

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel II - 1.</b> Keterangan Variabel pada Parameter Penggunaan <i>Solar Cell</i> .....	8
<b>Tabel II - 2.</b> Tabel Fuzzy Rule .....	15
<b>Tabel II - 3.</b> Fungsi Keanggotaan Input Fuzzifikasi <i>Error</i> .....	17
<b>Tabel II - 4.</b> Fungsi Keanggotaan Input $\Delta Error$ .....	17
<b>Tabel II - 5.</b> Keterangan Variabel pada Analisa IBB.....	22
<b>Tabel II - 6.</b> Konfigurasi <i>Duty Cycle</i> pada PWM Switch Rangkaian IBB.....	23
<b>Tabel II - 7.</b> Konfigurasi <i>Prescale</i> dengan Nomor Urut Pembagi dan Frekuensi PWM Mikrokontroler Arduino Nano.....	26
<b>Tabel III - 1.</b> Parameter Panel Surya Monocrystalline50WP.....	29
<b>Tabel III - 3.</b> Parameter perhitungan Buck-Boost Converter .....	30
<b>Tabel III - 4.</b> Rancangan Keseluruhan Rangkaian IBB Converter .....	35
<b>Tabel III - 5.</b> Spesifikasi Arduino Nano .....	36
<b>Tabel III - 6.</b> Spesifikasi Baterai Lead-Acid UU12-17 LiFePO <sub>4</sub> .....	37
<b>Tabel III - 7.</b> Spesifikasi Sensor Arus ACS712-20A.....	39
<b>Tabel III - 8.</b> Spesifikasi Sensor Tegangan.....	40
<b>Tabel III - 9.</b> Keterangan Pin LCD 20x4.....	41
<b>Tabel IV - 1.</b> Data Hasil Pengujian Sensor Tegangan Sebelum Kalibrasi.....	46
<b>Tabel IV - 2.</b> Data Hasil Pengujian Sensor Tegangan Setelah Kalibrasi.....	48
<b>Tabel IV - 3.</b> Data Hasil Pengujian Sensor ACS712-20A Sebelum Kalibrasi .....	50
<b>Tabel IV - 4.</b> Data Hasil Pengujian Sensor ACS712-20A Setelah Kalibrasi.....	51
<b>Tabel IV - 5.</b> Data Pengujian Perbandingan Tegangan Keluaran Op-Amp dengan Kapasitor .....	54
<b>Tabel IV - 6.</b> Data Nilai $V_{out}$ pada $F_s$ 31,37kHz dan 62,5kHz .....	55

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Energi listrik dapat dipasok dari berbagai macam sumber energi [2]. Sebagai contoh, pada penelitian kali ini sumber energi listrik didapatkan dari sumber energi terbarukan, tepatnya radiasi matahari menggunakan media sel surya [2]. Salah satu bentuk pengimplementasian dari penggunaan energi alternatif tersebut ialah kendaraan listrik, dimana kendaraan listrik menyimpan energi yang didapatkan dari sistem fotovoltaik ke dalam tempat penyimpanan daya. Terdapat beberapa sistem yang sudah ada dan sedang dikembangkan dalam pengimplementasian energi alternatif berbasis tenaga surya sebagai sumber energi pada kendaraan listrik. Namun yang menjadi permasalahannya ialah bagaimana cara memaksimalkan kinerja sistem serta efisiensi transmisi daya dari PV ke dalam tempat penyimpanan energinya.

Oleh karena itu, untuk memaksimalkan tingkat efisiensi transmisi daya dari panel surya ke dalam tempat penyimpanan daya, dirancanglah sebuah *solar charge controller* dengan metode *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) menggunakan *buck-boost converter* pada sistem fotovoltaik tersebut. MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) sendiri merupakan sebuah sistem elektronik yang sangat dibutuhkan pada setiap perancangan sistem PV agar dapat dihasilkan daya yang maksimal [3]. Dapat dikatakan bahwa MPPT disini berbeda dengan sistem pelacak mekanik yang digunakan untuk mengubah posisi modul terhadap posisi matahari untuk mendapatkan energi maksimum, melainkan berfokus pada sisi sistem kendali pengisian dayanya [3].

Sebelumnya sudah ada banyak penelitian mengenai *charge controller* berbasis fotovoltaik ini sendiri dengan berbagai macam jenis metode yang digunakan. Antara lain menggunakan metode *Perturb and Observe* (P&O) yang bersifat konvensional maupun metode *Artificial Neural Network* (ANN) yang sudah menggunakan *Artificial Intelligence* (AI), guna mendapatkan *charge controller* yang *adaptive* dan mempunyai sistem *tracking* yang tepat dan cepat dalam pengimplementasiannya [3]–[6].

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini akan difokuskan pada perancangan sistem fotovoltaik berbasis MPPT dan *buck-boost converter* menggunakan mikrokontroler Arduino dengan menggunakan metode *Fuzzy Logic Controller* (FLC) untuk memaksimalkan pengisian daya pada tempat penyimpanan daya berupa beban baterai.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang sudah dipaparkan di atas, maka dapat dirumuskan beberapa masalah yang berkaitan dengan topik yang sudah dipilih sebagai berikut :

1. Apa keunggulan dari algoritma *fuzzy logic controller* dalam proses pengolahan data pada perancangan *charge controller* sistem *photovoltaic*?
2. Bagaimana kinerja *charge controller* berbasis MPPT FLC dengan *buck-boost converter* saat terjadi osilasi daya pada PV yang disebabkan oleh *partial shading* ?

## 1.3 Tujuan dan Manfaat

Tujuan yang ingin dicapai dalam pembuatan Tugas Akhir ini adalah :

1. Merancang dan membuat DC-DC *converter* sebagai *solar charge controller* dengan sistem Fuzzy MPPT menggunakan *buck-boost* konverter untuk menghasilkan daya keluaran yang paling optimal mendekati titik Mpp PV
2. Mengimplementasikan metode Fuzzy MPPT pada *solar charge controller* untuk meningkatkan nilai efisiensi transmisi daya dari PV ke tempat penyimpanan daya dengan kecepatan *tracking* data yang tinggi dan *adaptive* dalam kondisi *partial shading* pada PV.

Adapun manfaat yang ingin dicapai dalam pembuatan Tugas Akhir ini ialah untuk merancang *charge controller* berbasis fotovoltaik dengan menggunakan sistem MPPT yang mudah diimplementasikan dan mempunyai tingkat efisiensi yang tinggi dalam proses *tracking* data serta *adaptive* dalam setiap kondisi yang ada.

## 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam pembuatan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Menggunakan satu modul panel surya monocrystalline 50 WP.

2. Rangkaian *buck-boost* konverter hanya bekerja pada mode boost saja, dikarenakan pada pengujian pengaplikasian sistem fotovoltaik masih dalam skala kecil.
3. Menggunakan Arduino sebagai mikrokontroler dalam perancangan sistem MPPT.
4. Menggunakan baterai 12 Volt 17 Ah.
5. Monitoring data dari sistem *charge controller* ditampilkan menggunakan LCD 20x4 yang terintegrasi dengan mikrokontroler.
6. 2 Buah *driver motor* dengan motor dc 12 Volt akan digunakan sebagai perumpamaan roda dari kendaraan listrik.

### **1.5 Metode Penelitian**

Metode penelitian yang digunakan dalam pelaksanaan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Studi Literatur, metode ini digunakan untuk memahami konsep yang menunjang pengerjaan Tugas Akhir ini, Adapun sumber yang dijadikan acuan ialah jurnal, *text book* dan website terpercaya.
2. Melakukan perancangan pemrograman dengan menggunakan bahasa C pada Arduino IDE
3. Melakukan perhitungan rancangan spesifikasi komponen yang akan digunakan pada alat yang akan dibuat.
4. Pengujian alat yang telah dibuat untuk melihat performansi sistem yang bekerja.
5. Penyusunan buku tugas akhir yang dilakukan bersamaan dengan penelitian Tugas Akhir.

### **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan yang digunakan untuk pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. BAB 1 Pendahuluan

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah, metode penelitian, dan sistematika penulisan buku Tugas Akhir.

2. BAB II Tinjauan Pustaka

Pada bab ini akan dijelaskan berbagai teori yang berkaitan dengan penelitian Tugas Akhir.

3. BAB III Perancangan Sistem

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai perancangan sistem yang terdiri dari perancangan perangkat keras dan perancangan perangkat lunak.

4. BAB IV Hasil dan Analisis

Pada bab ini akan dipaparkan hasil dan analisis dari pengujian yang dilakukan terhadap sistem dan subsistem.

5. BAB V Kesimpulan dan Saran

Pada bab ini hasil dari pengujian dan analisis akan disimpulkan dan juga terdapat saran untuk mengembangkan penelitian ini kedepannya.

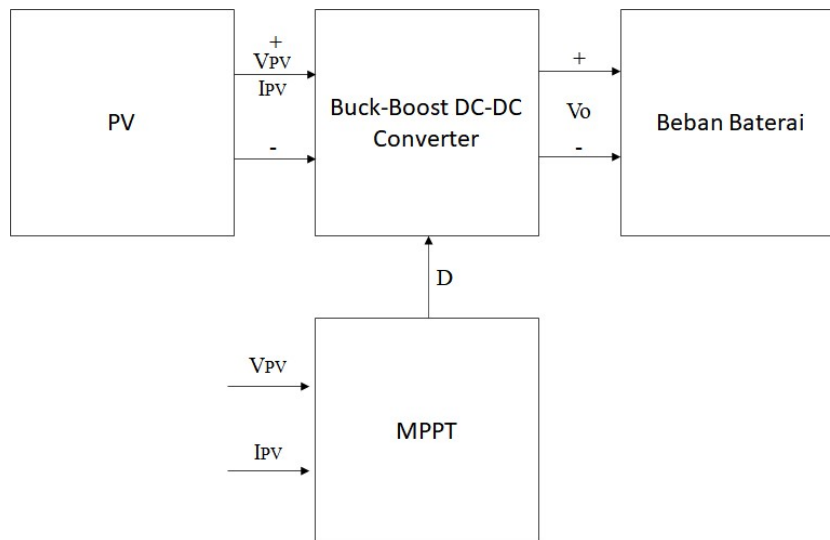
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas teori dasar mengenai perancangan sistem kendali pengisian daya fotovoltaik untuk mendukung Tugas Akhir ini. Hal – hal yang dibahas pada bab ini meliputi prinsip kerja alat dan tinjauan pustaka permasalahan.

#### 2.1 Prinsip Kerja Alat

Sistem kendali pengisian daya fotovoltaik atau *solar charge controller* ini dibuat dengan metode MPPT (*Maximum Power Point Tracker*) untuk tempat penyimpanan daya menggunakan baterai sebagai solusi untuk memaksimalkan tingkat efisiensi pengisian daya dari panel surya, dimana *charge controller* akan menghasilkan tegangan sedekat mungkin dengan titik  $V_{mpp}$  pada PV dalam kondisi iradiasi yang berbeda beda. Dengan konsep sistem sebagai berikut, pada Gambar II -1.



**Gambar II - 1.** Sistem pada *Charge Controller* Fotovoltaik Berbasis *Fuzzy Logic Controller*

Berdasarkan Gambar II -1 di atas, dapat dijelaskan bahwa :

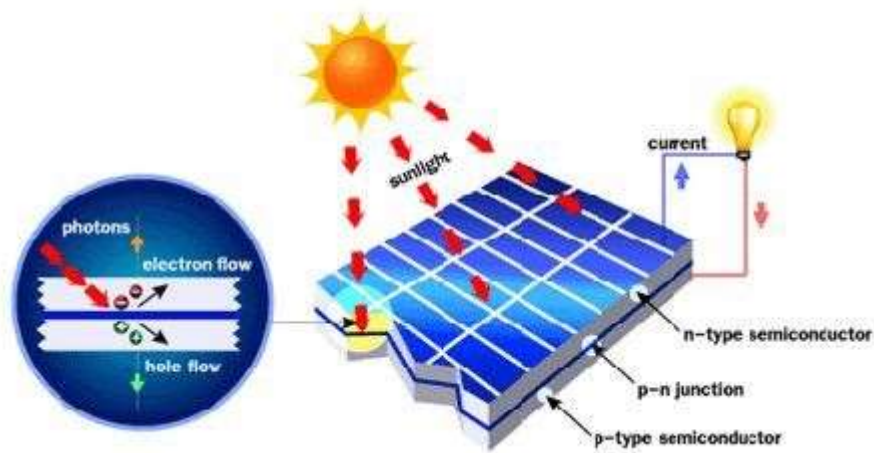
1. PV bekerja sebagai komponen pengubah energi matahari menjadi energi listrik.

2. Sensor arus dan tegangan digunakan pada bagian masukan dan keluaran dari *dc-dc buck-boost* konverter untuk membaca tegangan dan arus masuk maupun keluar sebagai *feedback* untuk sistem MPPT.
3. Sistem MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) dirancang menggunakan mikrokontroler Arduino dengan metode FLC (*Fuzzy Logic Controller*) untuk pengolahan datanya, yang didapat dari sensor arus dan tegangan.
4. Beban berupa baterai akan mendapatkan daya dari keluaran rangkaian *buck-boost* converter, dengan besarnya daya yang disalurkan bergantung pada sistem MPPT yang digunakan.

## 2.2. Energi Alternatif Berbasis Tenaga Surya

Pada penelitian kali ini, sumber energi utama dihasilkan dari iradiasi modul panel surya yang terpapar radiasi matahari, dimana modul panel surya tersebut digunakan sebagai alat untuk mengkonversi radiasi matahari menjadi energi listrik masukan untuk menyuplai komponen penyimpan daya [7]. Energi surya sendiri merupakan suatu bentuk energi yang tidak akan habis ketersediaannya, dikarenakan matahari akan selalu memancarkan radiasi ke bumi. Bicara soal radiasi matahari, radiasi matahari sendiri merupakan suatu bentuk energi yang dipancarkan oleh matahari dan mempunyai suhu lebih dari nol yang bernilai mutlak. Radiasi matahari yang dipancarkan ke bumi ini disebut insolasi yang berasal dari kata *insolation* atau *incoming solar radiation* [7].

Maka dari itu, sel surya (*solar cell*) adalah suatu *device* atau komponen yang dapat menghasilkan energi listrik dari hasil pengkonversian cahaya matahari menjadi energi listrik dengan prinsip efek fotovoltaiik. Efek fotovoltaiik sendiri merupakan suatu kondisi dimana munculnya tegangan listrik dikarenakan terdapat hubungan atau kontak antara dua elektroda yang dihubungkan dengan suatu sistem padatan maupun cairan saat mendapatkan energi cahaya [8].



**Gambar II - 2.** Skema *Solar Cell* [8]

Dapat dikatakan bahwa intensitas radiasi matahari merupakan sumber energi dari sel surya itu sendiri, sehingga perubahan radiasi tersebut dapat mempengaruhi *output* daya dan efisiensi dari sel surya. Parameter yang sangat dipengaruhi oleh radiasi matahari adalah *output current* (I) dari sel surya dan berbanding terbalik terhadap nilai tegangan (V). Berbanding terbalik dengan pengaruh radiasi matahari terhadap keluaran daya dan efisiensi sel surya, terdapat parameter lain yang berpengaruh terhadap keluaran tersebut, yaitu pengaruh temperatur / suhu. Pengaruh temperatur berbanding terbalik dengan pengaruh radiasi terhadap keluaran daya dan efisiensi sel surya, yang mana sel surya bekerja secara optimal pada suhu stabil di angka 25°C, apabila suhu meningkat, maka akan berpengaruh besar terhadap *fill factor* yang menyebabkan tegangan (V) akan menurun.

Adapun beberapa parameter yang perlu diperhitungkan dalam penggunaan Sistem Pembangkit Tenaga Surya (PLTS), antara lain yaitu faktor pengisian/*fill factor*, daya keluaran dari panel surya, daya masukan panel surya dan efisiensi maksimum dari panel surya. Parameter-parameter tersebut dapat dihitung dengan Persamaan 2.1 sampai Persamaan 2.5 di bawah ini [9].

*Faktor pengisian/Fill Factor (FF)*

$$FF = \frac{VmIm}{VocIsc} \quad (2.1)$$



*Daya Keluaran Sel Surya Pout (W)*

$$P_{out} = V_{oc} \cdot I_{sc} \cdot FF \quad (2.3)$$

*Daya Masukan Sel Surya Pin (W)*

$$P_{in} = E \cdot A \quad (2.4)$$

*Efisiensi Maksimum Sel Surya  $\eta_m$  (%)*

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \cdot 100\% \quad (2.5)$$

Adapun keterangan dari masing-masing variabel dan satuan pada Persamaan 2.1 sampai Persamaan 2.5 akan dirincikan pada Tabel II-1 di bawah ini.

**Tabel II - 1.** Keterangan Variabel pada Parameter Penggunaan *Solar Cell*

<b>Variabel</b>	<b>Keterangan</b>
E	Radiasi matahari (W/m <sup>2</sup> )
A	Luas permukaan sel surya (m <sup>2</sup> )
FF	<i>Fill Factor</i>
V <sub>m</sub>	Tegangan maksimum sel Surya (V)
I <sub>m</sub>	Arus maksimum sel Surya (A)
V <sub>oc</sub>	Open Circuit Voltage (V)
I <sub>sc</sub>	Short Circuit Current (A)
$\eta_m$	Efisiensi sel Surya (%)
P <sub>out</sub>	Daya keluaran sel Surya (W)
P <sub>in</sub>	Daya masukan sel Surya (W)

### 2.2.1 Karakteristik Panel Surya

Panel Surya merupakan alat yang digunakan untuk mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik [8]. Panel surya terbuat dari bahan semikonduktor, bahan yang paling sering digunakan ialah silikon. Bahan silikon yang dipakai pada panel surya dapat berperan sebagai konduktor maupun isolator. Hal yang mempengaruhi kinerja dari panel surya sendiri ialah temperatur dan intensitas cahaya matahari yang

dipaparkan ke permukaan sel surya. Saat panel surya terpapar oleh cahaya matahari pada temperature tertentu, maka panel surya dapat menghasilkan arus.

Besarnya arus yang dihasilkan oleh panel surya berbanding lurus dengan besarnya intensitas cahaya matahari yang dipaparkan ke permukaan sel surya. Besarnya intensitas cahaya matahari akan berubah-ubah sesuai dengan pergeseran posisi matahari dan kondisi cuaca. Masing-masing modul fotovoltaik memiliki banyak variasi meliputi daya maksimum, tegangan, dan arus yang mampu dihasilkan oleh modul saat beroperasi. Setiap modul fotovoltaik mempunyai parameter yang berbeda-beda, meliputi perbedaan nilai  $V_{oc}$  (*open circuit voltage*) dan  $I_{sc}$  (*short circuit current*). Fotovoltaik mempunyai spesifikasi pemakaian dalam keadaan ideal yang biasa disebut dengan *standard condition*, dimana sel surya akan beroperasi pada saat intensitas cahaya matahari  $1000\text{W}/\text{m}^2$  dan temperature sebesar  $25^{\circ}\text{C}$ .

### **2.3 Solar Charge Controller**

*Solar charge controller* atau sistem kendali pengisian daya sistem fotovoltaik merupakan alat untuk mengatur arus pengisian ke baterai guna meminimalisir terjadinya *overcharging* dan *overvoltage* yang dapat mengakibatkan baterai mudah rusak[10]. Selain itu *charge controller* juga mengatur arus yang dilepas atau diambil dari baterai agar baterai tidak dalam keadaan *full discharge* dan *overloading*, disini lain *charge controller* ini juga dapat digunakan untuk *memonitoring* temperatur baterai[10].

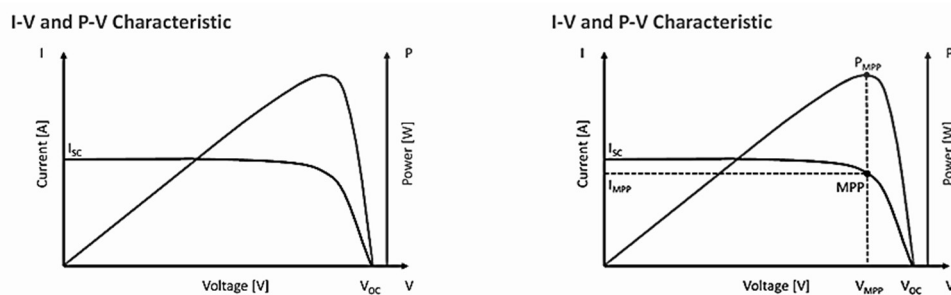
Adapun jenis atau tipe dari *solar charge controller* itu sendiri terbagi menjadi dua, yaitu tipe PWM dan MPPT [10]. Keduanya memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing yang mengacu kepada kondisi dan kebutuhan yang ada. Jika dilihat dari kualitas pengisian daya baterai, tipe MPPT memiliki keunggulan dibandingkan dengan tipe PWM [10]. Dikarenakan tipe MPPT dapat memaksimalkan faktor pengisian daya yang relatif lebih luas dibandingkan tipe PWM, hal ini dapat dilihat dari fungsi MPPT yang dapat mendeteksi daya yang dihasilkan solar panel walaupun sangat minim, sehingga dapat mengisi kapasitas baterai [10].

Berdasarkan hal tersebut, pada penelitian kali ini akan dirancang sebuah *solar charge controller* dengan tipe MPPT berbasis sistem fotovoltaik, dimana tipe MPPT lebih efisien digunakan berdasarkan kondisi yang ada, yaitu memaksimalkan pengisian daya baterai dari panel surya walaupun daya yang dihasilkan panel surya sangat minim diakibatkan adanya *partial shading*.

### 2.3.1 Maximum Power Point Tracking (MPPT )

*Maximum Power Point Tracking* (MPPT) ialah sebuah sistem elektronik yang sangat dibutuhkan pada setiap perancangan sistem PV agar dapat dihasilkan daya yang maksimal [11]. Dan dapat dikatakan bahwa MPPT disini berbeda dengan sistem pelacak mekanik yang digunakan untuk mengubah posisi modul terhadap posisi matahari untuk mendapatkan energi maksimum, melainkan berada pada sisi *Inverter* dan sistem kendali pengisian dayanya [12].

Radiasi matahari serta temperatur modul panel surya merupakan faktor yang sangat menentukan besar kecilnya nilai energi listrik yang dapat dikeluarkan oleh sistem fotovoltaik [11], [12]. Parameter tersebut menjadikan kurva karakteristik daya dari *output* sel fotovoltaik tidak sebanding dengan perubahan masukannya atau dapat dikatakan *non-linear*. Saat merancang sistem fotovoltaik yang efisien dan baik maka kita tidak akan terlepas dari penjejak (*tracker*) dan *maximum power point* (MPP) yang berada pada kurva karakteristik *output* daya dari sel fotovoltaik [11], [12]. Yang menjadi acuan merupakan kondisi dimana *output* daya yang dihasilkan oleh sistem fotovoltaik paling maksimum.



**Gambar II - 3.** Kurva Karakteristik I-V dan P-V[11]

### 2.3.2 Pengembangan *Solar Charge Controller* Berbasis MPPT

**Tabel II - 2.** Pengembangan *Maximum Power Point Tracking* [3]–[6].

NO	Penulis	Judul	Sensor	Metode
1	Betantya Nugroho, S. Handoko, Trias Andromeda	Perancangan <i>Maximum Power Point Tracking</i> Panel Surya Menggunakan <i>Buck Boost Converter</i> . dengan Metode <i>Incremental Conductance</i>	Sensor arus dan tegangan.	<i>Incremental Conductance</i> (konvensional) dengan kecepatan <i>tracking</i> tergolong tinggi namun kompleks.
2	L. Mohamed, Ali K. Abdel Rahman, M. Abdel Salam, S. Ookawara	<i>Performance Enhancement of Constant Voltage Based MPPT for Photovoltaic Applications Using Genetic Algorithm</i>	Sensor tegangan.	<i>Genetic Algorithm</i> dengan kecepatan <i>tracking medium</i>
3	Y. Munandar Kolewora , F. Eka , Suharyanto	MPPT BERDASARKAN ALGORITMA P&O DAN IC PADA INTERLEAVED- FLYBACK 250W	Sensor arus dan tegangan.	<i>Incremental Conductance &amp; Perturb and Observe</i> (konvensional)
4	Vinet, Luc Zhedanov, Alexei	DESAIN SISTEM MPPT PADA SISTEM PHOTOVOLTAIC BERBASIS ARTIFICIAL	Sensor irradiasi dan temperatur	<i>Artificial neural network (artificial intelligent)</i> dengan kecepatan <i>tracking</i> sangat tinggi dan <i>adaptive</i>

		NEURAL NETWORK (ANN) PADA KONDISI PARTIAL SHADING		
--	--	---	--	--

Dari penelitian-penelitian terkait berikut, dapat disimpulkan bahwa perancangan *charge controller* berbasis MPPT telah banyak dilakukan menggunakan berbagai macam metode yang ada guna mendapatkan *charge controller* yang *adaptive* dan mempunyai *tracking* yang tepat dan cepat dalam pengimplementasiannya [3]–[6]. Seperti menggunakan metode *perturb & observe* yang termasuk dalam kategori konvensional dengan kecepatan *tracking* yang tidak terlalu tinggi dan tidak *adaptive* atau menggunakan metode *incremental conductance* yang juga termasuk dalam kategori metode konvensional dengan kecepatan *tracking* data yang tinggi dan *adaptive*.

Pengaplikasian *artificial intelligent* (AI) di dalam sistem MPPT seperti pada metode *artificial neural network* mempunyai kelebihan pada kecepatan melacak data yang sangat tinggi dan *adaptive* [6]. Maka dari itu, pada penelitian kali ini telah dirancang *charge controller* berbasis MPPT dengan menggunakan metode *fuzzy logic controller* yang juga merupakan metode dengan pendekatan *artificial intelligent* pada pengaplikasiannya. Dimana kelebihan dari metode *fuzzy logic controller* dalam pengaplikasian pada sistem MPPT adalah kecepatan tracking data yang cepat dan dapat diatur sesuai kebutuhan, juga minim terjadi osilasi daya karena perubahan nilai *dutycycle* pada proses pensaklaran lebih stabil [11].

### 2.3.3 Algoritma *Fuzzy Logic Controller*

Logika fuzzy sendiri merupakan metode pada sistem komputasi yang digunakan untuk menguraikan suatu masalah yang memuat ketidakpastian [13]. Logika fuzzy memberdayakan komputer untuk bisa berfikir dalam menyimpulkan suatu kondisi dari banyaknya parameter yang dipertimbangkan layaknya manusia, seperti menimbang suatu informasi yang berubah-ubah, memprosesnya hingga mendapatkan kesimpulan

berdasarkan data itu sendiri. Pada penggunaannya, metode ini mempunyai keuntungan yaitu dapat bekerja walaupun data yang *diinput* yang tidak tepat, metode ini tidak memerlukan model serta perhitungan matematis yang kompleks, namun dapat menangani ketidak-linearitasan data yang akan diolah secara baik [13].

Pada metode logika fuzzy terdapat suatu teori dimana variabel yang digunakan merupakan anggota dari suatu bagian (*set*) ataupun dari beberapa bagian (*set*), dengan susunan keanggotaan yang sudah dispesifikasi terlebih dahulu, teori ini disebut dengan teori *fuzzy set* atau himpunan samar [14]. Logika fuzzy menggunakan teori fuzzy set, dimana sebuah variabel adalah anggota dari satu atau beberapa set, dengan tingkat keanggotaan yang telah dispesifikasi [14]. Maka dari itu teori *fuzzy set* ini dapat menjadi solusi untuk menguraikan suatu permasalahan yang tidak pasti hingga didapatkan suatu simpulan akhir dari proses uraian tersebut, karena pada dasarnya informasi (kualitatif) dari suatu permasalahan akan sulit diuraikan ke dalam rumus matematis atau angka yang konkret.

Pada metode logika fuzzy, suatu sistem dapat dikatakan lengkap apabila ia memiliki tiga komponen utama, yaitu *fuzzification*, *inference* dan *defuzzification*. Berikut merupakan penjelasan singkat dari ketiga komponen utama tersebut [14]:

### **1. Fuzzifikasi**

Pada tahap *fuzzification*, *input* nilai yang bersifat pasti atau biasa disebut dengan *crisp input* akan diubah menjadi *fuzzy input* berupa ilmu bahasa (linguistik) dengan tanda/symbol yang telah ditentukan berdasarkan fungsi keanggotaannya.

### **2. Inference**

Selanjutnya pada tahap *inference*, sistem akan melakukan penganalisaan pada *fuzzy input* dan *rules* yang sudah ditentukan sebelumnya hingga didapatkan suatu keluaran yaitu *fuzzy output*. Dapat diketahui bahwa terdapat dua model aturan dalam metode fuzzy yang sampai sekarang telah digunakan secara luas, yang diantaranya ialah model mamdani dan model sugeno. Yang membedakan keduanya ialah bentuk *fuzzy outputnya*, dimana model mamdani mempunyai *output* berupa nilai linguistik