

**ALGORITMA PENJEJAK TITIK DAYA MAKSIMUM
BERBASIS MIKROKONTROLER**
*A MAXIMUM POWER POINT TRACKING ALGORITHM
BASED MICROCONTROLLER*

Tino Suhaebri



**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2019



**ALGORITMA PENJEJAK TITIK DAYA MAKSIMUM BERBASIS
MIKROKONTROLER**

Tesis

Sebagai salah satu syarat mencapai gelar Magister

Program Studi

Teknik Elektro

Disusun dan diajukan oleh :

TINO SUHAEBRI

kepada

**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2019



TESIS

**ALGORITMA PENJEJAK TITIK DAYA MAKSIMUM
BERBASIS MIKROKONTROLER**

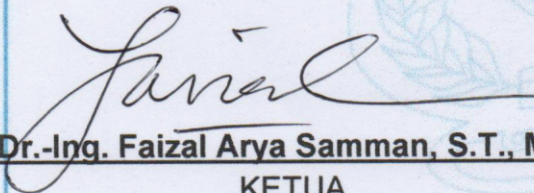
Disusun dan diajukan oleh:

TINO SUHAEBRI

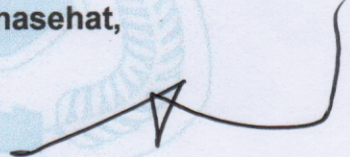
Nomor Pokok P2700216036

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis
pada tanggal 2 Januari 2019
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

**Menyetujui
Komisi Penasehat,**


Dr.-Ing. Faizal Arya Samman, S.T., M.T.

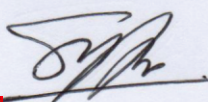
KETUA


Prof. Dr. Ir. Andani Achmad, M.T.

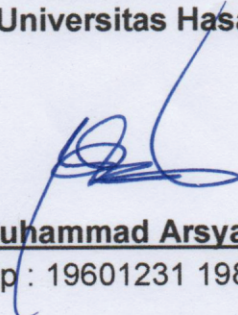
SEKRETARIS

**Ketua Program Studi
Teknik Elektro
Program Pascasarjana**

**Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin**


Syafaruddin, S.T., M.Eng.

40530 199903 1 003


Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, M.T.

Nip : 19601231 198609 1 001



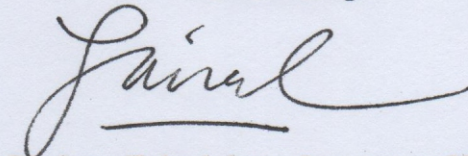
HALAMAN PERSETUJUAN TESIS

Judul Lama : Algoritma Penjejak Titik Daya Maksimum berbasis Mikrokontroler/FPGA
Menjadi:
Judul Baru : Algoritma Penjejak Titik Daya Maksimum berbasis Mikrokontroler
Nama : Tino Suhaebri
NIM : P2700216036
Program Studi : Teknik Komputer, Kendali dan Elektronika

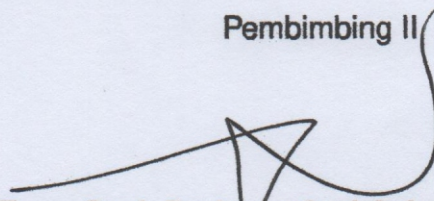
Laporan Tesis ini telah diperiksa dan disetujui,
26 Desember 2018

Pembimbing I

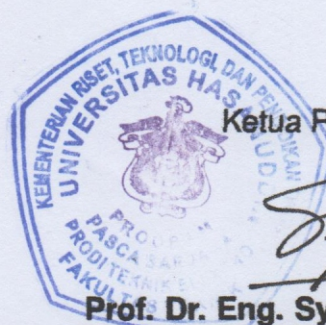
Pembimbing II



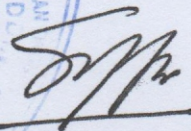
Dr.-Ing. Faizal Arya Samman, ST., MT.



Prof. Dr. Ir. Andani Achmad, MT.



Ketua Program Studi



Prof. Dr. Eng. Syafaruddin, ST., M.Eng



PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Tino Suhaebri
NIM : P2700216036
Program Studi : Teknik Komputer, Kendali dan Elektronika

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 2 Februari 2019

Yang Menyatakan,

Tino Suhaebri



PEDOMAN PENGGUNAAN TESIS

Tesis S2 yang tidak dipublikasikan terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Universitas Hasanuddin, dan terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada pengarang dengan mengikuti aturan HaKI (Hak Kekayaan Intelektual) yang berlaku di Universitas Hasanuddin.

Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau peringkasan hanya dapat dilakukan seizin pengarang dan harus disertai dengan kebiasaan ilmiah untuk menyebutkan sumbernya.

Memperbanyak atau menerbitkan sebagian atau seluruh tesis haruslah seizin Direktur Program Pascasarjana, Universitas Hasanuddin.



PANITIA PENILAI SEMINAR USUL, HASIL, DAN UJIAN AKHIR

1. Dr.-Ing. Faizal Arya Samman, S.T., M.T.
(Ketua)
2. Prof. Dr. Ir. Andani Achmad, M.T.
(Sekretaris)
3. Amil Ahmad Ilham, S.T.,M.IT., Ph.D.
(Anggota)
4. Muhammad Niswar, S.T. M.IT., Ph.D.
(Anggota)
5. Dr. Yusran, S.T., M.T.
(Anggota)



PRAKATA

Bismillahirrahmanirrahim

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur senantiasa penulis panjatkan kehadiran Allah Subhanahu Wa Ta'ala, atas rahmat dan hidayah-Nya selama ini serta shalawat atas junjungan Nabi besar Muhammad Sallallahu Alaihi Wasallam sebagai suri teladan yang baik sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis yang berjudul "Algoritma Penjejak Titik Daya Maksimum berbasis Mikrokontroler".

Penulis menyusun Tesis ini dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan untuk menyelesaikan Program Strata-2 Jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar.

Sebagai manusia biasa, penulis sadari bahwa Tesis ini masih terdapat kekeliruan dan memerlukan perbaikan, hal ini karena keterbatasan ilmu dan kemampuan yang dimiliki penulis, sehingga diharapkan masukan dan saran dari berbagai pihak yang sifatnya membangun demi penyempurnaan Tesis ini.

Penulis menyadari bahwa selama proses penyusunan Proposal Tugas Akhir ini banyak pihak yang terlibat dan berperan, karena itu penulis ingin menyampaikan rasa hormat dan ucapan terima kasih yang setinggi-tingginya kepada :

1. Kedua orang tua kami tercinta yang senantiasa merestui, mendoakan dan mendukung kami dalam penyelesaian Tesis ini.
2. Bapak Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, M.T. selaku Dekan Fakultas

Teknik Universitas Hasanuddin

Bapak Prof. Dr.Eng. Syafaruddin, S.T.,M.Eng. selaku ketua program Studi Teknik Elektro Pascasarjana Universitas Hasanuddin.



4. Bapak Dr.-Ing. Faizal Arya Samman, S.T., M.T. selaku Pembimbing I penulis.
5. Bapak Prof. Dr. Ir. Andani Achmad, M.T. selaku Pembimbing II penulis.
6. Bapak Amil Ahmad Ilham, S.T.,M.IT., Ph.D., Muhammad Niswar, S.T. M.IT., Ph.D., dan Dr. Yusran, S.T., M.T. selaku Tim Penilai.
7. Kawan seperjuangan TKKE 2016, Zainal, Imran, Aksan, Rusdi, Vincent, Rezky, Nareth.
8. Segenap Staf dan Pegawai Jurusan Teknik Elektro dan fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Gowa.
9. Tim mikro4U_Creative dan m4KER, Asma, July, Jamal, Tito, Cippe, Andika, Ardi, Basri yang greget.
10. Seluruh pihak yang telah membantu penulis baik secara langsung maupun tidak langsung.

Semoga Tesis ini dapat memberikan manfaat dan menjadi referensi dalam penelitian, pendidikan, pengabdian dan pengembangan ilmu pengetahuan kedepannya, guna membina generasi muda yang berkualitas dan memiliki daya saing.

Akhir kata, semoga kita senantiasa dalam perlindungan dan pertolongan Allah Subhanahu Wa Ta'ala.

Barakallahu fiik wa Yassarallahu Umuurakum.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Makassar, 2 Januari 2019

Penulis



ABSTRAK

Tino Suhaebri. Algoritma Penjejak Titik Daya Maksimum berbasis Mikrokontroler (dibimbing oleh Faizal Arya Samman dan Andani Achmad)

Penelitian ini merancang sebuah sistem penjejak titik daya maksimum menggunakan rangkaian pengubah DC ke DC tipe SEPIC dan rangkaian kendali memanfaatkan mikrokontroler dengan modifikasi algoritma P&O. Kekurangan pada algoritma P&O klasik adalah terdapat kondisi dimana pelacakan terjebak pada titik daya maksimum lokal. Karena itu penelitian ini menggunakan modifikasi algoritma P&O yang dinamakan algoritma DWS yang dapat mengatasi kondisi lokal maksima. Parameter DC ke DC converter disimulasikan menggunakan pSpice dan mendapatkan hasil berupa frekuensi kerja rangkaian 500Hz, tegangan kerja 0.8-53 V, dan penguatan terbesar adalah 2.35 kali penguatan. Pengujian perangkat keras yang dirancang dilakukan dengan tiga scenario pengujian partial shading. Hasil yang didapatkan adalah luaran mencapai 44.64 V pada duty-cycle 75 % dengan efisiensi 87,36 %. Pengujian parameter algoritma DWS menghasilkan waktu pencapaian yang berbeda dengan jumlah tahap pelacakan terbesar yaitu 32 tahap.

Kata Kunci: MPPT, Konverter DC ke DC, SEPIC, DWS, Mikrokontroler.



ABSTRACT

Tino Suhaebri. A Maximum Power Point Tracking Algorithm based Micro-controller (guided by **Faizal Arya Samman** dan **Andani Achmad**)

This research designed a maximum power point tracking system using a SEPIC type DC/DC converter circuit and a control circuit based a microcontroller with the modification of the P&O algorithm. The problem of classic P&O algorithm is a tracking process can trapped at the local maximum power point. Therefore this research uses a modification of the P&O algorithm called the DWS algorithm which can overcome the local maxima conditions. DC to DC converter parameters are simulated using pSpice and get results 500 Hz of circuit working frequency, a working voltage is 0.8-53V, and the largest gain is 2.35 times. The hardware testing with three partial shading scenarios. The results show that output reaching 44.64 V at 75 % duty-cycle with an efficiency of 87.36 %. Testing the parameters of the DWS algorithm produces different achievement times with the largest number of tracking stages, namely 32 stages.

Keywords: MPPT, DC/DC Converter, SEPIC, DWS, Microcontroller



DAFTAR ISI

PRAKATA	viii
ABSTRAK	x
ABSTRACT	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Deskripsi Masalah	3
C. Tujuan Penelitian	4
D. Batasan Masalah	4
E. Manfaat Penelitian	4
F. Struktur Penulisan	5
II TINJAUAN PUSTAKA	6
A. Panel Surya	6
A.1. Rangkaian Persamaan	7
A.2. Spesifikasi	9
B. MPPT	11
B.1. <i>Partial Shading</i>	13
B.2. Metode P&O	17
C. DC/DC Konverter - SEPIC Konverter	20
D. Mikrokontroler	25
E. <i>State of Art</i> Penelitian	26
F. Kerangka Pikir	29
III SIMULASI DC-DC CONVERTER SEPIC	30
A. Metode Simulasi	30
B. PSpice	32
C. Simulasi Pemodelan SEPIC	33
C.1. Simulasi Pemodelan SEPIC dengan variasi f_{SW}	37
C.2. Simulasi Pemodelan SEPIC dengan variasi D	38
C.3. Simulasi Pemodelan SEPIC dengan variasi V_{IN}	41
C.4. Simulasi Pemodelan SEPIC dengan variasi R_L	41



IV PERANCANGAN SISTEM	45
A. Perancangan Perangkat Keras	45
A.1. SEPIC Converter	46
A.2. <i>Gate Driver</i>	47
A.3. Rangkaian Kendali MPPT	48
A.4. Sensor Arus	48
A.5. Regulator Tegangan	48
A.6. Mikrokontroler	48
B. Perancangan Perangkat Lunak	50
B.1. Perancangan perangkat lunak sistem kendali	50
B.2. Perancangan antarmuka	52
V HASIL PENELITIAN dan PEMBAHASAN	55
A. Hasil Perancangan	55
A.1. Hasil Perancangan perangkat Keras	55
A.2. Hasil Perancangan Perangkat Lunak	56
B. Pengujian	58
B.1. Pengujian Rangkaian Sensor	58
B.2. Pengujian perubahan P_{IN} dan P_{OUT} terhadap perubahan duty-cycle	59
B.3. Pengujian beberapa skenario Partial Shading dengan nilai tahanan beban bervariasi	63
B.4. Pengujian dengan variasi parameter algoritma DWS	79
VI KESIMPULAN dan SARAN	87
A. Kesimpulan	87
B. Saran	88
DAFTAR PUSTAKA	89
LAMPIRAN	94



DAFTAR GAMBAR

1	Perbedaan <i>PV cell</i> , <i>PV module</i> dan <i>PV Array</i>	6
2	Konstruksi Modul Sel Surya	7
3	Rangkaian persamaan PV	8
4	Kurva I-V dan kurva P-V yang menunjukkan Titik daya maksimum (MPP).	11
5	Blok Diagram Sistem MPPT	12
6	<i>PV array</i> pada kondisi <i>partial shading</i>	14
7	Kondisi Modul PV	15
8	Kurva V-P pada kondisi <i>partial shading</i>	15
9	Pemasangan dioda <i>bypass</i>	16
10	Pemasangan dioda <i>blocking</i>	16
11	Posisi dP/dV yang bervariasi pada kurva V-P PV	17
12	Diagram alir metode P&O	18
13	Diagram alir metode DWS	19
14	Topologi SEPIC konverter	20
15	Kondisi saklar tertutup SEPIC	21
16	Kondisi saklar terbuka SEPIC	21
17	ATmega8 (a) bentuk fisik kemasan <i>Dual in Line</i> , (b) konfigurasi PIN	26
18	Kerangka Konseptual Penelitian	29
19	Model simulasi SEPIC	31
20	Skematik simulasi pemodelan SEPIC	34
21	Grafik V_{OUT} terhadap waktu dengan variasi f_{SW}	38
22	Grafik V_{OUT} terhadap waktu dengan variasi D	39
23	Grafik $I_{IN(rms)}$ terhadap waktu dengan variasi D	40
24	Grafik $I_{OUT(rms)}$ terhadap waktu dengan variasi D	40
25	Grafik A_V terhadap variasi V_{IN}	42
26	Grafik V_{OUT} terhadap waktu dengan variasi R_L	43
27	Grafik $I_{IN(rms)}$ terhadap waktu dengan variasi R_L	43
28	Grafik $I_{OUT(rms)}$ terhadap waktu dengan variasi R_L	44
29	Diagram Blok Penelitian	45
	Skematik rangkaian SEPIC	46
	Skematik rangkaian <i>gate driver</i>	47
	Skematik rangkaian sensor arus	48
	Skematik rangkaian <i>regulator</i>	49



34	Skematik rangkaian mikrokontroler	50
35	Tampilan editor Arduino IDE	51
36	Diagram alir perangkat lunak sistem kendali	52
37	Tampilan editor Visual Studio 2015	53
38	Diagram alir perangkat lunak antarmuka	54
39	Hasil perancangan rangkaian MPPT	56
40	Hasil perancangan rangkaian sistem kendali	56
41	Diagram pengkabelan sistem	57
42	Tampilan aplikasi antarmuka	57
43	Diagram pengujian perubahan Pin dan Pout terhadap perubahan duty-cycle	59
44	Grafik Duty-Cycle , P_{IN} , dan P_{OUT} skenario partial shading 1	62
45	Diagram Pengujian Partial Shading	63
46	Grafik Duty-Cycle , P_{IN} , dan P_{OUT} skenario partial shading 1	68
47	Grafik Duty-Cycle , P_{IN} , dan P_{OUT} skenario partial shading 2	73
48	Grafik Duty-Cycle , P_{IN} , dan P_{OUT} skenario partial shading 3	78
49	Grafik duty-cycle terhadap tahap pada variasi nilai <i>scan width</i>	83



DAFTAR TABEL

1	Spesifikasi Panel Surya 12V 100WP	10
2	Perbandingan Berbagai teknik MPPT	13
3	<i>State of Art</i>	27
4	Hasil perhitungan nilai komponen SEPIC	31
5	Nilai hasil simulasi dan perhitungan berdasarkan grafik pada Gambar 21	38
6	Nilai hasil simulasi dan perhitungan berdasarkan grafik pada Gambar 22, 23, dan 24	41
7	Nilai hasil simulasi dan perhitungan berdasarkan grafik pada Gambar 26, 27, dan 28	42
8	Konfigurasi sambungan Pin ATmega8	49
9	Pengujian Rangkaian Sensor	59
10	Hasil pengujian perubahan P_{IN} dan P_{OUT} terhadap perubahan duty-cycle	60
11	Pengujian Skenario 1 dengan tahanan beban 150 Ohm	64
12	Pengujian Skenario 1 dengan tahanan beban 300 Ohm	65
13	Pengujian Skenario 1 dengan tahanan beban 600 Ohm	67
14	Pengujian Skenario 2 dengan tahanan beban 150 Ohm	69
15	Pengujian Skenario 2 dengan tahanan beban 300 Ohm	70
16	Pengujian Skenario 2 dengan tahanan beban 600 Ohm	71
17	Pengujian Skenario 3 dengan tahanan beban 150 Ohm	73
18	Pengujian Skenario 3 dengan tahanan beban 300 Ohm	75
19	Pengujian Skenario 3 dengan tahanan beban 600 Ohm	76
20	Rangkuman nilai maksimum Hasil Pengujian pada kondisi partial shading	78
21	Pengujian dengan Parameter scanWidht=5	79
22	Pengujian dengan Parameter scanWidht=10	80
23	Pengujian dengan Parameter scanWidht=15	81
24	Pengujian dengan Parameter scanWidht=20	81
25	Pengujian dengan Parameter scanWidht=25	82
26	Proses Iterasi pada variasi Scan Width	84
	Rangkuman hasil pengujian dan analisa	86



BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Salah satu kebutuhan dasar manusia yang terus meningkat yaitu kebutuhan akan energi. Kebutuhan ini akan terus meningkat seiring dengan tingkat kehidupannya. Bahan bakar minyak (BBM) memegang posisi yang sangat dominan dalam pemenuhan kebutuhan energi nasional. Komposisi konsumsi energi nasional saat ini adalah BBM: 52,50%; Gas: 19,04%; Batubara: 21,52%; Air: 3,73%; Panas Bumi: 3,01%; dan Energi terbarukan: 0,2% [1].

Sumber energi baru dan terbarukan di masa depan akan memiliki peran yang semakin penting dalam memenuhi kebutuhan energi walaupun dengan persentase yang kecil. Hal ini disebabkan oleh penggunaan bahan bakar fosil untuk pembangkit-pembangkit listrik konvensional dalam jangka waktu yang panjang akan menguras sumber minyak bumi, gas dan batubara yang cadangannya semakin lama semakin menipis [2]. Indonesia juga memiliki potensi sumber daya yang besar lainnya dalam bentuk tenaga matahari, angin, biomassa, dan biofuel (bahan bakar nabati) [3].

Berdasarkan data penyinaran matahari yang dihimpun dari berbagai lokasi di Indonesia menunjukkan sumber daya energi surya Indonesia dapat dikelompokkan berdasarkan wilayah yaitu kawasan barat dan timur Indonesia. Sumber daya energi surya kawasan barat Indonesia (4,5 kWh/m².hari) dengan variasi bulanan sekitar 10%, dan kawasan timur Indo-

4,8 kWh/m².hari dengan variasi bulanan sekitar 9% serta rata-rata Indonesia 4,8 kWh/m².hari dengan variasi bulanan sekitar 9%. Potensi energi matahari di Indonesia sekitar 4,8 kWh/m².hari atau setara dengan



112 ribu GWp. Namun, saat ini energi matahari yang sudah dimanfaatkan hanya sekitar 49MWp. Ini berarti, potensi energi matahari yang sudah dimanfaatkan masih jauh dari angka 1% [4].

Keuntungan pemanfaatan energi matahari yaitu ramah terhadap lingkungan, tidak menghasilkan polusi dan sangat sesuai untuk pelestarian lingkungan sekaligus sebagai wujud komitmen peduli lingkungan [5]. Sistem ini terdiri dari rangkaian fotovoltaik, modul MPPT (*Maximum Power Point Tracker*) untuk mencari titik daya maksimum, DC-DC converter, dan beban DC (Battery). Daya keluaran sel fotovoltaik tergantung pada radiasi matahari, suhu atmosfer, parameter internal dan secara umum akibat pengaruh dari hubungan beban. Tidak mudah untuk mengatasi karakteristik arus dan tegangan yang tidak linier dari sel fotovoltaik. Oleh karena itu modul MPPT dirancang untuk dapat mengoptimalkan konversi energi matahari menjadi energi listrik oleh sel fotovoltaik [6, 7].

Kinerja panel surya yang dipengaruhi oleh radiasi matahari membuatnya tidak optimal karena ada saat saat dimana cahaya matahari tertutup awan atau bayangan yang kenal dengan istilah *partial shading*, hal ini mengakibatkan titik daya panel surya akan bergeser sehingga daya luaran akan berkurang. Oleh sebab itu titik daya perlu dilacak agar selalu berada pada kondisi maksimum. Ada beberapa cara untuk menemukan nilai titik daya maksimum, diantaranya telah diusulkan dan dipublikasikan dalam literatur ilmiah. Metode yang paling banyak dibahas, sederhana dan mudah dalam pengendalian diantaranya yaitu *Perturb and Observe* (P&O), *Incremental Conductance* (InC), *Fractional Open-Circuit Voltage* (FOCV), *Fractional Short-Circuit Current* (FSCC) [8]. Metode lain yang lebih kompleks untuk melacak MPP diantaranya *Current Sweep*, *Fuzzy Logic Control*, *Artificial Neural Network*. Metode yang kompleks tersebut memerlukan banyak perdan memori sehingga memerlukan spesifikasi kontroler yang lebih karena beban komputasi yang berat [1].



Sistem MPPT terdiri rangkaian kendali dan DC/DC konverter [9]. Perubahan tegangan dan arus luaran panel surya akan dideteksi oleh sensor kemudian diproses pada rangkaian kendali. Keluaran rangkaian kendali berupa sinyal yang memiliki *duty cycle* bervariasi. Sinyal *duty cycle* tersebut akan diumpangkan ke komponen pensaklaran pada rangkaian DC/DC konverter.

Penggunaan modul MPPT pada sistem diharapkan mampu mengatasi kekurangan akibat kondisi *partial shading*. Selain itu pemilihan sistem kendali, metode, dan konverter akan mempengaruhi efisiensi dari rangkaian MPPT. Selain itu, saat kondisi *partial shading* metode P&O yang diterapkan pada MPPT dapat mengakibatkan titik puncak terjebak pada titik puncak lokal, sehingga daya maksimum tidak akan tercapai. Karena itu, penulis berkeinginan untuk mengambil judul "**Algoritma Penjejak Titik Daya Maksimum berbasis Mikrokontroler**" sebagai topik penelitian tesis.

B. Deskripsi Masalah

1. Dalam kondisi *partial shading*, MPPT akan menghasilkan beberapa titik daya puncak. Hal ini mengakibatkan daya yang dihasilkan tidak selalu dalam kondisi maksimal.
2. Penggunaan metode P&O klasik dapat mengakibatkan MPP terjebak pada titik maksimum lokal, sehingga daya maksimum tidak akan tercapai.



C. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan :

1. Merancang rangkaian MPPT dengan menggunakan SEPIC converter.
2. Menganalisa pengaruh perubahan *duty cycle* pada rangkaian pensaklaran.
3. Menerapkan metode P&O *Decrement Window Scanning* pada MPPT yang mampu mengatasi kondisi *partial shading*.

D. Batasan Masalah

Ada beberapa batasan yang digunakan dalam penelitian ini, diantaranya:

1. Tegangan masukan didapatkan dari satu buah panel surya dengan spesifikasi 50 WP.
2. DC/DC Konverter yang digunakan adalah jenis SEPIC konverter.
3. Simulasi yang dilakukan hanya sebatas mengamati karakteristik dari DC/DC konverter.
4. Beban yang digunakan pada pengukuran rangkaian adalah resistor 150W dengan nilai 300 Ohm dan 150 Ohm.

E. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut :

Menjadi solusi dalam pengembangan teknologi energi terbarukan khususnya energi matahari.

Menghasilkan sebuah rangkaian MPPT dengan kinerja yang baik.



F. Struktur Penulisan

Penulisan tesis ini disusun secara sistematis yang terdiri atas 6 bab yang saling berhubungan. Uraian singkat dari bab-bab tersebut adalah sebagai berikut:

BAB I. PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang Latar Belakang, Rumusan Masalah, Tujuan Penelitian, Manfaat Penelitian, Batasan Masalah, dan Sistematika Penulisan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang teori panel surya, pengetahuan tentang modul MPPT, metode P&O yang digunakan, rangkaian DC-DC converter, penelitian-penelitian terkait, dan kerangka konseptual.

BAB III. METODE PENELITIAN

Bab ini berisi tentang rancangan penelitian, desain perangkat keras, desain perangkat lunak, lokasi dan waktu penelitian, instrumen penelitian, dan rencana kegiatan penelitian.

BAB IV. SIMULASI

Bab ini berisi simulasi dari modul MPPT dengan penambahan metode P&O. Simulasi dilakukan dengan input tegangan dari sumber DC yang bervariasi.

BAB V. HASIL PENELITIAN dan PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang hasil penelitian yang dilakukan baik perancangan perangkat keras maupun perangkat lunak. Pengujian kinerja alat, pengukuran tegangan, arus dan daya keluaran dari MPPT, serta analisa metode yang digunakan.

KESIMPULAN dan SARAN

Bab ini merupakan bab terakhir dari penelitian yang berisi tentang kesimpulan dari hasil pengujian dan saran untuk penelitian yang akan datang.



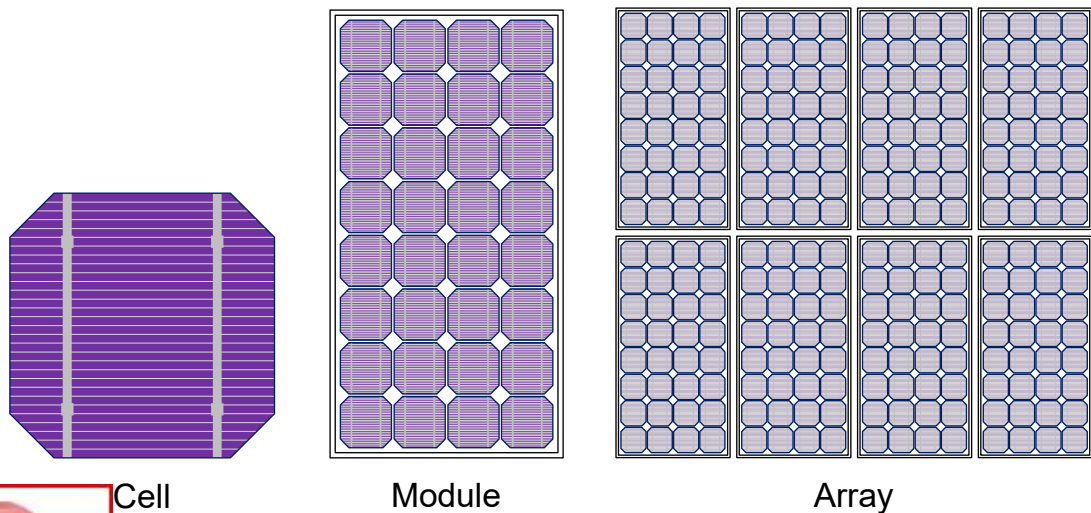
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Panel Surya

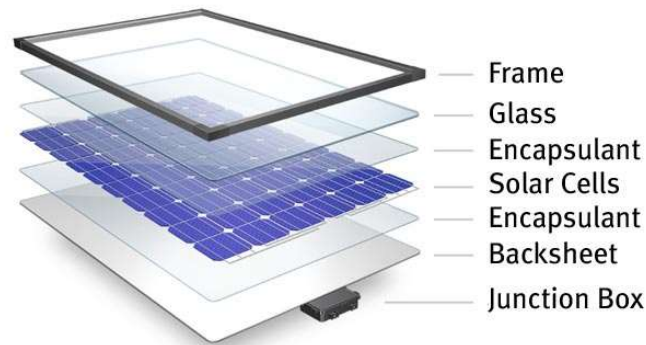
Dioda listrik surya / sel surya merupakan suatu dioda yang dapat mengubah energi surya / matahari secara langsung menjadi energi listrik (berdasarkan sifat foto elektrik yang ada pada setengah penghantar)[1]. Panel surya merupakan perangkat yang terdiri dari sel surya yang sering disebut sel photovoltaic, photovoltaic dapat diartikan sebagai "cahaya-listrik".

Sel surya dengan ukuran 1 inci umumnya menghasilkan daya 1 watt (*PV cell*). Untuk meningkatkan daya, beberapa sel surya di hubungkan seri dan paralel pada panel dalam ukuran tertentu yang disebut *PV module*. Untuk menghasilkan arus dan tegangan tertentu, beberapa modul disambung secara seri dan paralel yang disebut *PV array*. Perbedaan dari sel surya, *PV module* dan *PV array* ditunjukkan pada Gambar 1[10].



Gambar 1: Perbedaan *PV cell*, *PV module* dan *PV Array*

truksi dari modul sel surya diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2: Konstruksi Modul Sel Surya [11]

A.1. Rangkaian Persamaan

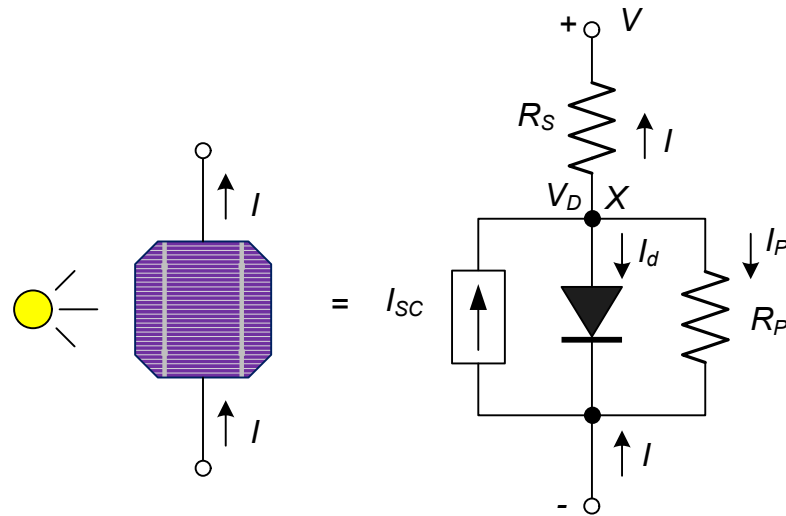
Rangkaian persamaan dan model pSpide dari sel surya telah dijelaskan di berbagai tulisan dalam bentuk yang ideal berdasarkan sifat dioda dan sumber arus yang ideal. Dalam kenyataannya, terdapat rugi-rugi yang disebabkan oleh resistansi penghantar bahan semikonduktor yang dipakai hingga resistansi pada sambungan keluaran dari sel surya. Penambahan resistor secara seri dapat mewakili rugi-rugi yang dihasilkan, resistansi ini disebut R_s atau resistansi seri sel surya. Dalam industri, sel surya diproduksi massal dari perangkat yang umumnya berupa material tipis yang berukuran besar. Beberapa kerugian tahanan *shunt* diidentifikasi, yaitu pada sambungan lapisan emitor. Tahanan *shunt* ini dipasang paralel dengan sel surya dinyatakan dalam R_{sh}/R_p [12, 13, 14].

Bentuk fisik PV yang kompleks dapat dinyatakan dalam rangkaian persamaan pada Gambar 3.

Rangkaian persamaan sel surya seperti pada Gambar 3 dapat dinyatakan secara matematis melalui persamaan [12]:

$$I = I_{sc} - I_0 \left(\exp \left[\frac{q(V + IR_s)}{kT} \right] - 1 \right) - \left(\frac{V + IR_s}{R_p} \right) \quad (11.1)$$





Gambar 3: Rangkaian persamaan PV [12]

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I_{sc}}{I_0} + 1 \right) \quad (11.2)$$

dimana : I = Arus (A), V = Tegangan (V), P = Daya (W), I_{sc} = Arus hubung singkat (A), I_0 = Arus saturasi balik (A) V_{oc} = Tegangan rangkaian terbuka (V), I_0 = Arus balik saturasi (A), q = muatan elektron ($1.602 \times 10^{19}C$), k = Konstanta Boltzman's ($1.381 \times 10^{23} J/K$), T = Suhu (K), R_s dan R_p adalah resistansi yang digunakan untuk mempertimbangkan dampak dari rugi-rugi dan bayangan.

Dengan menerapkan hukum arus Kirchhoff's pada titik X Gambar 3, maka :

$$I_{sc} = I + I_d + I_p \quad (11.3)$$

Mengingat karakteristik V/I pada p-n dioda atau persamaan dioda Shockley :

$$I_d = I_0 (e^{qV_d/kT} - 1) \quad (11.4)$$



maka :

$$I = I_{sc} - I_0(e^{qV_d/kT} - 1) + \frac{V_d}{R_P} \quad (II.5)$$

Dengan asumsi bahwa V_d adalah nilai total, dan I dapat dihitung dengan Persamaan II.5, maka tegangan pada masing masing sel dapat dihitung dengan persamaan :

$$V_{cell} = V_d - IR_s \quad (II.6)$$

dan tegangan pada n modul adalah :

$$V_{module} = n(V_d - IR_s) \quad (II.7)$$

A.2. Spesifikasi

Panel surya memiliki spesifikasi yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan daya. Spesifikasi panel surya 12V 100WP yang digunakan di perlihatkan pada tabel 1. Beberapa istilah yang ditemukan pada spesifikasi solar panel yaitu :

1. Vop atau Vmpp (*Voltage at maximum power point*), yaitu tegangan maksimum yang dapat dihasilkan panel surya saat di operasikan atau terhubung pada beban.



atau Imp (Current at maximum power point), yaitu arus maksimum yang dapat dihasilkan panel surya saat di operasikan atau terhubung pada beban.

3. Rated Power atau P_{max} (*Power maximum*), yaitu daya maksimum yang dapat dihasilkan oleh panel surya dalam kondisi yang ideal. Nilai P_{max} merupakan hasil perkalian dari $V_{mpp} \times I_{mpp}$.
4. V_{oc} (*Voltage open circuit*), yaitu tegangan maksimum yang dihasilkan panel surya tanpa terhubung ke beban. Nilai tegangan ini akan lebih besar dari V_{mpp}
5. I_{sc} (*Current at short circuit*), merupakan arus yang mengalir saat terjadi hubung singkat pada keluaran panel surya. Nilai ini penting dalam pemasangan sekring untuk pengaman.

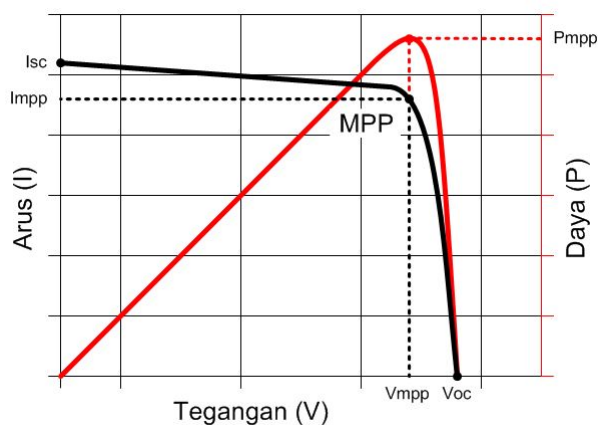
Tabel 1: Spesifikasi Panel Surya 12V 100WP[1]

Rated Power	100w
V_{oc}	22.41
V_{op}	17.9V
I_{sc}	6.2A
I_{op}	5.59A
Output Tolerance	+/-3%
Temperate coefficient of I_{sc}	+/-3%/°C
Temperate coefficient of V_{oc}	(010+/- 0.01)%/°C
Temperate coefficient of power V_{oc}	-0.47%/°C
Temperature range	-40°C to +80°C
Frame	Heavy duty aluminum
Kind of glass and its thickness	Low Iron, high transparency tempered glass of 3.2mm
SLA Battery Voltage	12V
Dimensions (L x W x H)mm	SIZE 1 : 665*996*35mm (26.16*39.3*1.37 in)
Weight	19.85lbs (9kg)



B. MPPT

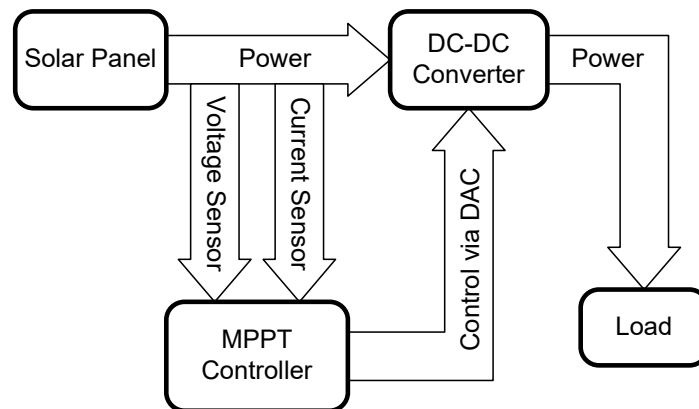
Titik operasi tegangan (V) dan arus (I) diperlihatkan pada kurva P-V Gambar 4. Output daya maksimum pada suhu dan radiasi tertentu harus sesuai dengan kurva maksimum, yang disebut titik daya maksimum (*Maximum Power Point*, MPP). Nilai MPP tergantung dari kondisi sekitar. Jika terjadi perubahan suhu atau radiasi, maka karakteristik I-V dan P-V akan berubah sehingga posisi MPP akan bergeser. Karena itu perubahan pada kurva I-V harus dilacak secara terus menerus agar dapat menyesuaikan terhadap kondisi sekitar. Proses pelacakan ini disebut pencarian titik daya maksimum atau *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) [15].



Gambar 4: Kurva I-V dan kurva P-V yang menunjukkan Titik daya maksimum (MPP).

Blok diagram sistem MPPT diperlihatkan pada Gambar 5. MPPT terletak antara solar panel dan DC-DC Converter. Sensor di tempatkan pada keluaran solar panel untuk mendeteksi arus dan tegangan. Keluaran MPPT berupa *control DAC* yang merupakan *duty cycle* untuk mengatur keluaran dari DC-DC konverter.





Gambar 5: Blok Diagram Sistem MPPT [9]

Secara umum, MPPT terdiri dari 3 kategori yaitu [9] :

1. *Indirect control*, yaitu metode pelacakan tidak langsung dengan memperkirakan MPP berdasarkan beberapa data pengukuran yang telah dilakukan sebelumnya. Termasuk dalam kategori ini yaitu metode *Fractional Open Circuit Voltage* dan metode *Fixed Voltage*.
2. *Direct control*, yaitu metode palacakan langsung. Metode ini memerlukan pengukuran tegangan, arus dan daya. Yang termasuk dalam kategori ini yaitu metode *Perturb and observe(P&O)* dan metode *Incremental Conductance*.
3. *Probabilistic Control*.

Tabel 2 menunjukkan perbedaan dari berbagai teknik yang dapat diterapkan pada MPPT. Perbedaan masing masing teknik terletak pada metode yang digunakan, jenis variabel, tipe rangkaian, pengaturan parameter, harga dan tingkat kesulitan dalam pembuatan perangkat keras.



Tabel 2: Perbandingan Berbagai teknik MPPT [9]

No.	Technique	Method	Variable	Circuit	Tun.	Cost	Hwd.
1	Perturb and Observe Hill Climbing	Sampling Method	Voltage/Current	Analog/ Digital	No	Exp.	Complex
2	Curve Fitting	Incremental Conductance	Voltage	Digital	Yes	Inexp.	Simple
3	Forced Short Circuit Current	Incremental Conductance	Voltage/Current	Digital/ Analog	Yes	Inexp.	Simple
4	Forced Open Circuit Voltage	Incremental Conductance	Voltage/Current	Digital	Yes	Inexp.	Simple
5	Look Up Table	Incremental Conductance	Voltage/Current	Digital/ Analog	Yes	Inexp.	Simple
6	One Cycle Control	Sampling Method	Current	Digital/ Analog	Yes	Inexp.	Simple
7	Differentiation dV/dt	Sampling Method	Voltage/Current	Digital	Yes	Exp.	Complex
8	Feedback Voltage or Current	Sampling Method	Voltage/Current	Digital	No	Exp.	Complex
9	Feedback Power with Current	Sampling Method	Voltage/Current	Digital	No	Exp.	Complex
10	Feedback Power with Voltage	Sampling Method	Voltage/Current	Digital/ Analog	No	Exp.	Complex
11	Increment Conductance	Sampling Method	Voltage/Current	Digital	No	Exp.	Complex
12	Forced Oscillation	Modulation Method	Voltage/Current	Analog	Yes	Exp.	Complex
13	Ripple Correction Control	Modulation Method	Voltage/Current	Analog	Yes	Exp.	Complex
14	Estimated Perturb	Sampling Method	Voltage/Current	Digital/ Analog	Yes	Exp.	Complex
15	Intelligent Techniques	Intelligent Method	Voltage/Current	Digital	Yes	Exp.	Complex
16	Hybrid MPPT Techniques	Sampling Method	Voltage/Current	Digital	Yes	Exp.	Medium
17	DMPPT Techniques	Intelligent Method	Voltage/Current	Digital	Yes	Exp.	Complex

B.1. *Partial Shading*

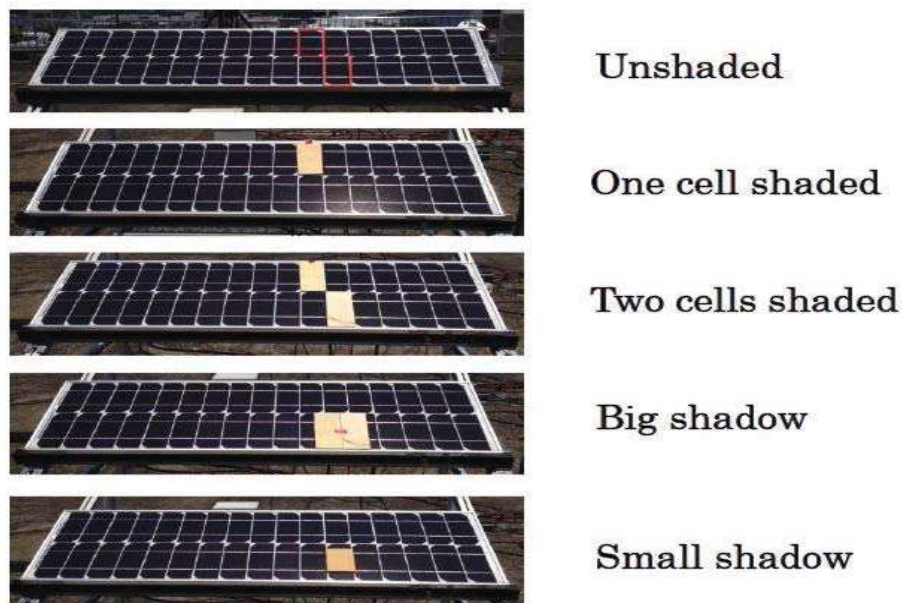
Satu panel surya terdiri dari beberapa sel surya yang terhubung seri atau paralel. Susunan sel tersebut memungkinkan sebagian sel surya tidak mendapatkan cahaya dengan baik akibat terhalang debu, bayangan pepohonan atau awan. kondisi ini disebut kondisi *partial shading* (Gambar 6). Kondisi

akibatkan kemampuan menghasilkan tegangan sel tersebut akan tetapi masih tetap mengalir arus sehingga sel yang terkena *partial shading* menjadi beban. Hal ini akan mengakibatkan titik daya



maksimum berkurang.

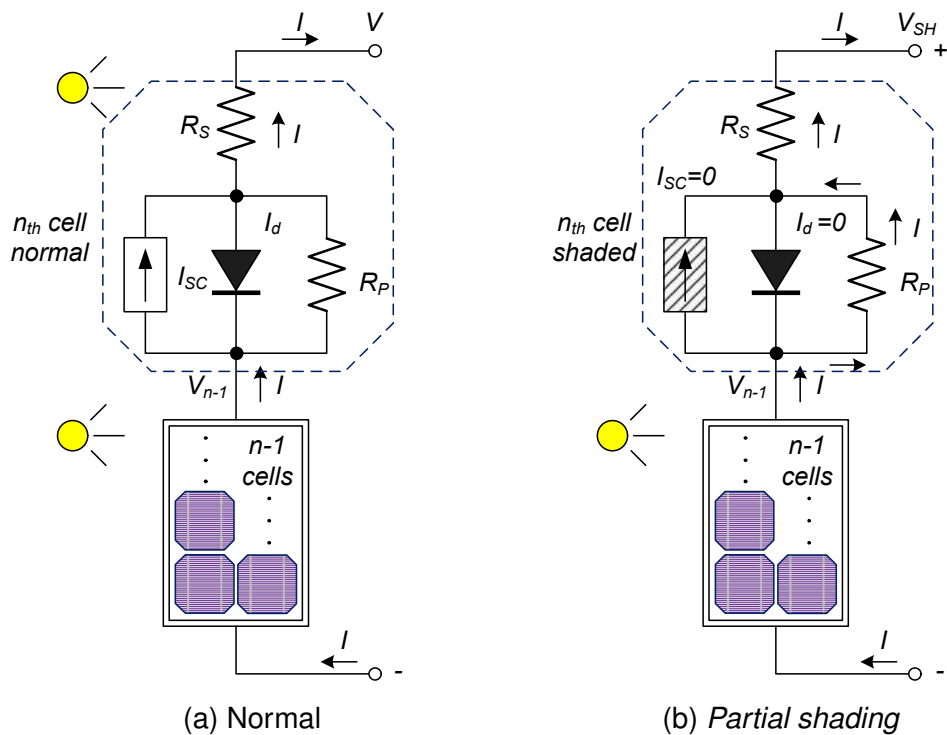
Cara yang digunakan untuk menghilangkan dampak tersebut yaitu dengan menambahkan dioda *bypass* (Gambar 9)[13]. Pemasangan dioda *bypass* dilakukan saat PV modul terhubung seri. Sedangkan pada hubungan paralel PV modul, dioda terpasang seri dengan PV dan dinamakan dioda *blocking* atau dioda *isolasi* (Gambar 10)[12].



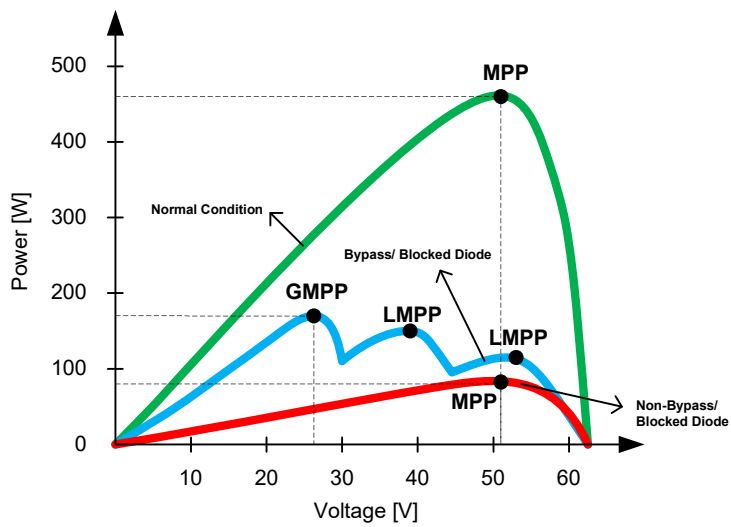
Gambar 6: PV array pada kondisi *partial shading*[16]

Kurva V-P pada saat kondisi *partial shading* diperlihatkan pada Gambar 8. Saat kondisi normal, maksimum daya yang dicapai yaitu 460 W, sedangkan pada saat terjadi dampak *partial shading* maksimum daya hanya mencapai 80 W. Penambahan dioda *bypass* dan dioda blocked akan meningkatkan daya maksimum hingga 170 W. Penggunaan dioda *bypass*/blocked mengakibatkan terjadinya beberapa titik puncak maksimum yang terdiri dari Global Maksimum Power Point/GMPP/global maksima dan Local Maximum Power Point/LMPP/local maksima. GMPP merupakan nilai LMPP yang didapatkan, dan LMPP dapat terjadi pada beberapa titik daya.



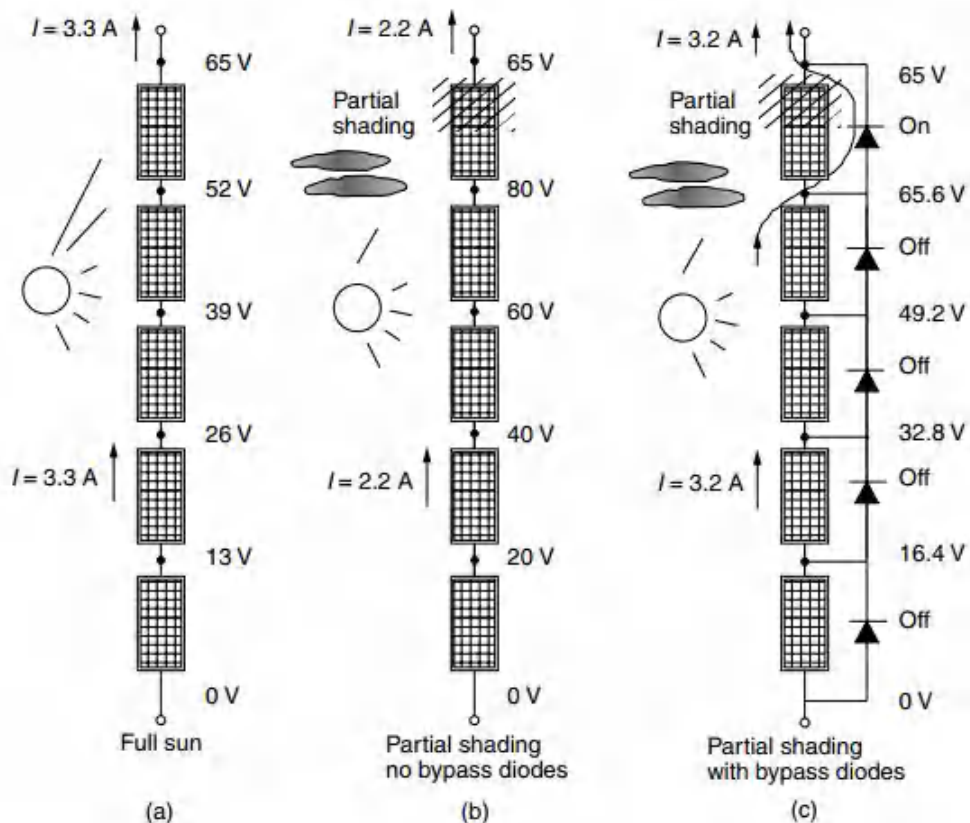


Gambar 7: Kondisi Modul PV

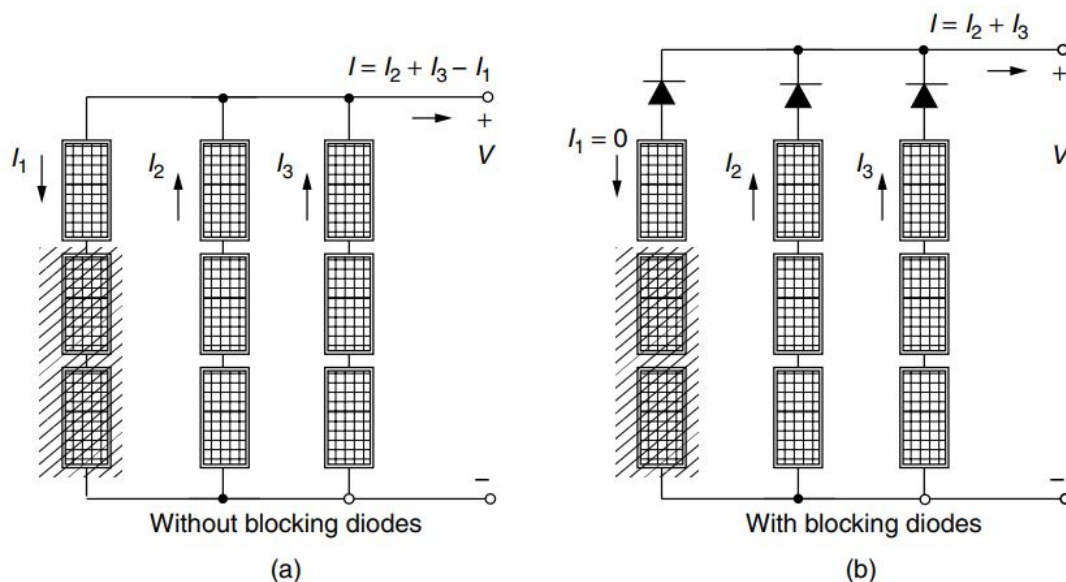


Gambar 8: Kurva V-P pada kondisi *partial shading*





Gambar 9: Pemasangan dioda *bypass*[12]

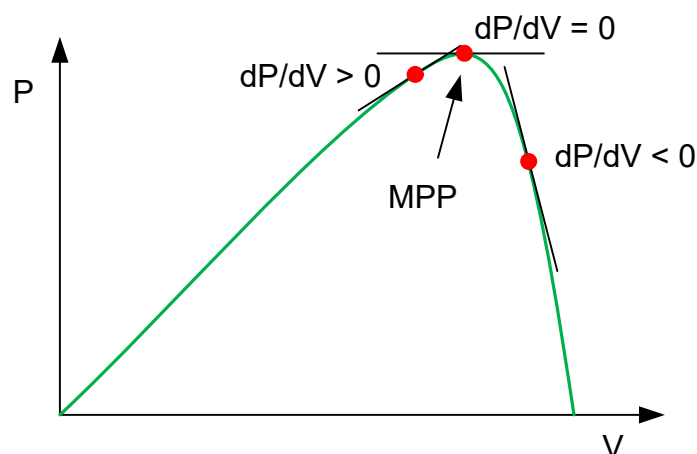


Gambar 10: Pemasangan dioda *blocking*[12]



B.2. Metode P&O

Metode P&O merupakan salah satu algoritma yang dapat diterapkan pada MPPT. Algoritma ini termasuk dalam metode *hill climbing* hal ini berdasarkan kurva P-V yang menyerupai bukit. Metode ini mengandalkan pembacaan tegangan dan arus rangkaian secara langsung yang menghasilkan karakteristik V-P dari sel surya. Gambar 11 menunjukkan kurva V-P yang menunjukkan 3 titik merah yang berada posisi yang berbeda. Di sebelah kiri puncak yaitu $dP/dV > 0$, pada puncak kurva yaitu $dP/dV = 0$ dan di sebelah kanan puncak yaitu $dP/dV < 0$.



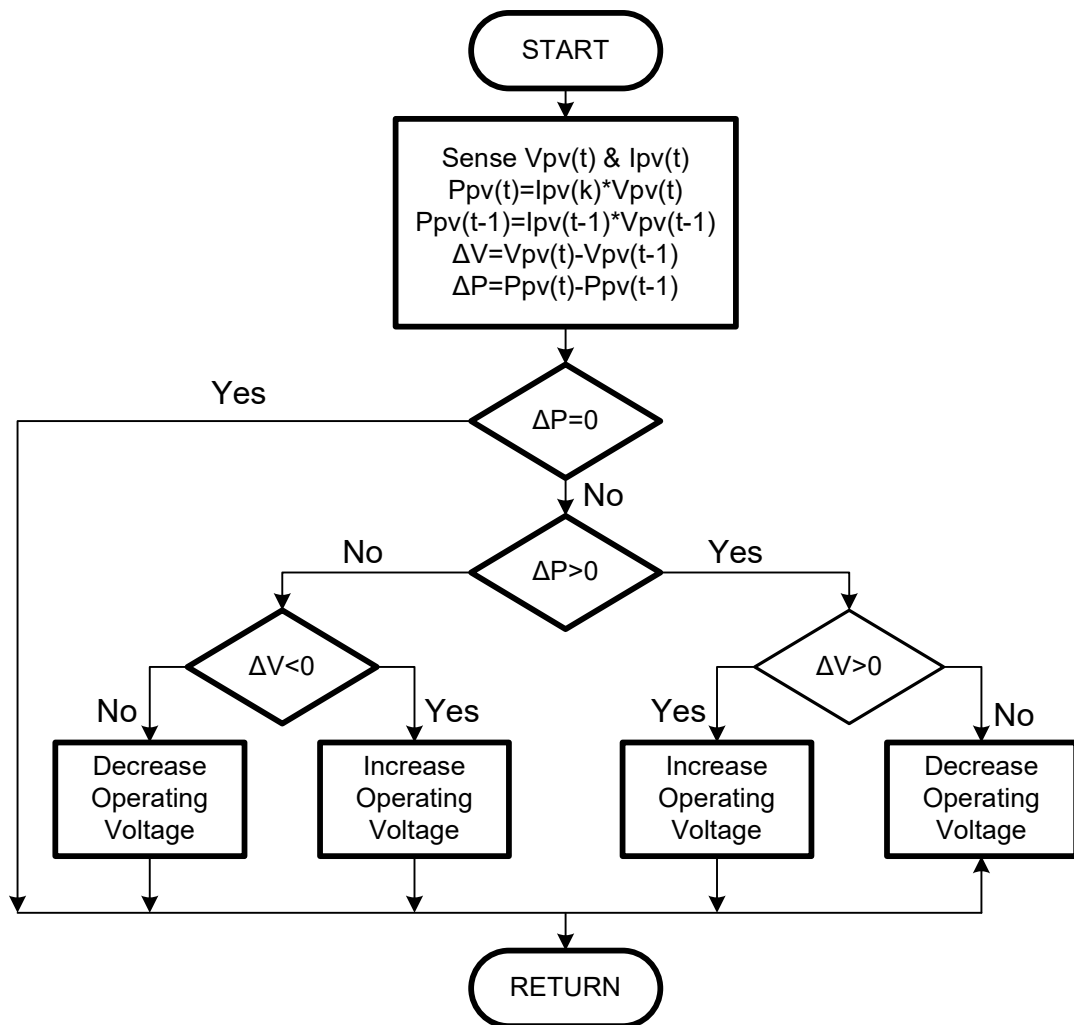
Gambar 11: Posisi dP/dV yang bervariasi pada kurva V-P PV

Saat tegangan kerja PV diganggu (*perturbed*) posisi titik dP/dV akan berubah. Perubahan yang terjadi kemudian diamati (*observe*). Jika titik dP/dV berada pada $dP/dV > 0$, maka tegangan kerja PV mengarah maju ke titik MPP sehingga nilai gangguan adalah benar. Jika titik dP/dV berada pada $dP/dV < 0$, maka perubahan titik kerja sel surya mengarah jauh dari MPP, sehingga nilai gangguan harus dilakukan dalam arah sebaliknya.

Alir dari metode P&O diperlihatkan pada Gambar 12.

Kelemahan dari metode P&O dasar yang dijelaskan di atas yaitu nilai tegangan dapat terjebak pada nilai LMPP saat kondisi partial shading, dan ini





Gambar 12: Diagram alir metode P&O

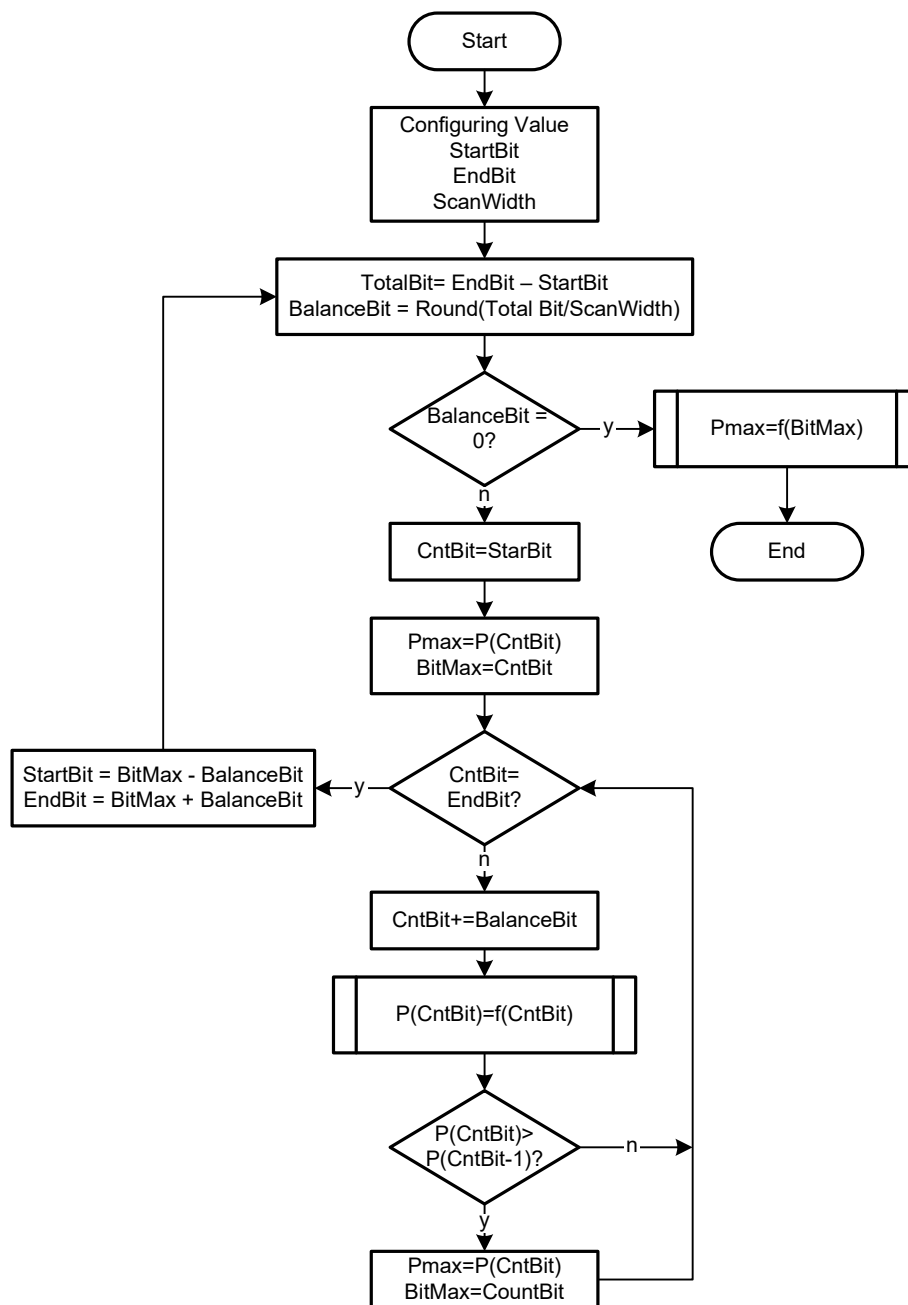
mengakibatkan GMPP tidak tercapai. Kekurangan dari metode dasar tersebut dapat diatasi dengan modifikasi metode P&O yang telah dibahas pada penelitian [17] yang di beri nama metode Decremental Window Scanning (DWS).

Metode ini pada dasarnya mencari titik maksimum dengan beberapa siklus gangguan dan membagi setiap siklus menjadi beberapa area gang-

angguan yang dimaksud yaitu pemberian variasi duty-cycle pada converter. Nilai puncak pada setiap siklus gangguan akan menjadi referensi puncak pada siklus selanjutnya. Lebar area pada setiap siklus akan jumlah siklus yang dilakukan.



Diagram alir dari DWS diperlihatkan pada Gambar 13.



Gambar 13: Diagram alir metode DWS



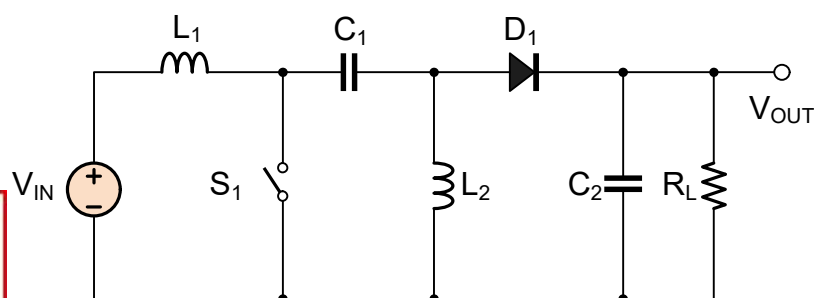
C. DC/DC Konverter - SEPIC Konverter

Tegangan luaran panel surya tidak selalu berada pada kondisi ideal, dengan kata lain nilai luaran dapat lebih kecil atau lebih besar dari kebutuhan. Oleh sebab itu diperlukan sebuah rangkaian elektronik yang dapat menaikkan atau menurunkan tegangan luaran panel surya sesuai keinginan, rangkaian ini disebut DC/DC konverter. Jenis DC/DC konverter telah digunakan dalam berbagai diantaranya *Buck* konverter [18], *boost* konverter [19, 20, 21, 22, 23, 24, 25], *buck-boost* konverter [26], cuk konverter [25].

Buck konverter dapat menurunkan tegangan luaran, *boost* konverter dapat menaikkan tegangan, *buck-boost* dan cuk konverter dapat menaikkan dan menurunkan tegangan tetapi dengan polaritas luaran yang terbalik terhadap masukan. Polaritas terbalik pada luaran DC/DC konverter jenis *buck-boost* dan cuk konverter dapat diatasi dengan menggunakan konverter yang dapat menaikkan dan menurunkan tegangan dengan polaritas luaran yang sama dengan polaritas masukan yang disebut *Single ended Primary Inductor Converter* (SEPIC).

Fakta bahwa polaritas tegangan luaran sama dengan tegangan masukan yang dihasilkan rangkaian SEPIC sangat berguna untuk aplikasi pengisian ulang baterai. Selain itu konverter ini dapat dihubungkan langsung dengan beban saat mode pengisian karena memiliki sambungan *ground* yang sama [27].

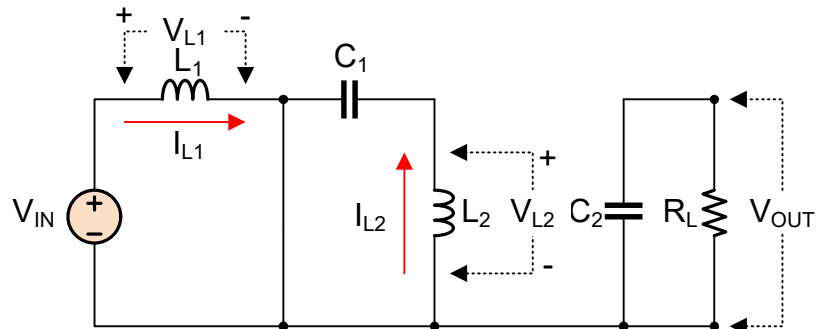
Desain rangkaian dari SEPIC konverter diperlihatkan pada Gambar 14.



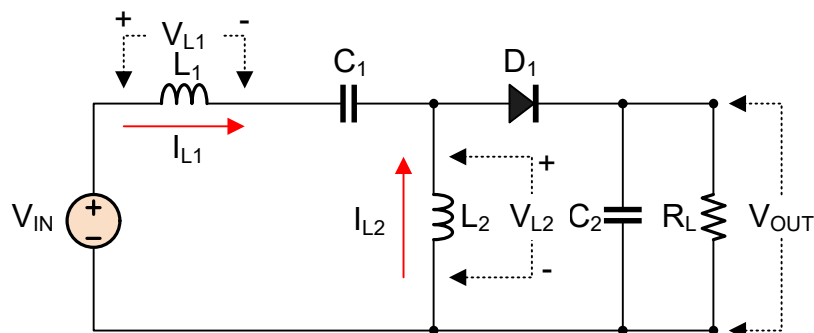
Gambar 14: Topologi SEPIC konverter



Rangkaian SEPIC terdiri dari lilitan kompling L_1 dan L_2 , kapasitor kopling C_1 , komponen pensaklaran S_1 yang pada penerapannya akan memanfaatkan Mosfet daya, dioda D_1 , kapasitor luaran C_2 , dan tahanan beban R_L .



Gambar 15: Kondisi saklar tertutup SEPIC



Gambar 16: Kondisi saklar terbuka SEPIC

Konverter beroperasi saat terjadi perubahan kondisi S_1 secara terus menerus atau Continuous Conducing Mode (CCM). Pada kondisi saklar S_1 tertutup (Gambar 16), kondisi dioda D_1 terbuka, induktor L_1 terisi dari sumber V_S , dan induktor L_2 mengisi C_1 . Selama kondisi ini, tidak ada energi yang disuplay ke beban. Besarnya tegangan yang melewati L_1 sama dengan V_{IN} . Sedangkan pada kondisi saklar S_1 terbuka (Gambar 15), kondisi dioda tertutup, L_1 mengisi C_1 dan secara bersamaan dengan L_2 memberikan arus ke beban. Besarnya tegangan pada L_1 pada kondisi ini sama dengan $-V_{OUT}$. Waktu saklar tertutup adalah DT dan waktu saklar terbuka adalah $(1-D)T$ dan besarnya daya yang masukan sama dengan daya yang luaran,

maka $V_{IN}(DT) - V_{OUT}(1 - D)T = 0$. Sehingga tegangan luaran dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$V_{OUT} = \frac{D}{1 - D} \times V_{IN} \quad (II.8)$$

Dimana T adalah periode ($T = 1/f$), f adalah frekuensi, t_{on} adalah waktu pensaklaran aktif, dan k adalah duty cycle pensaklaran ($k = t_{on}/T$).

Jika diasumsikan bahwa efisiensi 100%, besarnya *duty cycle* SEPIC konverter pada kondisi CCM yaitu [28] :

$$D = \frac{V_{OUT} + V_{FWD}}{V_{IN} + V_{OUT} + V_D} \quad (II.9)$$

V_{FWD} adalah tegangan maju pada dioda D_1 , sehingga Persamaan II.9 dapat dituliskan menjadi :

$$\frac{D}{1 - D} = \frac{V_{OUT} + V_{FWD}}{V_{IN}} = \frac{I_{IN}}{I_{OUT}} \quad (II.10)$$

sehingga $D(max)$ terjadi saat $V_{IN(min)}$ dan $D(min)$ terjadi saat $V_{IN(max)}$.

Besarnya duty cycle maksimum $D(max)$ yang dapat digunakan adalah [28] :

$$D_{max} = \frac{V_{OUT} + V_{FWD}}{V_{IN(min)} + V_{OUT} + V_D} \quad (II.11)$$

Aturan yang dipakai untuk menentukan nilai lilitan yaitu dengan mengikuti besarnya arus riak puncak ke puncak yang bernilai 20% hingga 40% dari arus saat masukan tegangan minimum [29]. Arus riak yang mengalir pada L_1 dan L_2 berdasarkan persamaan [28] :

$$\Delta I_L = I_{IN}' \times 30\% = I_{OUT} \frac{V_{OUT}}{V_{IN(min)}} \times 30\% \quad (II.12)$$

amaan untuk menentukan nilai L_1 dan L_2 yaitu [28] :



$$L_1 = L_2 = L = \frac{V_{IN(min)}}{\Delta I_L \times f_{SW}} \times D_{max} \quad (II.13)$$

f_{SW} adalah frekuensi switching dan D_{max} adalah *duty cycle* pada minimum V_{IN} . Arus puncak pada induktor untuk memastikan induktor tidak jenuh diberikan oleh persamaan [28] :

$$I_{L1(peak)} = I_{OUT} \times \frac{V_{OUT} + V_D}{V_{IN(min)}} \times 1 + \frac{40\%}{2} \quad (II.14)$$

$$I_{L2(peak)} = I_{OUT} \times 1 + \frac{40\%}{2} \quad (II.15)$$

Jika L1 dan L2 dililitkan pada inti yang sama, nilai induktansi pada persamaan di atas diganti dengan 2L karena saling menginduksi. Nilai induktor dihitung dengan persamaan [28] :

$$L'_1 = L'_2 = \frac{L}{2} = \frac{V_{IN}}{2 \times \Delta I_L \times f_{SW}} \times D_{max} \quad (II.16)$$

Pemilihan nilai kapasitor kopling C_1 harus disesuaikan dengan arus RMS berdasarkan persamaan :

$$I_{C1(rms)} = I_{OUT} \times \sqrt{\frac{V_{OUT} + V_D}{V_{IN(in)}}} \quad (II.17)$$

Tegangan C_1 harus lebih besar dari tegangan masukan maksimum. Untuk komponen SMT (*Surface Mount Technology*) dapat digunakan jenis tantalum atau keramik. Untuk komponen *through-hole* penggunaan kapasitor elektrolit sangat dianjurkan [28].

Tegangan riak pada C_1 yaitu :

$$\Delta V_{C1} = \frac{I_{OUT} \times D_{max}}{C_1 \times f_{SW}} \quad (II.18)$$



M_1 aktif, kapasitor luaran C_{OUT} harus menyuplai arus pada beb-

an. Karena itu kapasitor luaran harus memiliki cukup kapasitansi dengan nilai ESR (*Equivalent series resistance*) yang tidak terlalu besar. Besarnya tegangan riak pada luaran ΔV_{RPL} yaitu [29]:

$$\Delta V_{RPL} \leq \frac{I_{OUT} \times D(max)}{C_{OUT} \times f_{SW(min)}} + ESR \times [I_{L1a(peak)} + I_{L2a(peak)}] \quad (II.19)$$

Jika kapasitor luaran yang dipakai memiliki nilai ESR yang sangat kecil, nilai ESR tersebut dapat diabaikan sehingga persamaan menjadi :

$$C_{OUT} \geq \frac{I_{OUT} \times D(max)}{\Delta V_{RPL} \times f_{SW(min)}} \quad (II.20)$$

Kapasitor luaran harus memiliki tingkat arus RMS yang lebih besar dari arus RMS kapasitor sesuai persamaan :

$$I_{Cout(rms)} = I_{OUT} \times \sqrt{\frac{D(max)}{1 - D(max)}} \quad (II.21)$$

Dioda D_1 yang digunakan harus mampu mengatasi arus puncak dan tegangan balik. Pada SEPIC, arus puncak dioda nilainya sama dengan arus puncak saklar $I_{Q1(peak)}$. Nilai tegangan balik puncak yang diterima dioda yaitu :

$$V_{RD1} = V_{IN(max)} + V_{OUT(max)} \quad (II.22)$$

Arus dioda rata-rata sama dengan arus luaran. Disipasi daya dari dioda sama dengan arus luaran dikalikan dengan tegangan maju dari dioda. Dioda Schottky direkomendasikan untuk memaksimalkan efisiensi.

Komponen pensaklaran yang digunakan yaitu power Mosfet. Parameter yang digunakan dalam pemilihan Mosfet adalah tegangan ambang minimum $V_{GS(min)}$, tahanan aktif $R_{DS(ON)}$, *gate-drain charge* Q_{GD} , dan tegangan sumber maksimum $V_{DS(maks)}$. Arus saklar puncak diberikan oleh per-



samaan :

$$I_{M1(peak)} = I_{L1(peak)} + I_{L2(peak)} \quad (II.23)$$

nilai arus RMS yang mengalir yaitu :

$$I_{M1(rms)} = I_{OUT} \sqrt{\frac{(V_{OUT} + V_{IN(min)} + V_D) \times (V_{OUT} + V_D)}{V_{IN(min)}^2}} \quad (II.24)$$

Total disipasi daya Mosfet P_{Q_1} yaitu :

$$P_{M1} = I_{M1(rms)}^2 \times R_{DS(ON)} \times D_{max} + (V_{IN(min)} + V_{OUT}) \times I_{M1(peak)} \times \frac{Q_{GD} \times f_{SW}}{I_G} \quad (II.25)$$

D. Mikrokontroler

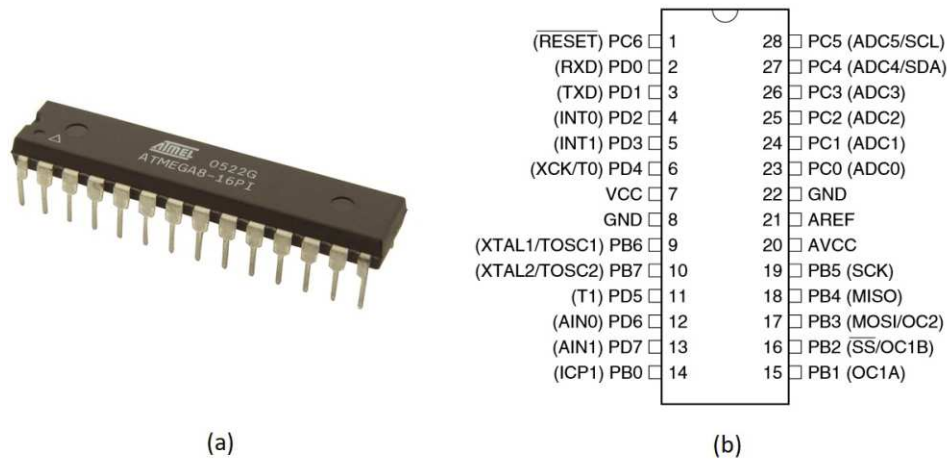
Mikrokontroler adalah rangkaian terpadu (*Integrated Circuit*) yang dapat menerima isyarat masukan, mengolahnya dan memberikan isyarat luaran sesuai dengan perintah yang disematkan ke dalamnya. Mikrokontroler dapat diartikan sebagai komputer dalam satu chip/kemasan, yang di dalamnya terdapat mikroprosesor, memori, jalur masukan/luaran (Input/Output (I/O)) dan perangkat pelengkap lainnya. Kecepatan pengolahan data pada mikrokontroler pada umumnya lebih rendah jika dibandingkan dengan personal komputer (PC). Pada PC kecepatan mikroprosesor yang digunakan saat ini telah mencapai orde GHz, sedangkan kecepatan mikrokontroler hanya berkisar antara 1 hingga 40 MHz. Begitu juga dengan kapasitas RAM dan ROM pada PC yang bisa mencapai orde Tbyte, sedangkan mikrokontroler hanya berkisar pada orde byte/Kbyte. Mikrokontroler sering digunakan pada sistem yang tidak terlalu kompleks dan tidak memerlukan kemampuan

si yang tinggi.

Salah satu jenis mikrokontroler yang banyak digunakan yaitu AVR (*Atmel's Risc processor*). AVR merupakan mikrokontroler buatan Atmel



Corp. yang memiliki arsitektur 8 bit dimana semua instruksi dikemas dalam kode 16-bit dan sebagian besar instruksi di eksekusi dalam 1 siklus clock atau dikenal dengan teknologi RISC (*Reduced Instruction Set Computing*).



Gambar 17: ATmega8 (a) bentuk fisik kemasan *Dual in Line*, (b) konfigurasi PIN

Penelitian ini menggunakan mikrokontroler AVR tipe ATmega8. Pemilihan tipe ini dengan pertimbangan mudah didapatkan dengan harga yang relatif murah dibanding tipe lain yang sejenis. Selain itu ATmega8 memiliki kecepatan 1MIPS per MHz, sambungan I/O sebanyak 25 pin, fitur ADC (*Analog to Digital Converter*) guna pembacaan data analog sensor, timer internal, dan kecepatan maksimum hingga 16MHz [30]. Gambar 17 menunjukkan konfigurasi pin dan bentuk dari ATmega8.

E. *State of Art* Penelitian

Terdapat banyak penelitian yang terkait dengan judul penelitian ini. Masing-masing menggunakan metode dan teknik yang berbeda. Beberapa diantaranya dirangkum pada Tabel 3.



Tabel 3: *State of Art*

Nama	Judul	Tahun	DC-DC	Metode	Sensor	Ulasan
Syafaruddin	ANN-Polar Coordinated Fuzzy Controller Based RealTime Maximum Power Point Tracking Control Of Photovoltaic System [19]	2009	Boost	Simulasi, ANN +FLC	Irradian matahari,Suhu,V PV	Algoritma ini menggunakan data radiasi matahari dan temperatur untuk menentukan estimasi tegangan maksimum (Vdc) dengan algoritma ANN yang menjadi pembanding untuk tegangan keluaran panel surya pada algoritma Fuzzy Logic.
Yuen-Haw Chang and Chia-Yu Chang	A Maximum Power Point Tracking of PV System by Scaling Fuzzy Control [20]	2010	Boost	Fuzzy Logic	V-I	Metode FLC dimodifikasi menjadi <i>scaling</i> FLC. Simulasi memperlihatkan respon <i>steady-state</i> dan respon dinamis untuk beban dan arus yang bervariasi. MPPT dapat digunakan untuk 1 atau 10 solar cell.
Christopher Lohmeier, Jianwu Zeng, Wei Qiao, Liyan Qu, and Jerry Hudgins	A Current-Sensorless MPPT Quasi-Double-Boost Converter for PV Systems [21]	2011	Boost	Hill Climbing	V	Besaran arus di prediksi berdasarkan pengukuran riak kapasitor pada DC-DC konverter. Nilai tersebut kemudian digunakan pada algoritma HC dalam menentukan <i>duty-cycle</i> yang optimal untuk mengontrol DC-DC converter.
D. K. Sharma and G. Purohit	Advanced Perturbation and Observation (P&O) based Maximum Power Point Tracking (MPPT) of a Solar Photo-Voltaic System[21]	2012	Boost	Incremental P&O	V, I	Algoritma P&O ditingkatkan untuk mendekati titik daya maksimum dengan osilasi minimum yang mungkin terjadi pada PV. Sistem ini akan mengoptimalkan penjejakan daya maksimum dengan kemungkinan osilasi yang kecil disekitar MPPs. daya maksimal dapat di optimalkan Poin dengan kemungkinan osilasi minimum sekitar daya maksimal poin (MPPs).
Patil Sahebrao Narsingrao, Dr. R. C. Prasad	Design and Implementation of MPPT Algorithm for Solar Energy System [26]	2013	Buck-boost	P&O	V, I	Sistem menggunakan PV 100 W yang Diimplementasikan dengan buck boost dc-dc converter menggunakan DSP controller untuk mengeksekusi algoritma MPPT yang digunakan. Hasil pengujian menunjukkan sistem sangat berguna untuk aplikasi hunian berdaya rendah.

bersambung ke halaman berikutnya



Tabel 3 –sambungan dari halaman sebelumnya

Nama	Judul	Tahun	DC-DC	Metode	Sensor	Ulasan
Duy C. Huynh, Tuong M.Nguyen, dkk.	Global MPPT of Solar PV Modules using a Dynamic PSO Algorithm under Partial Shading Conditions [13]	2013	-	PSO	V, I	Algoritma PSO dinamis digunakan untuk menentukan MPP global modul PV surya. Hasil simulasi dari tracking Efisiensi yang diperoleh dibandingkan dengan hasil yang dicapai dengan menggunakan algoritma lainnya. Efisiensi pelacakan yang dicapai oleh algoritma ini selalu lebih tinggi dari 95%.
Yi-Hsiang Wang, Wen-Chuen Liu, Tai-Haur Kuo	A 200W MPPT Boost Converter for BIPV Applications with Integrated Controller [22]	2014	Boost	P&O	V, I	Rangkaian yang di desain menggunakan IC MPPT $1.5mm^2$. Efisiensi pelacakan mencapai 99,9% dan efisiensi daya 95% efisien. Tidak hanya menawarkan biaya rendah tapi juga ukuran perangkat yang kecil. Desain dapat diaplikasikan pada berbagai jenis dc-dc konverter.
Kai Chen, Shulin Tian, Yuhua Cheng, and Libing Bai	An Improved MPPT Controller for Photovoltaic System Under Partial Shading Condition [23]	2014	Boost	modified GMPP	V, I	Metode yang digunakan memiliki kelebihan dalam mendeteksi kondisi parsial, menghitung jumlah puncaknya pada kurva P-V, dan memprediksi lokasi GMPP dan LMPP. Metode baru dapat dengan cepat menemukan GMPP, dan menghindari banyak kerugian energi akibat <i>blind scan</i> .
Satyajit Mohanty, Bidyadhar Subudhi, Pravat Kumar Ray	A New MPPT Design Using Grey Wolf Optimization Technique for Photovoltaic System Under Partial Shading Conditions [24]	2015	Boost	GWO	V, I	Metode yang digunakan dapat mengatasi masalah efisiensi pelacakan yang rendah, osilasi <i>steady state</i> , dan transien yang ditemukan pada P&O, PSO, IPSO. Algoritma GWO-MPPT diimplementasikan pada sistem PV menggunakan MATLAB / SIMULINK.
A. A. S. Mohamed, Alberto Berzoy and Osama Mohammed	Design and Hardware Implementation of FLMPPT Control of PV Systems Based on GA and Small-Signal Analysis [25]	2016	Cuk	GA, FLC	V, I	Kendali digerakkan oleh fuzzy MPPT yang memiliki kemampuan untuk mempertahankan efisiensi konversi energi yang tinggi dalam kondisi beban dan cuaca yang berbeda. FLC dikombinasikan dengan kendali cerdas untuk menghasilkan sistem kendali yang maksimal.

bersambung ke halaman berikutnya

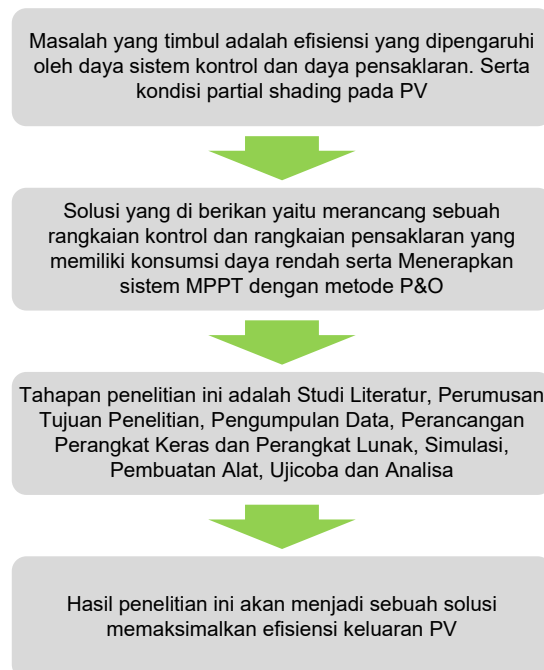


Tabel 3 –sambungan dari halaman sebelumnya

Nama	Judul	Tahun	DC-DC	Metode	Sensor	Ulasan
Shiqing Tang, Yize Sun, Yujie Chen, Yim-an Zhao, Yunhu Yang, and Warren Szeto	An Enhanced MPPT Method Combining Fractional-Order and Fuzzy Logic Control [25]	2017	Boost	GA, Fractional order FLC	V, I	Algoritma menggunakan FOFLC MPPT. Faktor FO yang berbeda digunakan dalam FLC untuk mencapai kecepatan akurasi MPPT. Hasil simulasi dan eksperimen menunjukkan bahwa metode yang dipakai dapat mencapai kinerja yang lebih baik dalam kondisi yang berbeda.

F. Kerangka Pikir

Kerangka Pikir penelitian ini ditunjukkan dalam blok diagram pada Gambar 18 berikut:



Gambar 18: Kerangka Konseptual Penelitian

