PWM yang digunakan untuk simulasi adalah berupa tools pulse generator yang terdapat pada block simulink matlab. Kemudian masukan tersebut dikendalikan oleh mosfet yang melalui induktor dan sebagian akan diteruskan menuju ke kapasitor dan ke keluaran. Keluaran tersebut menghasilkan tegangan yang stabil dengan sedikit ripple. Begitupula untuk hasil keluaran yang lain yaitu berupa daya dan arus.

Pengujian simulink SCC tipe PWM didapatkan 3 grafik yang menunjukkan perbandingan daya sel surya ( $P_{sel}$ ) versus daya SCC PWM ( $P_{PWM}$ ), tegangan sel

surya ( $V_{sel}$ ) versus tegangan SCC tipe PWM ( $V_{PWM}$ ), dan arus sel surya ( $I_{sel}$ ) versus arus SCC tipe PWM ( $I_{PWM}$ )

#### 4.1.2 Solar Charge Controller Tipe MPPT

Tipe MPPT ini menggunakan algoritma *Perturb and Observation* seperti yang telah dibahas di BAB 3. Dibawah ini merupakan simulasi simulink dari algoritma yang telah dibangun.



**Gambar 4.2.** Simulink Algoritma MPPT tipe *Perturbe and Observation*.

MPPT digunakan untuk mencari titik daya maksimum (MPP). Algoritma yang digunakan adalah algoritma *Perturb and Observe Method*. Pada metode ini kontroler mengatur parameter tegangan secara perlahan lalu mengukur besarnya daya pada tegangan tersebut. Jika daya naik, maka tegangan akan terus ditambah parameternya sampai nilai daya tidak naik lagi dan juga tidak turun. Pada saat sistem dijalankan dalam kondisi mulai, blok *input* akan memberikan sinyal masukan berupa tegangan  $V(n)$  dan arus  $I(n)$  pada waktu tersebut. Dari kedua nilai tersebut maka di dapat nilai daya  $P(n)$ . Nilai tegangan dan daya pada sel surya disimpan dalam blok *memory*, kemudian nilai berikutnya pada nilai  $P(n+1)$  diukur lagi dan daya dihitung dari nilai yang diukur. Daya dan tegangan pada  $V(n+1)$  dikurangi dengan nilai dari  $V(n)$ . Jika kita mengamati kurva tegangan daya modul

sel surya kita melihat bahwa di kurva sisi kanan di mana tegangan hampir konstan kemiringan tegangan daya negatif ( $dP/dV < 0$ ) di mana seperti di sisi kiri kemiringan positif. ( $dP/dV > 0$ ). Kurva sisi kanan adalah untuk siklus kerja yang lebih rendah (lebih dekat ke nol) sedangkan kurva sisi kiri adalah untuk siklus kerja yang lebih tinggi (lebih dekat ke satu). Bergantung pada tanda  $dP$  ( $P(n+1) - P(n)$ ) dan  $dV$  ( $V(n+1) - V(n)$ ) setelah pengurangan algoritma memutuskan apakah akan meningkatkan siklus tugas atau untuk mengurangnya. Blok *sign* berfungsi untuk menjadikan sinyal menjadi bernilai satu apabila input lebih besar dari nol atau membuat sinyal menjadi nol saat input bernilai nol dan negatif satu saat sinyal input kurang dari nol, dalam hal ini dapat dimanfaatkan untuk membuat sinyal menjadi seperti *duty cycle*. Dengan menggunakan algoritma MPPT ini didapatkan grafik yang menunjukkan perbandingan daya sel surya ( $P_{sel}$ ) tegangan sel surya ( $V_{sel}$ ) dan arus sel surya ( $I_{sel}$ ) dengan daya SCC tipe MPPT ( $P_{MPPT}$ ), tegangan SCC tipe PWM ( $V_{MPPT}$ ) dan arus SCC tipe PWM ( $I_{MPPT}$ )

#### 4.1.3 Perbandingan Daya Tegangan dan Arus Pada Sel Surya, SCC Tipe PWM dan SCC Tipe MPPT

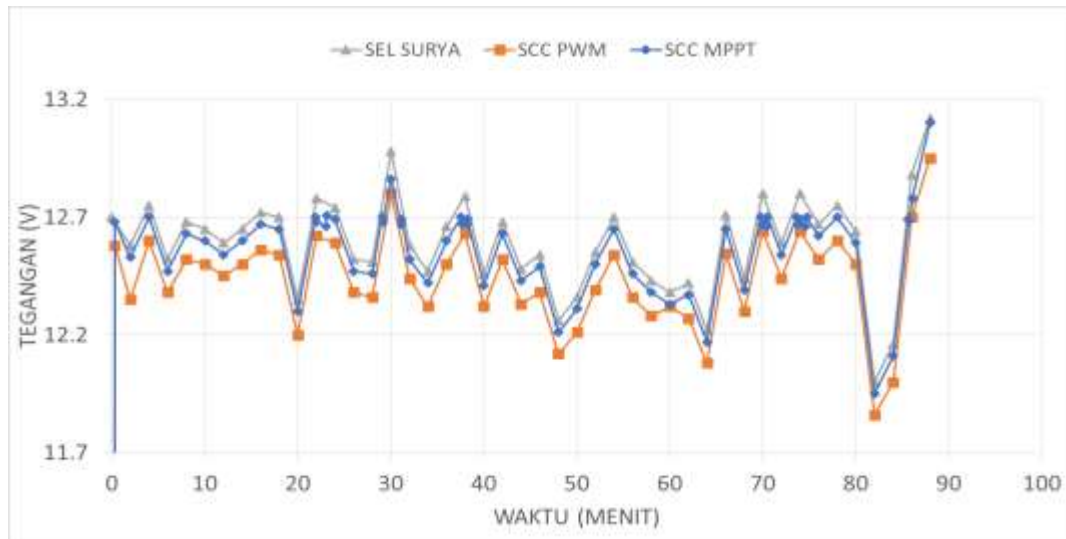
Berdasarkan pada penelitian yang telah dilakukan, terdapat perbedaan antara daya rata-rata, tegangan rata-rata, dan arus rata-rata pada SCC tipe PWM, dan SCC tipe MPPT yang dapat dilihat pada Tabel 4.1

**Tabel 4.1.** Perbedaan daya, tegangan, dan arus pada sel surya, SCC tipe PWM, dan SCC tipe MPPT

Controller	Daya (watt)	Tegangan (volt)	Arus (ampere)	Efisiensi
Sel surya (Input)	3,5064	12,58822	0,27844	-
PWM	6,04207	12,16596	0,486348	172%
MPPT	6,238015	12,39209	0,49551	177%

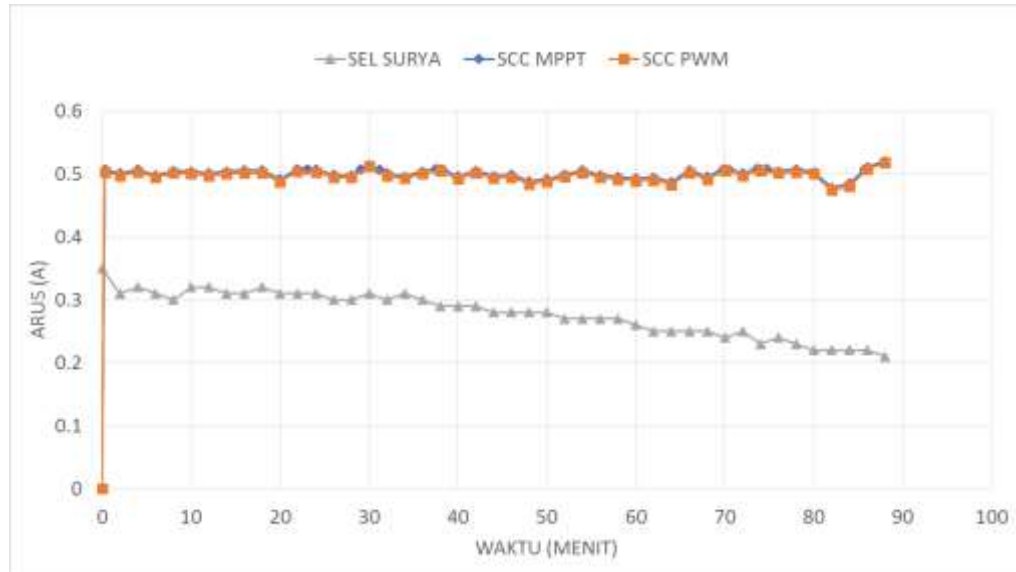
Tabel 4.1 menunjukkan data yang telah di ambil dari sel surya yang dirangkai

seri berukuran 208 x 156 mm berjumlah 24 keping. Tabel 4.1 menunjukkan baik daya, tegangan, maupun arus yang dihasilkan SCC tipe MPPT selalu lebih tinggi dibandingkan dengan sistem SCC tipe PWM. dapat dilihat pula efisiensi yang dihasilkan oleh SCC tipe MPPT lebih besar 5% dibanding SCC tipe PWM. Gambar 4.3 menunjukkan tegangan yang dihasilkan oleh kedua SCC dan tegangan dari sel surya.



**Gambar 4.3.** Grafik perbandingan tegangan pada sel surya, SCC tipe PWM dan SCC tipe MPPT.

Seperti yang terlihat pada Gambar 4.3 kondisi tegangan pada kedua kontroler lebih rendah dibandingkan dengan kedua tipe SCC hal ini dikarenakan SCC ini bekerja pada keadaan *buck converter*, dimana kondisi tegangan keluaran akan lebih rendah dibanding tegangan masukan untuk meningkatkan nilai arus sesuai dengan persamaan 2.2. hal ini didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh Sri (2017). Gambar 4.4 menunjukkan arus yang dihasilkan dari sel surya dan yang telah melewati SCC.



**Gambar 4.4.** Grafik perbandingan arus pada sel surya, SCC tipe PWM dan SCC tipe MPPT

Seperti yang terlihat pada Gambar 4.4 arus yang dihasilkan dari kedua tipe SCC adalah sekitar 0,5 ampere meningkat 90 – 110% dari arus yang dihasilkan oleh sel surya. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Miguel ( 2019) keadaan ini SCC bekerja dalam keadaan *bulk* dimana arus yang dihasilkan oleh SCC adalah maksimal untuk pengisian baterai dalam keadaan kosong sampai 80%, dan selanjutnya akan masuk pada kondisi *absorption* saat lebih dari 80% baterai terisi, namun karena pada penelitian ini tidak menggunakan baterai dalam simulasinya maka SCC hanya bekerja pada kondisi *bulk* dimana arus yang dihasilkan selalu maksimal.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Ashita (2019) yang membahas simulasi dan perbandingan dari SCC disebutkan bahwa SCC tipe PWM memiliki kecenderungan penurunan efisiensi jika kapasitas tegangan baterai jauh lebih rendah dari panel surya, hal ini dikarenakan arus yang dihantarkan oleh SCC tipe PWM bernilai tetap sedangkan tegangan yang dihantarkan akan menyesuaikan tegangan baterai. Ashita juga disebutkan SCC tipe MPPT yang menggunakan algoritma P&O bekerja pada kondisi *buck converter* sehingga tegangan yang dihasilkan lebih rendah dari sel surya dan arus yang lebih tinggi menghasilkan daya keluaran ke baterai selalu hampir mendekati daya yang dihasilkan oleh sel surya

walaupun dalam kondisi pencahayaan dan suhu yang berubah-ubah.

Penelitian lain yang dilakukan oleh Machmud (2017) menunjukkan bahwa SCC tipe MPPT berbasis algoritma P&O mampu meningkatkan efisiensi daya sel surya sebesar 86% dan untuk P&O-fuzzy sebesar 89% dengan kondisi pengujian dilakukan pada pukul 12.00 WIB saat matahari tidak terhalang oleh awan. Penelitian yang dilakukan oleh Ashita memiliki hasil yang sama dengan penelitian yang telah saya lakukan dengan hasil SCC tipe MPPT lebih unggul dari SCC tipe PWM, sedangkan perbedaan besarnya efisiensi yang didapatkan dari penelitian yang dilakukan oleh Machmud dengan penelitian yang telah saya lakukan kemungkinan terjadi karena penggunaan persamaan yang berbeda. Sayangnya pada penelitian yang dilakukan oleh Machmud tidak disebutkan seperti apa persamaan yang digunakan.

## **BAB 5**

### **SIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Simpulan**

Simpulan dari hasil analisis dan pembahasan ini adalah:

1. Keluaran yang dihasilkan oleh SCC tipe MPPT adalah daya rata-rata sebesar 6,238015 watt, tegangan rata-rata sebesar 12,39209 volt, dan arus rata-rata sebesar 0,49551 ampere, sedangkan yang dihasilkan oleh SCC tipe PWM adalah daya rata-rata sebesar 6,04207 watt, tegangan rata-rata sebesar 12,16596 volt, dan arus rata-rata sebesar 0,486348 ampere
2. Nilai efisiensi rata-rata dari SCC tipe PWM yaitu sebesar 172 % sedangkan nilai efisiensi rata-rata dari SCC tipe MPPT yaitu sebesar 177 %.
3. Pengontrol yang lebih baik digunakan untuk sel surya adalah pengontrol tipe MPPT karena memiliki keunggulan berupa nilai daya 0,07 watt, tegangan 0,09 volt, dan arus 9,2 miliampere yang lebih tinggi dari pengontrol tipe PWM sehingga pengontrol tipe MPPT lebih baik digunakan atau di aplikasikan dalam sistem pembangkit listrik tenaga surya.

#### **5.2 Saran**

Dalam membuat simulasi SCC baiknya menggunakan data input sel surya yang juga didapatkan dari hasil simulasi agar tipe datanya sejenis sehingga hasil simulasi menjadi lebih akurat.



## DAFTAR PUSTAKA

- Abdul-Adheem, W. 2012. Designing And Simulating Of Micro-controller Based on PWM Solar Charge Controller. *Journal of Al-Ma'moon*,19-E, 104-115
- Alsadi, S., Alsaid, B. 2012. Maximum Power Point Tracking Simulation for Photovoltaic Systems Using Perturb and Observe Algorithm. *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*,2(6), 80-85
- Aprian, F. 2010. Perancangan Stand Alone PV System dengan Maximum Power Point Tracker (MPPT) Menggunakan Metode Modified Hill Climbing. *Proceeding Seminar Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro*. Surabaya: ITS.
- Aryza, S., Hermansyah., Siahaan, A.P.U., Lubis, Z. 2017. Implementasi Energi Surya Sebagai Suplai Pengereng Pupuk Petani Portabel. *IT Journal Research and Development*. 2(1), 12-18
- Baihaqi, M.A., Prasetyo, A., Usman, M.A., Prasetya, B.D., Anggraini, R. (n.d) *Teori Semikonduktor (Semikonduktor Intrinsik, Tipe P & Tipe N)*. Banten: Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
- Cheikh, M.S.A., Larbes, C., Kebir, G.F.T., dan Zerguerras, A. 2007. Maximum Power Point Tracking Using a Fuzzy Logic Control Scheme. *Revue des Energies Renouvelables*, 10(3), 387-395.

Dincer, I. 2000. Renewable energy and sustainable development: a crucial review.  
*Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 4(2), 157–175.

- Dwidayanti, R., Gusmedi, H., dan Ratna S, S. 2017. Optimasi Pengisian Daya Baterai pada Panel Surya Menggunakan Maximum Power Point Tracking (MPPT). *Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, 11(1), 21-31.
- Effendy, M., Mardiyah, N.A. and Hidayat, K., 2017. Implementasi Maximum Power Point Tracking pada Photovoltaic Berbasis P&O-Fuzzy. *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi (JNTETI)*, 6(1), 115-120.
- ESDM. 2011. Solar Cell, Sumber Energi Terbarukan Masa Depan. Dapat diakses: <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/solar-cell-sumber-energi-terbarukan-masa-depan>. Diakses pada: 31 Januari 2020
- ESDM. 2016. *Jurnal Energi Media Komunikasi Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral*. Jakarta: ESDM.
- Esrn, T., dan Chapman, P.L. 2007. Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques. *IEEE Transaction on Energy Conversion*, 22(2), 439-449.
- Grätzel, M. 2001. Photoelectrochemical Cells. *Nature*, 414(1), 338-344.
- Hart, D.W. 2010. *Introduction to Power Electronics*. New York: McGraw-Hill.
- Jackson, P., Hariskos D., Lotter, E., Paetel, S., Wuerz, R., Menner, R., Wischmann, W., dan Powalla, M. 2011. New World Record Efficiency for Cu(In,Ga)

Se<sub>2</sub> Thin-film Solar Cells Beyond. *Progress in Photovoltaic: Research and Applications*, 19(5), 894-897.

Kim, J., Hiroi, H., Todorov, T.K., Gunawan, O., Kuwahara, M., Gokmen, T., nair, D., Hopstaken, M., Shin, B., Lee, Y.S., Wang, W., Sugimoto, H., dan Mitzi, D.B. 2014. High Efficiency Cu<sub>2</sub>ZnSn(S,Se)<sub>4</sub> Solar Cells by Applying a Double In<sub>2</sub>S<sub>3</sub>/CdS Emitter. *Advanced Materials*. New York: IBM T.J. Watson Research Center.

Laguado-Serrano, M.A., Luna-Paipa, E.A., Bustos-marquez, L.F., Sepulveda-Mora, S.S. 2019. Performance comparison between PWM and MPPT Charge Controllers. *Scientia et Technica*, 24(1), 6-11.

Li, B., Wang, L., Kang, B., Wang, P., dan Qiu, Y. 2006. Review of Recent Progress in Solid-state Dye-sensitized Solar Cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 90(4), 549-573.

Lin, H., Xia, W., Wu, H.N., dan Tang, C.W. 2010. Cd/CdTe Solar Cells with MoO<sub>x</sub> as Back Contact Buffer. *Applied Physics Letters*, 97(04), 1-3.

Minami, T., Nishi, Y., dan Miyata, T. 2013. High-efficiency Cu<sub>2</sub>O-based Heterojunction Solar Cells Fabricated Using a Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Thin Film as N-Type Layer. *Applied Physics Express*, 6(01), 1-4.

Moring, S., dan Pols, A. 2012. Maximum Power Point Tracking: Algorithm and Software Development. *Thesis*. Delft: Faculty of EEMCS Delft University of Technology.

- Pebriningtyas, K.M., Musyafa, A., Indriawati, K. 2013. Penelusuran Daya Maksimum pada Panel *Photovoltaic* Menggunakan Kontrol Logika Fuzzy di Kota Surabaya. *Jurnal Teknik Pomits*, 2(1), 135-140.
- Saputri, L.N.M.Z., Aini, F.N., dan Hasanah, Y.I.F. 2015. *SSC (Smart Solar Cells)* Efisiensi Tinggi pada *Solid-state Dye-sensitized Solar Cells (SSDSSC)* Berbasis Polimer *poly(3-hexylthiophene)* (P3HT) sebagai *Hole Transport Materials (HTMs)* dan *Dye*. *Program Kegiatan Mahasiswa*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Singh, A.K., Agrawal, A.K., Vohra, S., Thakur, S.S., dan Patel, G. 2017. Solar Charge Controller. *International Journal of Academic research and Development*, 2(6), 994-1001.
- Sirait, S., Saptomo, S.K., Purwanto, M.Y.J. 2015. Rancang Bangun Sistem Otomatisasi Irigasi Pipa Lahan Sawah Berbasis Tenaga Surya. *Jurnal Irigasi*, 10(1), 21-32.
- Surjono, H.D. 2011. *Elektronika: Teori dan Penerapan*. Jember: Cerdas Ulet Kreatif
- Utami, S. 2017. Implementasi Algoritma *Perturbe and Observe* Untuk Mengoptimalkan Daya Keluaran *Solar Cell* Menggunakan MPPT. *Jurnal Infotel*, 9(1), 92-99.
- Victor, A., Mahato, D.K., Pundir, A. and Saxena, G.J., 2019. Design, Simulation and Comparative Analysis of Different Types of Solar Charge Controllers for Optimized Efficiency. *2019 Women Institute of Technology Conference on Electrical and Computer Engineering (WITCON ECE)*. IEEE.

West, K. 2003. Solar Cell Beyond Silicon. *Proceedings Energy Technologies for Post Kyoto Targets in the Medium Term*. Leif S nderberg Petersen dan Hans Larsen (eds.). Roskilde: Riso National Laboratory.

Widodo, R.T., Rugianto., Asmuniv., dan Sejati, P. 2011. Maximum Power Point Tracker Sel Surya Menggunakan Algoritma Perturb And Observe. *Industrial Electronic Seminar*. Surabaya: ITS.

Xiao, W., Dunford, W.G., dan Palmer, P.R. 2007. Regulation of Photovoltaic Voltage. *IEEE Transaction on Industrial Electronics*, 54(3), 1365-1374.

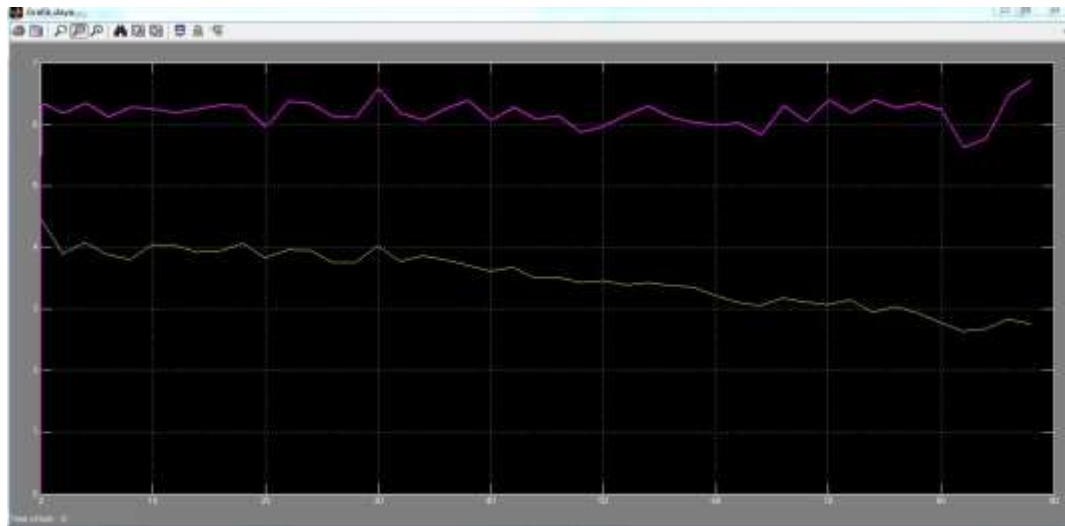
Yu, P.Y., dan Cordana, M. 1995. *Fundamentals of Semiconductors*. New York: Springer

## LAMPIRAN

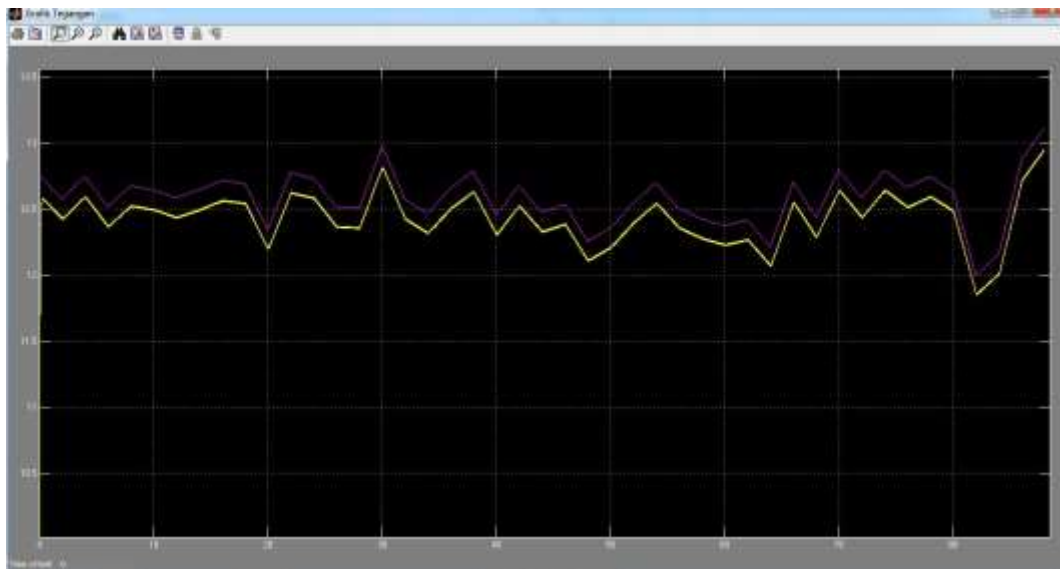
### Lampiran 1. Hasil Simulasi SCC Tipe PWM dan Tipe MPPT dengan MATLAB

#### 1.1 Grafik Keluaran SCC Tipe PWM

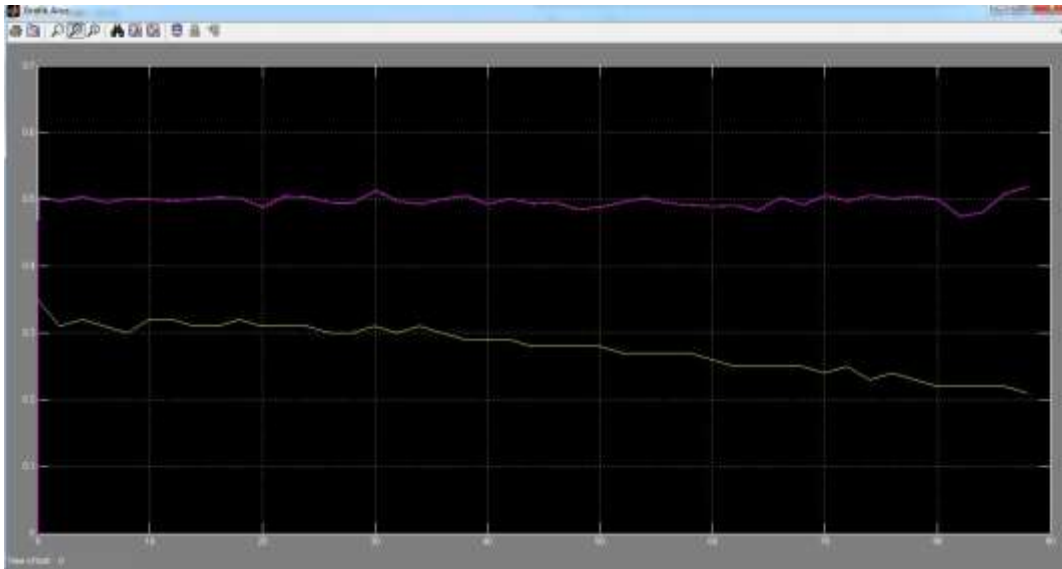
Daya



Tegangan

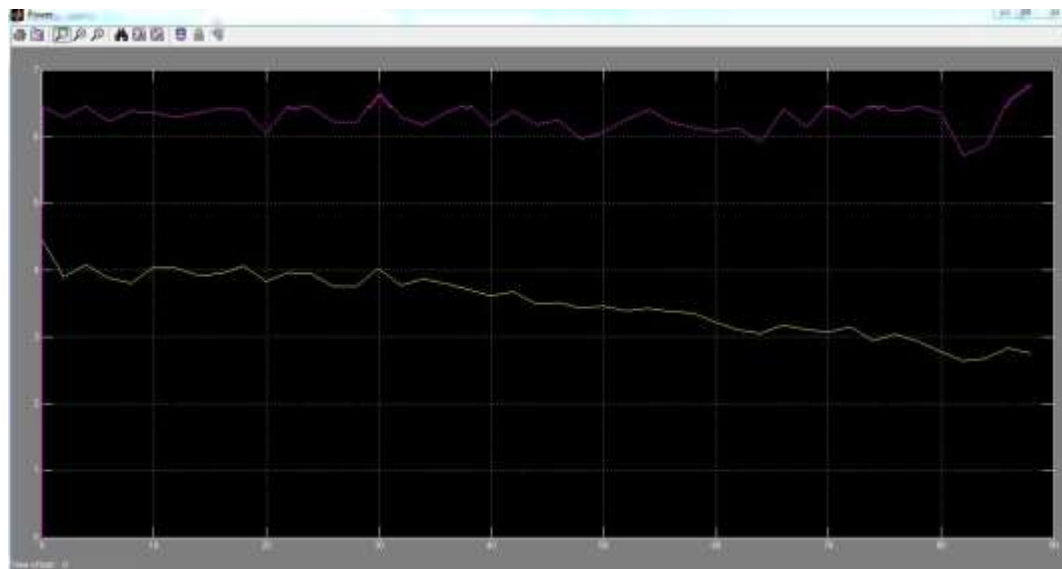


Arus



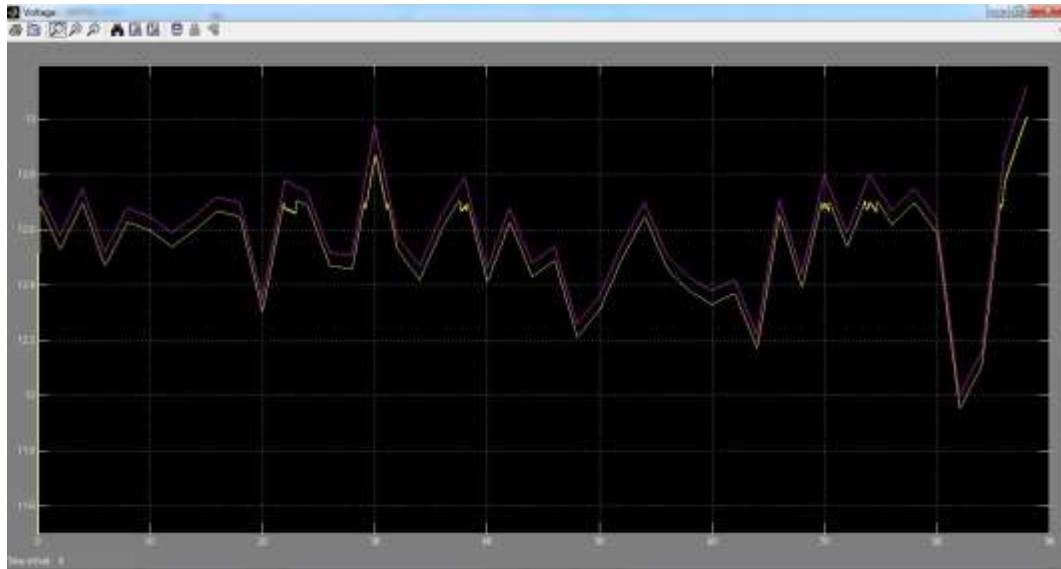
## 1.2 Grafik Keluaran SCC Tipe MPPT

Daya

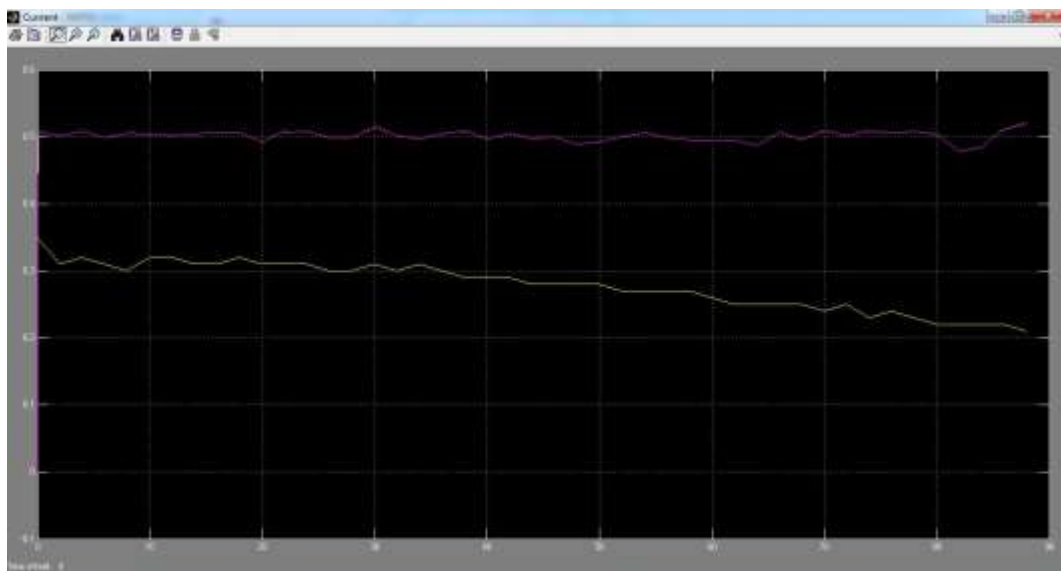




## Tegangan



## Arus



**Lampiran 2. Tabel data daya hasil *running* program**

MPPT		PWM		Sel Surya	
Waktu (s)	Daya (W)	Waktu (s)	Daya (W)	Waktu (s)	Daya (W)
0	0	0	0	0	4.466
0.3	6.43	0.1	5.93		
		0.26	6.32		
2	6.28	2.05	6.18	2	3.9
4	6.45	4.02	6.34	4	4.08
6	6.22	6.05	6.13	6	3.88
8	6.38	8.05	6.28	8	3.805
10	6.35			10	4.048
12	6.28	12.02	6.19	12	4.029
14	6.35			14	3.92
16	6.42	16.03	6.32	16	3.943
18	6.4	18.03	6.32	18	4.064
20	6.05	20.03	5.96	20	3.829
21.9	6.45				
22	6.43	22.1	6.38	22	3.96
23	6.41				
23.1	6.46				
24	6.44	24.2	6.34	24	3.95
26	6.2	26.5	6.12	26	3.756
28	6.2	28.01	6.116	28	3.756
29.06	6.45				

29.15	6.43				
30.04	6.62	30.03	6.576	30	4.024
31.1	6.42				
31.15	6.45				
32	6.28	32.02	6.19	32	3.774
34	6.17	34.02	6.08	34	3.866
36	6.35			36	3.798
37.55	6.45				
37.7	6.42				
38.02	6.43				
38.18	6.42				
38.25	6.45	38.2	6.39	38	3.71
40	6.16	40.03	6.07	40	3.6135
42	6.38	42.03	6.28	42	3.677
44	6.18	44.01	6.09	44	3.495
46	6.24	46.02	6.145	46	3.515
48	5.965	48.01	5.875	48	3.433
50	6.06	50.02	5.96	50	3.461
52	6.25			52	3.3885
54	6.4	54.03	6.3	54	3.429
56	6.2	56.1	6.12	56	3.378
58	6.12	58	6.13	58	3.356
60	6.08	60.01	5.99	60	3.217
62	6.1	62.1	6.027	62	3.105

64	5.9	64.01	5.84	64	3.055
66	6.44	66.04	6.3	66	3.176
68	6.15	68.02	6.05	68	3.11
69	6.45	70.02	6.39		
69.77	6.455				
69.88	6.43				
70.06	6.44				
70.38	6.41				
70.46	6.45			70	3.073
72	6.29	72.02	6.2	72	3.147
73.62	6.45				
73.74	6.42				
74.06	6.45				
74.6	6.42				
74.6	6.455	74.2	6.4	74	2.944
76	6.37	76.02	6.275	76	3.041
78	6.45	78.02	6.35	78	2.933
80	6.34	80.02	6.245	80	2.78
82	5.7	82.05	5.63	82	2.64
84	5.86	84.04	5.78	84	2.675
85.65	6.45				
85.72	6.43				
86.1	6.53	86.05	6.48	86	2.833
88	6.77	88	6.72	88	2.755

<b>Rata-rata</b>	<b>6.238015</b>		<b>6.04207</b>		<b>3.5064</b>
------------------	-----------------	--	----------------	--	---------------

**Lampiran 3. Tabel data tegangan hasil *running* program**

<b>MPPT</b>		<b>PWM</b>		<b>Sel Surya</b>	
<b>Waktu (s)</b>	<b>Tegangan (V)</b>	<b>Waktu (s)</b>	<b>Tegangan (V)</b>	<b>Waktu (s)</b>	<b>Tegangan (V)</b>
0	0	0	0	0	12.7
0.3	12.68	0.3	12.58		
2	12.53	2	12.35	2	12.58
4	12.7	4	12.6	4	12.75

6	12.47	6	12.38	6	12.52
8	12.63	8	12.52	8	12.68
10	12.6	10	12.5	10	12.65
12	12.54	12	12.45	12	12.59
14	12.6	14	12.5	14	12.65
16	12.67	16	12.56	16	12.72
18	12.65	18	12.54	18	12.7
20	12.3	20	12.2	20	12.35
21.9	12.7				
22	12.68	22	12.62	22	12.78
23	12.66				
23.1	12.705				
24	12.69	24	12.59	24	12.74
26	12.47	26	12.38	26	12.52
28	12.46	28	12.36	28	12.51
29.06	12.7				
29.16	12.68				
30	12.86	30	12.8	30	12.98
31.1	12.67				
31.16	12.69				
32	12.52	32	12.44	32	12.58
34	12.42	34	12.32	34	12.47
36	12.6	36	12.5	36	12.66
37.55	12.7				

37.7	12.67				
38.03	12.68				
38.18	12.67				
38.25	12.69	38	12.63	38	12.79
40	12.41	40	12.32	40	12.46
42	12.63	42	12.52	42	12.68
44	12.43	44	12.33	44	12.48
46	12.49	46	12.38	46	12.54
48	12.21	48	12.12	48	12.26
50	12.31	50	12.21	50	12.36
52	12.5	52	12.39	52	12.55
54	12.65	54	12.54	54	12.7
56	12.46	56	12.36	56	12.51
58	12.38	58	12.28	58	12.43
60	12.33	60	12.32	60	12.38
62	12.37	62	12.27	62	12.42
64	12.17	64	12.08	64	12.22
66	12.65	66	12.544	66	12.71
68	12.39	68	12.3	68	12.44
69.78	12.7				
69.88	12.67				
70.04	12.69				
70.38	12.66				
70.5	12.7	70	12.64	70	12.8

72	12.54	72	12.44	72	12.59
73.62	12.7				
73.75	12.67				
74.05	12.69				
74.6	12.66				
74.72	12.7	74	12.64	74	12.8
76	12.62	76	12.52	76	12.67
78	12.7	78	12.6	78	12.75
80	12.59	80	12.5	80	12.64
82	11.95	82	11.86	82	12
84	12.11	84	12	84	12.16
85.66	12.69				
85.74	12.685				
86.1	12.78	86	12.7	86	12.88
88	13.1	88	12.95	88	13.12
<b>Rata-rata</b>	<b>12.39209</b>		<b>12.16596</b>		<b>12.58822</b>



**Lampiran 4. Tabel data arus hasil *running* program**

MPPT		PWM		Sel Surya	
Waktu (s)	Arus (A)	Waktu (s)	Arus (A)	Waktu (s)	Arus (A)
0	0	0	0	0	0.35
0.3	0.507	0.3	0.503		
2	0.501	2	0.497	2	0.31
4	0.507	4	0.503	4	0.32
6	0.498	6	0.495	6	0.31
8	0.505	8	0.501	8	0.3
10	0.504	10	0.5	10	0.32
12	0.501	12	0.497	12	0.32
14	0.504	14	0.5	14	0.31
16	0.506	16	0.502	16	0.31
18	0.506	18	0.501	18	0.32
20	0.492	20	0.488	20	0.31
21.9	0.508				

22	0.507	22	0.504	22	0.31
23	0.506				
23.12	0.508				
24	0.5076	24	0.503	24	0.31
26	0.499	26	0.494	26	0.3
28	0.498	28	0.495	28	0.3
29.06	0.508				
29.14	0.507				
30.04	0.514	30	0.512	30	0.31
31.1	0.506			32	0.3
31.16	0.5079				
32	0.5015	32	0.497		
34	0.496	34	0.493	34	0.31
36	0.5043	36	0.5	36	0.3
37.54	0.5083				
37.7	0.506				
38.02	0.5074				
38.18	0.506				
38.25	0.5079	38	0.505	38	0.29
40	0.4965	40	0.492	40	0.29
42	0.5051	42	0.501	42	0.29
44	0.4972	44	0.493	44	0.28
46	0.4996	46	0.495	46	0.28
48	0.4884	48	0.484	48	0.28

50	0.4924	50	0.488	50	0.28
52	0.499	52	0.496	52	0.27
54	0.506	54	0.502	54	0.27
56	0.4984	56	0.494	56	0.27
58	0.4952	58	0.491	58	0.27
60	0.4932	60	0.489	60	0.26
62	0.4948	62	0.49	62	0.25
64	0.487	64	0.483	64	0.25
66	0.5063	66	0.502	66	0.25
68	0.4956	68	0.491	68	0.25
69.78	0.508				
69.86	0.5072				
70.04	0.5078				
70.38	0.5067				
70.47	0.508	70	0.505	70	0.24
72	0.5017	72	0.497	72	0.25
73.61	0.5082				
73.74	0.507				
74.06	0.5079				
74.6	0.5066				
74.72	0.5081	74	0.505	74	0.23
76	0.504	76	0.501	76	0.24
78	0.508	78	0.503	78	0.23
80	0.503	80	0.5	80	0.22

82	0.4782	82	0.474	82	0.22
84	0.485	84	0.48	84	0.22
85.67	0.5074				
85.73	0.5078				
86.1	0.5112	86	0.508	86	0.22
88	0.5205	88	0.518	88	0.21
<b>Rata-rata</b>	<b>0.495551</b>		<b>0.486348</b>		<b>0.278444</b>

### Lampiran 5. Dokumentasi pengambilan data



a. Pengukuran suhu sel surya

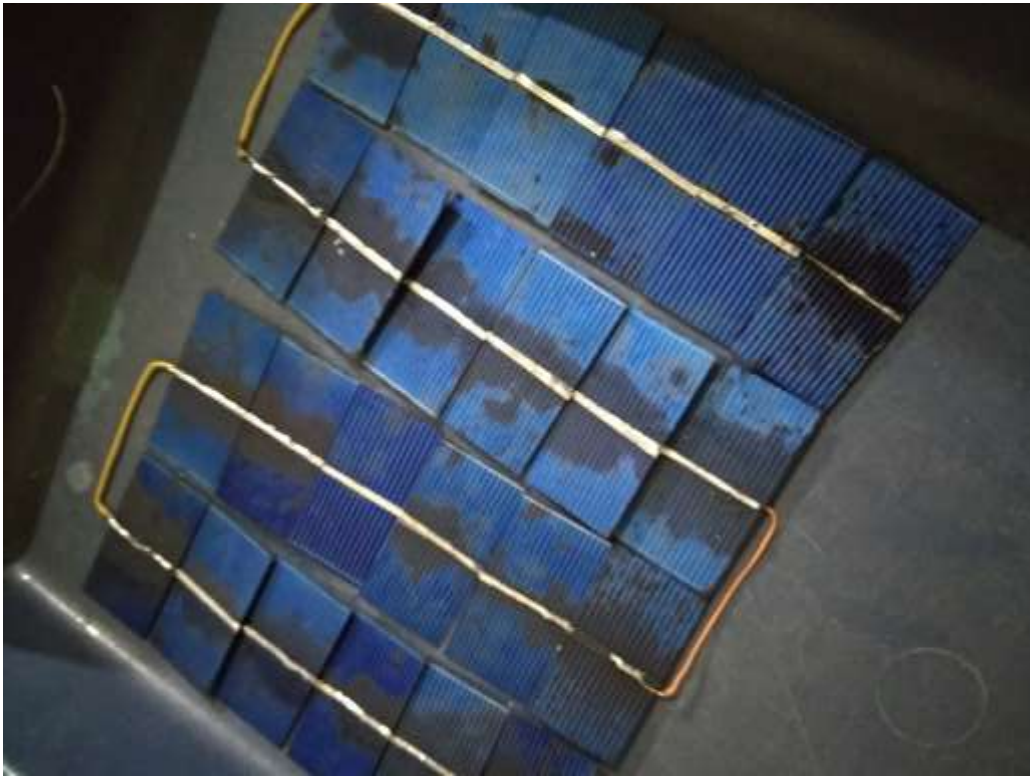


b. Suhu sel surya yang terukur



c. Pengukuran tegangan dan arus yang dihasilkan sel surya

## Lampiran 6. Rangkaian sel surya



- a. Penampakan rangkaian sel surya yang akan di uji dan di ambil datanya