

***MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT)  
FUZZY LOGIC CONTROL PADA PANEL SURYA  
MENGUNAKAN BOOST CONVERTER***

**SKRIPSI**

Disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan dalam mendapatkan  
gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:  
**Arditiyanto Sutrisno**  
**3332131773**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA  
CILEGON  
2018**

## PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Dengan ini saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul:

***MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT) FUZZY LOGIC  
CONTROL PADA PANEL SURYA MENGGUNAKAN  
BOOST CONVERTER***

adalah hasil karya saya sendiri dan sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari karya orang lain yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk membuat gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Sultan Ageng Tirtayasa maupun di Perguruan Tinggi atau instansi manapun kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Cilegon, Juli 2018



**ARDITIYANTO SUTRISNO**

**NPM. 3332131773**

## PENGESAHAN PEMBIMBING

Skripsi dengan judul:

***MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT) FUZZY LOGIC  
CONTROL PADA PANEL SURYA MENGGUNAKAN  
BOOST CONVERTER***

Dipersiapkan dan disusun oleh:

Ardityanto Sutrisno

3332131773

Dibuat untuk melengkapi persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa telah diperiksa dan disetujui oleh pembimbing skripsi.

Cilegon, Juli 2018

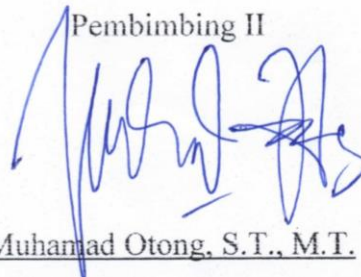
Pembimbing I



Dr. Romy Wiryadinata, S.T., M.Eng.

NIP. 198307032009121006

Pembimbing II

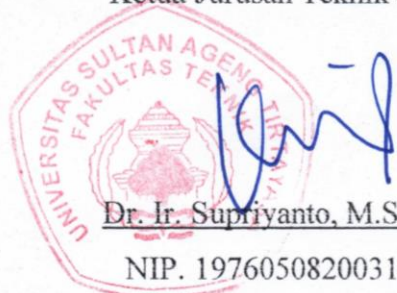


Muhamad Otong, S.T., M.T.

NIP. 197203192005011001

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro



Dr. Ir. Supriyanto, M.Sc., IPM.

NIP. 197605082003121002

## PENGESAHAN PENGUJI

Skripsi dengan judul:

***MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT) FUZZY LOGIC  
CONTROL PADA PANEL SURYA MENGGUNAKAN  
BOOST CONVERTER***

Dipersiapkan dan disusun oleh:

Arditiyanto Sutrisno

3332131773

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji  
Pada Tanggal 5 Juli 2018

Susunan Dewan Penguji

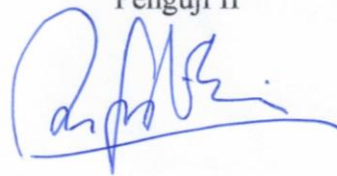
Penguji I



Dr. Ir. Wahyuni Martiningsih, M.T.

NIP. 196303132001122001

Penguji II



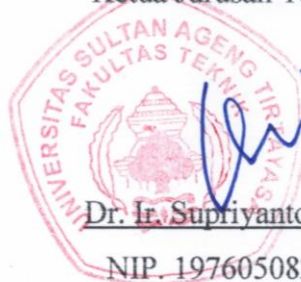
Muhammad Sadikin, S.T., M.T.

NIP. 197212102000121001

Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan  
untuk memperoleh gelar sarjana

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro



Dr. Ir. Supriyanto, M.Sc., IPM.

NIP. 197605082003121002

## ABSTRAK

Panel surya merupakan jenis pembangkit energi terbarukan yang banyak digunakan oleh masyarakat luas. Namun, dalam operasinya panel surya memiliki kekurangan yaitu efisiensi yang sangat rendah. Salah satu cara untuk meningkatkan kinerja panel surya adalah dengan menemukan titik MPP (*Maximum Power Point*) pada kurva *V-P* panel surya. Tujuan dari penelitian ini adalah menemukan titik maksimum panel surya sehingga daya *output* menjadi maksimal. Penelitian ini telah berhasil membuat model sistem MPPT berbasis panel surya dengan metode *fuzzy logic* menggunakan *boost converter*. Model yang dibuat disesuaikan dengan kondisi panel surya yang terdapat pada mobil tawon. Hasil dari penelitian ini berupa besar kenaikan daya *output* pada panel surya. Capaian daya maksimum panel surya dengan menggunakan MPPT mencapai 156,7 W dan tanpa MPPT adalah 104,9 W untuk beban 3  $\Omega$ , daya dengan MPPT 153,3 W dan tanpa MPPT 57,24 W untuk beban 6  $\Omega$ , serta daya dengan MPPT 99,65 W dan tanpa MPPT 29,69 W Untuk beban 12  $\Omega$ . Hasil ini diperoleh saat nilai iradiasi dan suhu masing-masing adalah 903,1 W/m<sup>2</sup> dan 38°C.

**Kata Kunci:** MPPT, *fuzzy logic*, panel surya, *boost converter*

## ABSTRACT

A solar panel is a kind of renewable energy generators are widely used by the community at large. However, in its operation of solar panels have a weekness that is a very low efficiency. One way to improve the performance of solar panels is to find the point of MPP (Maximum Power Point) on the P-V curve on solar panels. The purpose of this research is to find the point of maximum power output on a solar panel so that it becomes the maximum. As for this research has managed to create a model of the system-based solar panels with MPPT methods of fuzzy logic using boost converter. Models created with customized conditions of solar panels on the car of wasps. The results of this research in the form of a huge increase in power output on the solar panels. Final Result of maximum power the solar panels with MPPT using reached 156,7 W and without MPPT is 104,9 W on 3  $\Omega$  load, power with MPPT is 153,3 W and without MPPT is 57,24 W on 6  $\Omega$  load, as well as power with MPPT is 99,65 W and without MPPT is 29,69 W on 12  $\Omega$  load. This result is achieved when the value of the irradiation and temperature respectively are 903,1 W/m<sup>2</sup> and 38 °C.

**Keywords:** MPPT, solar panel, fuzzy logic, boost converter

## PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT. yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi dengan judul ***Maximum Power Point Tracking (MPPT) Fuzzy Logic Control Pada Panel Surya Menggunakan Boost Converter.***

Skripsi ini berisi tentang perancangan MPPT dengan hasil berupa besar kenaikan daya yang dikeluarkan oleh panel surya. Alat ini merupakan metode untuk menemukan titik daya maksimum panel surya sehingga operasi kerja panel surya menjadi lebih efektif. Dengan skripsi ini diharapkan dapat memudahkan setiap pengguna dalam merancang Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) untuk memenuhi kebutuhan energi dalam kehidupan sehari-hari.

Terimakasih yang sebesar-besarnya saya sampaikan kepada Bapak Dr. Romi Wiryadinata, S.T., M.Eng. dan Bapak Muhamad Otong, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing skripsi yang telah dengan sabar membimbing penulis selama penyusunan skripsi ini. Terimakasih juga kepada Bapak Muhammad Sasikin, S.T., M.T. selaku pembimbing akademik yang telah membimbing penulis dalam menempuh perkuliahan. Terimakasih atas waktu dan tenaga yang telah dicurahkan kepada penulis.

Selanjutnya, penulis juga mengucapkan terimakasih kepada Bapak Dr. Supriyanto, S.T., M.Sc. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Untirta yang telah mengizinkan penulis untuk menggunakan fasilitas jurusan untuk keperluan penyusunan skripsi ini. Kepada seluruh dosen Jurusan Teknik Elektro, penulis juga menyampaikan ucapan terimakasih atas ilmu-ilmu yang telah diberikan kepada penulis selama menjadi mahasiswa di JTE Untirta, semoga Allah membalas jasa bapak dan ibu dosen dengan kebaikan yang banyak.

Terakhir penulis mengucapkan ribuan terimakasih kepada kedua orang tua yang selalu mendoakan penulis. Teman-teman seperjuangan yang selalu memompa semangat kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan kuliah dengan baik. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat kepada semua kalangan khususnya insan akademik yang setiap hari bergulat dengan penelitian.

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	ii
PENGESAHAN PEMBIMBING.....	iii
PENGESAHAN PENGUJI.....	iv
ABSTRAK .....	v
ABSTRACT .....	vi
PRAKATA.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Panel Surya.....	6
2.1.1 Prinsip Kerja .....	7
2.1.2 Kurva Arus dan Tegangan ( <i>I-V</i> ).....	8
2.1.3 Faktor-faktor yang Memengaruhi Operasi Panel Surya .....	9
2.1.4 Efisiensi Panel Surya.....	11
2.2 <i>Maximum Power Point Tracking</i> .....	12
2.2.1 Metode <i>Incremental Conductance (INC)</i> .....	13
2.2.2 Metode <i>Perturbation and Observation (P and O)</i> .....	14
2.2.3 Metode <i>Fuzzy Logic</i> .....	16
2.3 DC-DC Converter .....	18
2.3.1 <i>Boost Converter</i> .....	20



2.3.2	Penentuan Komponen <i>Boost Converter</i> .....	22
2.4	Kajian Pustaka .....	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		24
3.1	Metodologi Penelitian .....	24
3.2.1	<i>Data Logger</i> .....	25
3.2.2	<i>Boost Converter</i> .....	26
3.2.3	Algoritma <i>Fuzzy Logic</i> .....	27
3.2	Instrumen Penelitian .....	28
3.2.1	Perangkat Keras ( <i>Hardware</i> ) .....	28
3.2.2	Perangkat Lunak ( <i>Software</i> ).....	30
3.2.3	Alat Ukur.....	30
3.3	Perancangan Penelitian.....	31
3.3.1	Perancangan <i>Data Logger</i> .....	31
3.3.2	Perancangan <i>Boost Converter</i> .....	32
3.3.3	Perancangan Algoritma <i>Fuzzy Logic</i> .....	32
3.3.4	Perancangan MPPT <i>Fuzzy Logic</i> .....	34
3.4	Tempat dan Waktu Penelitian .....	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....		36
4.1	Hasil.....	36
4.1.1	<i>Data Logger</i> .....	36
4.1.2	Pengujian Karakteristik Cuaca dan Panel Surya .....	37
4.1.3	<i>Boost Converter</i> .....	40
4.1.4	MPPT <i>Fuzzy Logic</i> .....	41
BAB V PENUTUP.....		51
5.1	Kesimpulan.....	51
5.2	Saran .....	51
DAFTAR PUSTAKA .....		52
LAMPIRAN .....		55
	Pengujian Sensor Pada <i>Data Logger</i> .....	A-1
	Pengujian Karakteristik Cuaca dan Panel Surya .....	B-1
	Perhitungan Panel Surya .....	C-1

Perhitungan <i>Boost Converter</i> .....	D-1
<i>Listing Program</i> MPPT.....	E-1

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
Tabel 2.1 Jenis dan Perbedaan Karakteristik Beberapa Metode MPPT.....	13
Tabel 3.1 Spesifikasi Panel Surya.....	28
Tabel 3.2 Spesifikasi Sensor BH1750.....	29
Tabel 3.3 Spesifikasi Sensor DHT11 .....	29
Tabel 3.4 Spesifikasi Arduino Uno.....	29
Tabel 3.5 Spesifikasi Sensor Tegangan .....	30
Tabel 3.6 Parameter <i>Boost Converter</i> .....	32
Tabel 3.7 <i>Membership Function</i> pada <i>Input E dan CE</i> .....	33
Tabel 3.8 <i>Membership Function</i> pada <i>Output DC</i> .....	33
Tabel 3.9 <i>Fuzzy Rules</i> .....	34
Tabel 4.1 Hasil Pengujian <i>Boost Converter</i> .....	40
Tabel 4.2 Parameter Iradiasi dan Temperatur .....	44

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
Gambar 2.1 Jenis-Jenis Panel Surya .....	6
Gambar 2.2 Karakteristik Kurva Arus Tegangan ( <i>I-V</i> ).....	8
Gambar 2.3 Kurva <i>V-I</i> Terhadap Perubahan Suhu.....	9
Gambar 2.4 Kurva <i>I-V</i> Terhadap Perubahan Iradiasi.....	11
Gambar 2.5 Diagram Blok MPPT.....	12
Gambar 2.6 <i>Flowchart</i> Algoritma INC.....	14
Gambar 2.7 Puncak Kurva Daya Sel Surya .....	15
Gambar 2.8 <i>Flowchart</i> Algoritma <i>P and O</i> .....	16
Gambar 2.9 Diagram Blok Kendali Logika <i>Fuzzy</i> .....	17
Gambar 2.10 <i>Duty Cycle</i> pada Sinyal PWM.....	19
Gambar 2.11 Rangkaian <i>Boost converter</i> .....	21
Gambar 2.12 Prinsip Kerja <i>Boost Converter</i> .....	21
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian .....	24
Gambar 3.2 Diagram Alir <i>Data Logger</i> .....	25
Gambar 3.3 Diagram Alir <i>Boost Converter</i> .....	26
Gambar 3.4 Diagram Alir MPPT <i>Fuzzy Logic</i> .....	27
Gambar 3.5 Diagram Blok <i>Data Logger</i> .....	31
Gambar 3.6 Diagram Blok Algoritma <i>Fuzzy Logic</i> pada MPPT .....	33
Gambar 3.7 Diagram Blok MPPT <i>Fuzzy Logic</i> .....	34
Gambar 4.1 <i>Data Logger</i> .....	36
Gambar 4.2 Posisi Panel Surya pada Mobil Tawon.....	37
Gambar 4.3 Grafik Iradiasi Matahari Terhadap Waktu .....	38
Gambar 4.4 Grafik Suhu Terhadap Waktu .....	38
Gambar 4.5 Grafik $V_{oc}$ Terhadap Waktu.....	39
Gambar 4.6 Bentuk Arus $I_L$ pada <i>Boost converter</i> .....	41
Gambar 4.7 Karakteristik Model Panel Surya saat $1000 \text{ W/m}^2$ .....	42
Gambar 4.8 Karakteristik Model Panel Surya saat $25^\circ\text{C}$ .....	43
Gambar 4.9 Pengujian tanpa MPPT.....	44
Gambar 4.10 Pengujian dengan MPPT .....	45

Gambar 4.11 <i>Membership Function</i> MPPT .....	46
Gambar 4.12 <i>Surface Fuzzy Logic</i> pada MPPT .....	46
Gambar 4.13 Perubahan <i>Duty Cycle</i> .....	47
Gambar 4.14 Hasil Pengujian pada $R = 3 \Omega$ .....	48
Gambar 4.15 Hasil Pengujian pada $R = 6 \Omega$ .....	49
Gambar 4.16 Hasil Pengujian pada $R = 12 \Omega$ .....	49

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Energi Baru dan Terbaruka (EBT) merupakan sumber energi yang ramah lingkungan dan tidak menimbulkan dampak terhadap perubahan iklim. Energi ini juga tidak mencemari lingkungan maupun pemanasan global, karena sumber energi ini berasal dari proses alam yang berkelanjutan. Sumber EBT diantaranya meliputi sinar matahari (surya), angin, air, bahan bakar nabati, dan panas bumi [1]. Tujuan dari pengembangan EBT adalah untuk mencapai target sebaran energi terbarukan sebesar 23% pada tahun 2025 dan 31% pada tahun 2050 sesuai dengan kebijakan energi nasional yang terkandung dalam Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 79 tahun 2014 [2]. Salah satu sumber EBT yang terbesar di Indonesia adalah energi surya.

Indonesia memiliki potensi energi surya sebesar 207,898 MW dengan rata-rata iradiasi matahari 4,8 kWh/m<sup>2</sup> setiap hari dan kapasitas yang terpasang sebesar 78,5 MW [3]. Data tersebut menunjukkan bahwa pemanfaatan energi surya di Indonesia belum sebanding dengan potensi yang ada, namun pertumbuhannya semakin meningkat dengan dibuktikan oleh meningkatnya penjualan perangkat Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).

PLTS merupakan sebuah sistem pembangkit listrik dengan memanfaatkan tenaga cahaya matahari sebagai sumber energinya. Energi cahaya matahari ditangkap dan dikonversikan menjadi energi listrik menggunakan efek *photoelectric* dengan bantuan alat yang dinamakan panel surya atau *photovoltaic*. Panel surya dapat beroperasi terus menerus selama permukaan panel surya terkena cahaya matahari. Daya yang dapat dikerluarkan panel surya bergantung pada iradiasi matahari dan temperatur permukaan. Tingkat iradiasi matahari dan temperatur yang berubah-ubah menyebabkan daya *output* dari panel surya juga bervariasi dan menjadi tidak maksimal [4].

Terdapat titik yang unik pada kurva tegangan terhadap arus ( $V-I$ ) dan tegangan terhadap daya ( $V-P$ ) pada panel surya yang dinamakan dengan titik *Maximum Power Point* (MPP) [5]. Titik tersebut menunjukkan bahwa panel surya

berada pada keadaan optimum baik dari tegangan maupun arus yang dihasilkan. Titik MPP ini letaknya tidak diketahui, namun dapat dicari dengan menggunakan metode penjejak yang biasa disebut dengan metode *Maximum Power Point Tracking* (MPPT). Metode MPPT akan mencari titik MPP sehingga didapat daya panel surya yang maksimum.

Metode MPPT pada panel surya bersifat elektronis karena menggunakan DC-DC *converter* yang terhubung ke beban. Parameter *input* pada metode MPPT bervariasi sesuai dengan kebutuhan dan jenis algoritma yang digunakan. *Output* MPPT berupa *duty cycle* yang digunakan untuk mengendalikan *output* tegangan pada DC-DC *converter*. Terdapat beberapa metode MPPT yang umum digunakan yaitu metode MPPT dengan algoritma *Incremental Conductance* (INC), metode MPPT dengan algoritma *Pertube and Observe* (*P and O*), dan metode MPPT dengan algoritma *fuzzy logic*.

Penelitian mengenai perancangan MPPT dengan algoritma INC menggunakan nilai tegangan dan arus panel surya sebagai parameter *input*. Jenis *converter* yang digunakan yaitu *buck boost converter*. Hasil pengujian MPPT pada penelitian ini mampu mencari daya maksimum rata-rata panel surya sebesar 5,99% pada iradiasi 1000 W/m<sup>2</sup> dan pada naik 18,97% saat iradiasi 750 W/m<sup>2</sup> [6].

Algoritma *P and O* pada MPPT beroperasi dengan memberi *perturbation* tegangan atau arus pada terminal panel surya dan membandingkan daya yang dihasilkan dengan daya *output* panel surya. Konfigurasi *perturbation* yang sesuai diperlukan untuk mendapatkan nilai daya *output* yang optimum. Hasil penelitian MPPT menggunakan *P and O* dengan parameter *perturbation* 0,1 mampu meningkatkan daya *output* panel surya sebesar 37,24 % dari daya *output* tanpa menggunakan MPPT [7].

Metode MPPT dengan algoritma *fuzzy logic* mengatur parameter *input* seperti tegangan referensi, suhu, dan iradiasi untuk menghasilkan *duty cycle*. Tahap ini terus dilakukan dengan nilai *duty cycle* yang berbeda hingga ditemukan titik kerja yang dapat menghasilkan daya maksimum oleh panel surya. Hasil penelitian MPPT menggunakan algoritma *fuzzy logic* mampu meningkatkan daya *output* sebesar 21,61% pada beban 10  $\Omega$  [8].

Pencapaian efisiensi daya *output* pada metode *fuzzy logic*, lebih baik dari pada metode *P and O*. Hasil pengujian efisiensi yang dilakukan pada kondisi *Standard Test Condition* (STC) menunjukkan metode *fuzzy logic* memiliki efisiensi 98% sedangkan metode *P and O* memiliki efisiensi 97% [9]. Metode *fuzzy logic* juga memiliki kecepatan dan akurasi yang baik dalam melakukan penjejakan daya maksimum [9].

Berdasarkan fakta-fakta di atas, penelitian ini dilakukan perancangan sistem MPPT dengan menggunakan metode *fuzzy logic*. Parameter iradiasi matahari dan temperatur pada penelitian ini sesuai dengan kondisi nyata panel surya yang terpasang pada mobil tawon. Pengujian dari penelitian ini yaitu mencari nilai daya maksimum dari sistem MPPT yang telah dimodelkan. Pemodelan sistem MPPT dilakukan dengan menggunakan *software* MATLAB 2017b. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan daya *output* panel surya yang maksimum.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dijelaskan, maka dapat dirumuskan suatu permasalahan yaitu daya yang dihasilkan oleh panel surya cenderung tidak maksimal saat dioperasikan pada beban yang bervariasi bersamaan dengan nilai iradiasi matahari dan temperatur yang fluktuatif.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah membuat sistem MPPT menggunakan metode *fuzzy logic* yang digunakan untuk memaksimalkan daya *output* pada panel surya.

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Berdasarkan tujuan penelitian yang telah dijelaskan, maka diharapkan penelitian ini dapat dijadikan sebagai sarana untuk menambah pengetahuan dan wawasan dalam penerapan teori-teori yang sudah diperoleh. Penelitian ini juga dapat dijadikan sebagai media untuk memperluas pengetahuan serta wawasan pada masyarakat mengenai kajian ilmiah atau penelitian tertentu berdasarkan teori yang



telah diuji kebenarannya. Manfaat bagi akademisi yang diharapkan yaitu penelitian ini dapat dijadikan sebagai acuan dalam pengembangan metode dan sistem MPPT yang lebih efektif.

### **1.5 Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Panel surya yang digunakan adalah panel surya yang terpasang pada bagian atap mobil tawon dengan kapasitas 200 *Watt Peak* (WP).
2. Parameter *input* MPPT yaitu nilai iradiasi matahari dan temperatur pada panel surya. Data yang digunakan merupakan data sebenarnya yang telah dilakukan pengukuran sebelumnya.
3. Beban yang digunakan adalah beban resistif.
4. Simulasi menggunakan *software* Matlab 2017b.

### **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan dalam menyusun skripsi ini dibagi menjadi beberapa bagian pembahasan sebagai berikut:

#### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini berisi uraian singkat mengenai isi penelitian yang meliputi latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

#### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini menjelaskan beberapa teori mengenai panel surya, metode MPPT, dan DC-DC *converter*. Penyampaian teori pada bab ini hanya sebatas garis besar.

#### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini membahas perancangan sistem MPPT dengan menggunakan metode *fuzzy logic control*, instrumen yang digunakan, dan metode yang digunakan untuk memecahkan masalah yang telah dijelaskan pada perumusan masalah.

#### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini berisi hasil dan analisis dari pengujian yang telah dilakukan.

Pengujian yang telah dilakukan diantaranya adalah pengujian karakteristik panel surya, pengujian *boost converter*, dan pengujian MPPT.

## BAB V PENUTUP

Bab ini berisi mengenai kesimpulan dan saran yang didapat setelah dilakukan penelitian. Kesimpulan dapat diambil dari intisari pada bab-bab sebelumnya dan hasil dari penelitian.

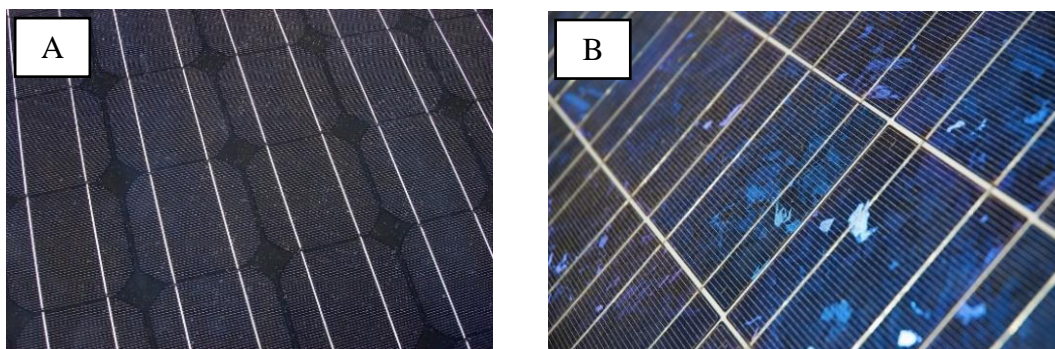
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Panel Surya

Panel surya merupakan suatu alat yang terdiri dari susunan sel surya berfungsi untuk mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Sel surya merupakan komponen vital yang umumnya terbuat dari bahan semikonduktor berjenis silikon yang berperan sebagai insulator pada temperatur rendah dan sebagai konduktor apabila pada temperatur panas. Tenaga listrik yang dihasilkan oleh satu sel surya sangat kecil, sehingga dibutuhkan penggabungan beberapa sel surya sehingga terbentuklah satuan komponen yang disebut modul surya atau biasa disebut panel surya. Daya listrik yang dihasilkan oleh satu panel surya masih cukup kecil dengan daya *output* berkisar antara 100 W sampai 300 W tergantung pada kapasitas panel surya tersebut. Apabila panel surya digunakan untuk skala yang besar, maka dibutuhkan konfigurasi penggabungan dari beberapa panel surya yang disebut *array*. Sebagai contoh untuk menghasilkan listrik sebesar 3 kW dibutuhkan *array* seluas kira-kira 20 m<sup>2</sup> sampai 30 m<sup>2</sup>.

Panel surya memiliki beberapa jenis, namun jenis yang banyak digunakan adalah jenis *monocrystalline* dan *polycrystalline*. Berikut adalah Gambar 2.1 yang menjelaskan mengenai jenis panel surya tipe *monocrystalline* dan *polycrystalline*.



Gambar 2.1 Jenis-Jenis Panel Surya (A) *Monocrystalline*, (B) *Polycrystalline* [10]

Panel surya jenis *monocrystalline* merupakan panel surya yang paling efisien karena dapat menghasilkan daya listrik persatuan luas yang tinggi dan

memiliki efisiensi sampai dengan 15%. Kelemahan dari panel jenis ini adalah efisiensinya turun drastis dalam cuaca berawan. Panel surya jenis *polycrystalline* sedikit lebih rendah efisiensinya dibanding panel surya jenis *monocrystalline* karena memerlukan luas permukaan yang besar untuk menghasilkan daya listrik yang sama dengan panel jenis *monocrystalline*, tetapi panel ini dapat menghasilkan listrik saat cuaca berawan.

### 2.1.1 Prinsip Kerja

Sel surya bekerja berdasarkan efek fotoelektrik pada material semikonduktor untuk mengubah energi cahaya menjadi energi listrik. Bahan semikonduktor yang digunakan pada sel surya yaitu silikon (*Si*). Material ini dapat bersifat sebagai insulator pada temperatur rendah dan dapat bersifat sebagai konduktor pada suhu tinggi dan terdapat energi. Cahaya sebagai energi dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan (2-1) sebagai berikut:

$$E = h \cdot f \quad \text{untuk} \quad f = \frac{c}{\lambda}, \quad (2-1)$$

dengan  $E$  adalah energi (J),  $f$  adalah frekuensi (Hz),  $\lambda$  adalah panjang gelombang (m),  $h$  adalah konstanta *planck* ( $6,625 \times 10^{-34}$  Js), dan  $c$  adalah kecepatan cahaya ( $3 \times 10^8$  m/s).

Cahaya datang dalam bentuk paket-paket foton pada frekuensi atau panjang gelombang tertentu dengan energi sebesar  $E$ . Sifat cahaya sebagai energi dalam paket-paket foton ini yang diterapkan pada sel surya [11]. Prinsip kerja sel surya silikon adalah berdasarkan konsep semikonduktor p-n *junction*. Sel terdiri dari lapisan semikonduktor *doping-n* dan *doping-p* yang membentuk p-n *junction*, lapisan anti refleksi, dan substrat logam sebagai tempat mengalirnya arus dari lapisan tipe-n (*electron*) dan tipe-p (*hole*).

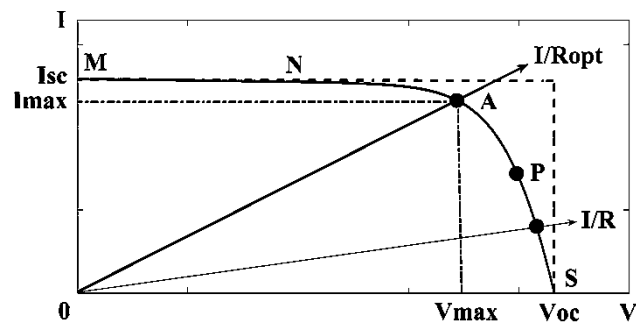
Ketika dua tipe material tersebut mengalami kontak maka kelebihan elektron dari tipe-n berdifusi pada tipe-p, sehingga mengakibatkan area *doping-n* bermuatan positif dan area *doping-p* bermuatan negatif. Medan elektrik yang terjadi antara keduanya mendorong elektron kembali ke daerah-n dan *hole* ke daerah-p.

Proses ini telah terbentuk p-n *junction* dan dioda terbentuk dengan menambahkan kontak logam pada area-p dan area-n.

Ketika *junction* terkena sinar matahari, foton yang mempunyai energi sama atau lebih besar dari lebar pita energi material tersebut menyebabkan eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi dan meninggalkan *hole* pada pita valensi. Elektron dan *hole* ini dapat bergerak dalam material sehingga menghasilkan pasangan *electron-hole*. Apabila ditempatkan hambatan pada terminal sel surya, maka elektron dari area-n kembali ke area-p sehingga menyebabkan perbedaan potensial dan arus mulai mengalir ke hambatan tersebut.

### 2.1.2 Kurva Arus dan Tegangan ( $I$ - $V$ )

Sifat elektrik dari sel fotovoltaik dalam menghasilkan energi listrik dapat diamati dari karakteristik listrik sel tersebut, yaitu berdasarkan arus dan tegangan yang dihasilkan sel fotovoltaik pada kondisi cahaya dan beban yang berbeda-beda. Kurva  $I$ - $V$  juga menggambarkan sifat dari sel surya secara lebih lengkap. Berikut adalah Gambar 2.2 yang menjelaskan mengenai karakteristik kurva  $I$ - $V$  pada sebuah sel surya yang beroperasi secara normal.



Gambar 2.2 Karakteristik Kurva Arus Tegangan ( $I$ - $V$ )

Gambar 2.2 di atas menunjukkan ketika sel dihubungkan dengan beban ( $R$ ). Beban memberi hambatan sebagai garis linear  $I/R$ . Hal tersebut menunjukkan daya yang didapat bergantung pada nilai resistansi. Apabila  $R$  bernilai kecil maka sel surya beroperasi pada daerah kurva  $MN$ . Kondisi ini menunjukkan bahwa sel surya beroperasi sebagai sumber arus yang konstan atau arus *short circuit* ( $I_{sc}$ ). Apabila  $R$  bernilai besar maka sel surya beroperasi pada daerah kurva  $PS$ . Kondisi

ini menunjukkan bahwa sel beroperasi sebagai sumber tegangan yang konstan atau tegangan *open circuit* ( $V_{oc}$ ). Namun apabila sel surya dihubungkan dengan hambatan optimal ( $R_{opt}$ ), maka sel surya menghasilkan daya yang maksimal dengan konfigurasi tegangan maksimal ( $V_{max}$ ) dan arus maksimal ( $I_{max}$ ). Parameter yang biasa digunakan untuk menentukan karakteristik dari sel surya, yaitu [12]:

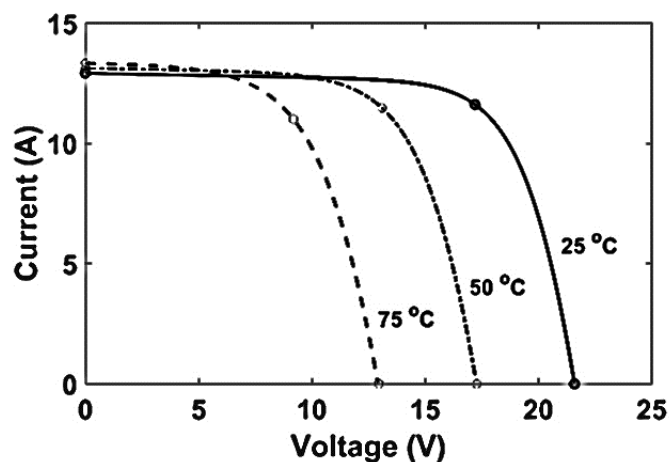
1. Arus hubungan tertutup atau *short circuit current* ( $I_{sc}$ ) adalah arus maksimum dari sel surya pada kondisi tidak ada resistansi.
2. Tegangan rangkaian terbuka atau *open circuit voltage* ( $V_{oc}$ ) adalah kapasitas tegangan maksimum yang dapat dicapai pada saat tidak adanya arus.
3. Daya maksimum ( $P_{max}$ ) pada Gambar 2.2 berada pada titik A ( $V_{max}$ ,  $I_{max}$ ).
4. Faktor Pengisian atau *Fill factor* ( $FF$ ) merupakan harga yang mendekati konstanta suatu sel fotovoltaik tertentu. Perbandingan antara daya maksimum yang didapat pada beban dan dengan perkalian  $I_{sc}$  dan  $V_{oc}$ .
5. Jika nilai  $FF$  lebih tinggi dari 0,7 maka sel tersebut lebih baik.

### 2.1.3 Faktor-faktor yang Memengaruhi Operasi Panel Surya

Faktor-faktor yang memengaruhi operasi panel surya agar didapatkan nilai yang maksimum diantaranya adalah sebagai berikut [13]:

1. Suhu udara lingkungan

Komponen semikonduktor seperti dioda sensitif terhadap perubahan suhu, begitu juga dengan panel surya.



Gambar 2.3 Kurva  $V-I$  Terhadap Perubahan Suhu [11]

Berdasarkan pada Gambar 2.3, perubahan suhu sangat berpengaruh terhadap  $V_{oc}$  daripada terhadap  $I_{sc}$ . Perubahan kenaikan suhu mengurangi  $V_{oc}$  pada panel surya. Hal ini disebabkan peningkatan suhu menurunkan *band gap* pada semikonduktor.

Panel surya juga dapat beroperasi secara maksimum jika suhu pada panel surya tetap normal yaitu 25°C. Kenaikan suhu pada panel lebih dari suhu normal menurunkan nilai  $V_{oc}$ . Setiap kenaikan suhu 10°C pada panel surya dari suhu normal, maka  $V_{oc}$  berkurang sekitar 0,4% pada total tenaga yang dihasilkan atau melemah dua kali lipat untuk kenaikan 10°C pada panel surya [14]. Berdasarkan teori tersebut, maka dapat ditentukan tegangan reduksi untuk setiap kenaikan suhu 10°C dengan menggunakan Persamaan (2-2) sebagai berikut.

$$V_R = V_{OC} \times 0.4\% \quad (2-2)$$

dengan  $V_R$  adalah tegangan reduksi (V) dan  $V_{oc}$  adalah tegangan *open circuit* panel surya (V).

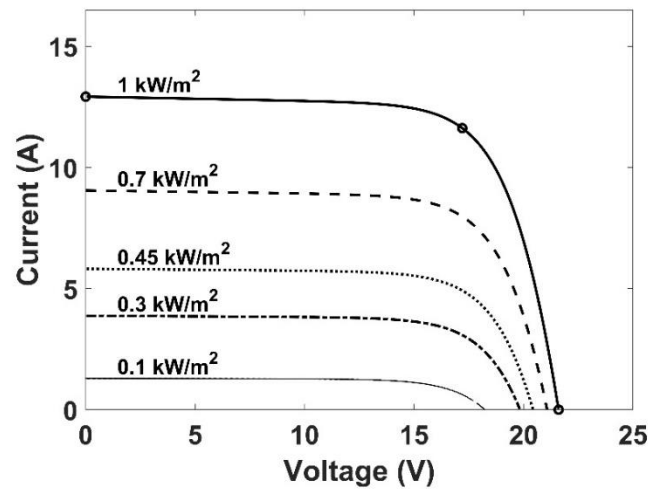
## 2. Radiasi matahari dan kondisi atmosfer

Intensitas radiasi cahaya matahari (*irr*) di ruang bebas pada jarak rata-rata antara bumi dan matahari dinyatakan sebagai konstanta surya dengan nilai 1352 W/m<sup>2</sup> [15]. Sebagian radiasi mengalami refleksi di atmosfer (*diffuse radiation*) dan sisanya dapat sampai ke permukaan bumi (*direct radiation*). Hal ini disebabkan karena adanya uap air, aerosol, dan lapisan ozon di atmosfer.

Iradiasi merupakan sumber energi bagi sel surya, sehingga keluarannya sangat bergantung oleh perubahan iradiasi. Satuan cahaya matahari yang digunakan pada sistem PLTS adalah W/m<sup>2</sup>. Konversi satuan lux menjadi W/m<sup>2</sup> dapat dilihat pada Persamaan (2.3) sebagai berikut [16]:

$$Irr = Lx \times 0,0079 \quad (2-3)$$

dengan *Irr* adalah iradiasi matahari (W/m<sup>2</sup>) dan *Lx* adalah cahaya dengan satuan Lux. Berikut adalah kurva hubungan *I-V* terhadap perubahan iradiasi yang dijelaskan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Kurva  $I$ - $V$  Terhadap Perubahan Iradiasi [11]

Berdasarkan kurva yang terdapat pada Gambar 2.4, *output* daya berbanding lurus dengan iradiasi.  $I_{sc}$  lebih terpengaruh oleh perubahan iradiasi daripada  $V_{oc}$ . Fenomena ini sesuai dengan penjelasan cahaya sebagai paket-paket foton. Saat iradiasi tinggi yaitu pada saat jumlah foton banyak, maka arus yang dihasilkan besar. Hukum ini juga berlaku untuk sebaliknya sehingga arus yang dihasilkan berbanding lurus terhadap jumlah foton.

### 3. Kecepatan angin bertiup

Kecepatan tiupan angin disekitar lokasi panel surya dapat membantu mendinginkan suhu pada permukaan panel surya. Kondisi ini dapat membuat permukaan panel surya menjadi tidak panas sehingga tidak terjadi penurunan tegangan.

### 4. Orientasi panel surya

Orientasi dan sudut orientasi panel surya ke arah matahari sangat penting agar dapat menghasilkan daya maksimum. Orientasi yang salah dapat mengakibatkan panel surya tidak dapat menghasilkan daya.

#### 2.1.4 Efisiensi Panel Surya

Secara umum perbandingan performa antara panel surya yang satu dengan panel surya yang lainnya dilihat dari efisiensinya. Efisiensi modul surya didefinisikan sebagai perbandingan daya *output* dengan daya *input*. Daya *input*



*input* tersebut dihitung sebagai iradiasi yang diterima oleh permukaan panel surya. Nilai efisiensi ini selalu dihitung pada kondisi standar (besar iradiasi matahari yaitu  $1000 \text{ W/m}^2$ , *air mass* sebesar 1,5 dan temperatur sebesar  $25^\circ\text{C}$ ). Efisiensi panel surya dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan (2-4) sebagai berikut [17].

$$\eta = \frac{V_{oc} \times I_{sc} \times FF}{IM_{maks} \times A} \times 100\% \quad (2-4)$$

dengan  $\eta$  adalah efisiensi (%),  $I_{sc}$  adalah arus *short circuit* (A),  $V_{oc}$  adalah tegangan *open circuit* (V),  $IM_{maks}$  adalah intensitas matahari maksimum ( $1000 \text{ W/m}^2$ ),  $A$  adalah luas area panel surya ( $\text{mm}^2$ ), dan  $FF$  adalah *fill factor*. Nilai  $FF$  dapat diketahui dengan menggunakan Persamaan (2-5) sebagai berikut.

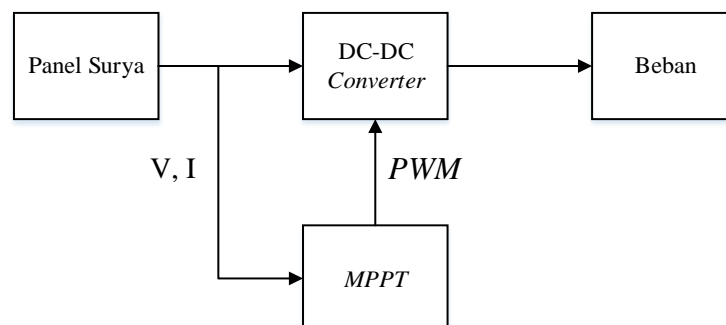
$$FF = \frac{V_m \times I_m}{V_{oc} \times I_{sc}} \times 100\% \quad (2-5)$$

dengan  $V_m$  adalah Tegangan maksimum (V) dan  $I_m$  adalah Arus maksimum (A).

## 2.2 Maximum Power Point Tracking

*Maximum Power Point Tracking* (MPPT) merupakan sebuah sistem penjejak elektronis yang berfungsi untuk menghasilkan daya maksimum pada sebuah panel surya. Panel surya tidak dapat bekerja pada titik kerja maksimumnya secara otomatis, melainkan harus dikendalikan dengan MPPT.

Prinsip kerja MPPT adalah mencari titik *Maximum Power Point* (MPP) atau titik daya maksimum dari kurva karakteristik tegangan dan arus ( $V$ - $I$ ) dengan bantuan DC-DC *converter*. Berikut adalah diagram blok MPPT yang dijelaskan pada Gambar 2.5 di bawah ini.



Gambar 2.5 Diagram Blok MPPT

. Fungsi dari DC-DC *converter* adalah mengatur besarnya tegangan *output* pada panel surya, sehingga dapat memaksa panel surya memperoleh daya maksimum dengan tingkat intensitas cahaya yang bervariasi. Terdapat banyak jenis metode yang dapat digunakan untuk membuat sebuah sistem MPPT. Berikut ini adalah Tabel 2.1 yang menjelaskan jenis-jenis dan perbedaan karakteristik metode MPPT.

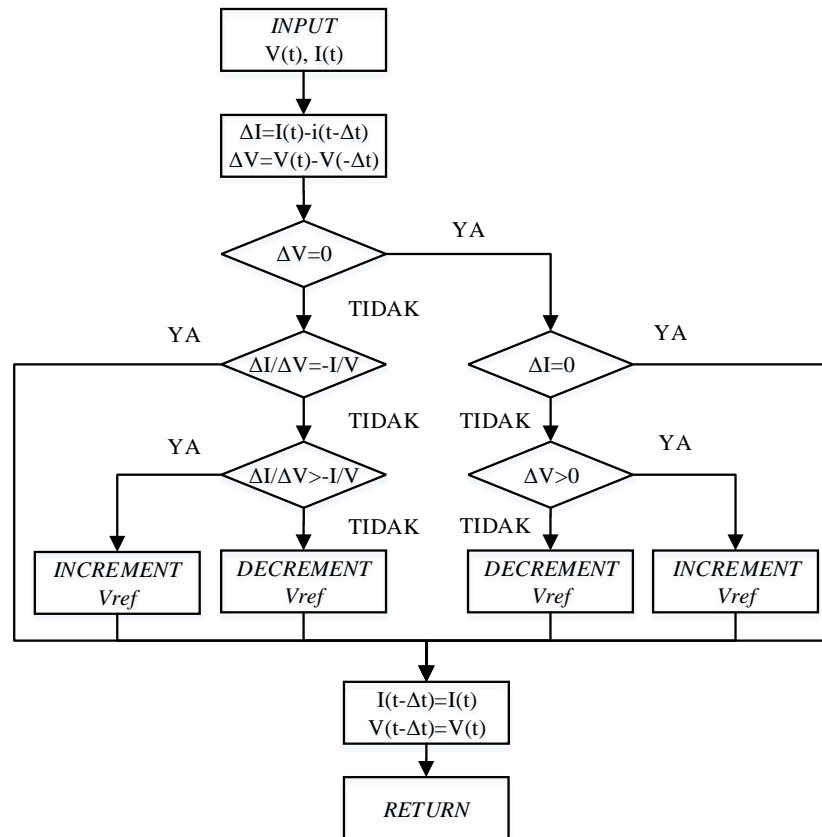
Tabel 2.1 Jenis dan Perbedaan Karakteristik Beberapa Metode MPPT [18]

<i>MPPT Method</i>	<i>Analog or Digital</i>	<i>Periodic Tuning</i>	<i>Convergence Speed</i>	<i>Implementation Complexity</i>	<i>Sensed Parameter</i>
<i>Hill-climbing/P and O</i>	<i>Both</i>	<i>No</i>	<i>Varies</i>	<i>Low</i>	<i>V, I</i>
<i>Inc. Cond.</i>	<i>Digital</i>	<i>No</i>	<i>Varies</i>	<i>Medium</i>	<i>V, I</i>
<i>Fractional <math>V_{oc}</math></i>	<i>Both</i>	<i>Yes</i>	<i>Medium</i>	<i>Low</i>	<i>V</i>
<i>Fractional <math>I_{sc}</math></i>	<i>Both</i>	<i>Yes</i>	<i>Medium</i>	<i>Medium</i>	<i>I</i>
<i>Fuzzy Logic Controller</i>	<i>Digital</i>	<i>Yes</i>	<i>Fast</i>	<i>High</i>	<i>Varies</i>
<i>Neural Network</i>	<i>Digital</i>	<i>Yes</i>	<i>Fast</i>	<i>High</i>	<i>Varies</i>
<i>Current Sweep</i>	<i>Digital</i>	<i>Yes</i>	<i>Slow</i>	<i>High</i>	<i>V, I</i>
<i>Load I or V Maximization</i>	<i>Analog</i>	<i>No</i>	<i>Fast</i>	<i>Low</i>	<i>V, I</i>
<i>Array Reconfiguration</i>	<i>Digital</i>	<i>Yes</i>	<i>Slow</i>	<i>High</i>	<i>V, I</i>
<i>Linear Control</i>	<i>Digital</i>	<i>Yes</i>	<i>Fast</i>	<i>Medium</i>	<i>Irr</i>
<i><math>I_{MPP}</math> &amp; <math>V_{MPP}</math> Computation</i>	<i>Digital</i>	<i>Yes</i>	<i>N/A</i>	<i>Medium</i>	<i>Irr, Temp.</i>

Bersasarkan pada Tabel 2.1 di atas, setiap metode memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Beberapa metode yang baik dalam ketahanan seperti metode *Incremental Conductance (INC)* dan *Perturbation and Observation (P and O)* memiliki kelemahan yaitu waktu penjajakan dan sinyal *output* yang berosilasi. Metode yang telah disempurnakan oleh *fuzzy logic* mampu menunjukkan kualitas yang lebih baik.

### 2.2.1 Metode *Incremental Conductance (INC)*

Metode ini bekerja berdasarkan gradien kurva *P-V* atau kurva *P-I* karakteristik sel surya untuk mencari daya maksimum panel surya. Karakteristik kurva *P-V* sel surya merupakan fungsi daya terhadap tegangan yang mencapai titik maksimum ketika gradiennya bernilai nol [18]. *Flowchart* algoritma INC dijelaskan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Flowchart Algoritma INC

Perubahan  $V_{ref}$  yang diberikan pada metode ini bernilai tetap untuk setiap iterasinya. Besar perubahan  $V_{ref}$  tersebut dipertimbangkan dari waktu penjajakan menuju nilai maksimum dan besar osilasi yang maksimum. Kedua parameter tersebut memiliki hubungan terbalik sehingga selalu terdapat kompensasi untuk setiap parameter yang ingin diperbaiki.

Perubahan  $V_{ref}$  yang besar mempercepat waktu penjajakan, namun sulit mencapai tegangan maksimum dan menyebabkan osilasi di sekitar titik maksimum. Modifikasi algoritma INC yang telah berkembang yaitu dengan membuat perubahan yang bervariasi pada  $V_{ref}$  [19].

### 2.2.2 Metode Perturbation and Observation (P and O)

Metode *Perturbation and Observation* terdiri dari dua tahap yaitu *perturb* dan *observe*. Fungsi dari *Perturb* yaitu mengubah  $V_{ref}$  dan *observation* yaitu

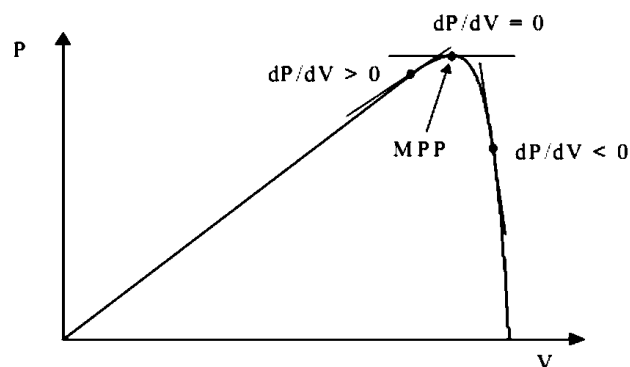
menghitung perubahan daya akibat *perturb* sebelumnya. Jika perubahan daya bernilai positif maka *perturb* selanjutnya tetap pada arah yang sama, sedangkan jika perubahan daya bernilai negatif maka arah *perturb* berlawanan dengan arah sebelumnya. *P and O* disebut juga dengan metode *hill climbing* yang mengacu pada karakteristik *V-P* dari sel surya. Terdapat 3 posisi titik yang berbeda pada kurva daya sel surya yang dijelaskan pada Persamaan (2-6) sampai Persamaan (2-8).

$$\frac{dP}{dV} > 0, \quad (2-6)$$

$$\frac{dP}{dV} = 0, \quad (2-7)$$

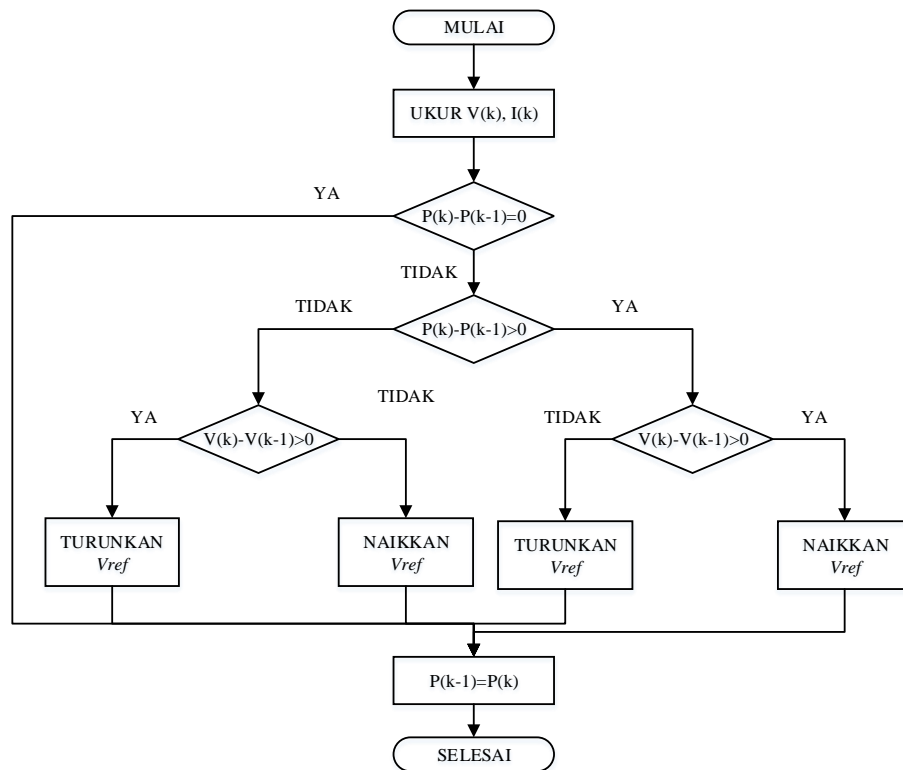
$$\frac{dP}{dV} < 0, \quad (2-8)$$

Ketiga persamaan di atas merupakan nilai perubahan daya terhadap perubahan tegangan pada panel surya. Berikut adalah posisi titik daya maksimum pada kurva sel surya yang dijelaskan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Puncak Kurva Daya Sel Surya [20]

Berdasarkan pada Gambar 2.7 di atas, Persamaan (2-6) berada di sebelah kiri dari titik MPP sedangkan Persamaan (2-7) berada di sebelah kanan. Apabila tegangan kerja sel surya diganggu (*perturbed*) dan berada pada posisi sebelah kiri, *perturbation* dilakukan untuk memindahkan tegangan kerja sel surya maju ke arah titik *MPP*. Apabila perubahan titik kerja berada di sebelah kanan, algoritma *P and O* membalik arah *perturbation* sehingga titik kerja berada pada titik *MPP* [20]. *Flowchart* algoritma *P and O* dijelaskan pada Gambar 2.8.



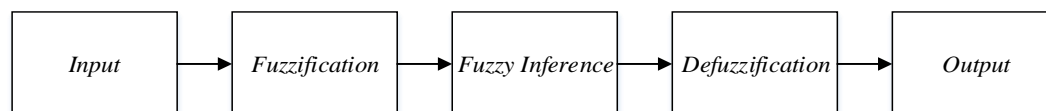
Gambar 2.8 Flowchart Algoritma  $P$  and  $O$

Berdasarkan pada Gambar 2.8 di atas, perubahan nilai *perturb* yang diberikan bernilai tetap. Permasalahan waktu penjajakan dan osilasi pada titik MPP diselesaikan dengan menggunakan perubahan nilai *perturbation* yang bervariasi

### 2.2.3 Metode Fuzzy Logic

*Fuzzy Logic* secara umum merupakan sebuah metodologi berhitung yang efisien untuk memecahkan masalah pemetaan *non-linier* dengan menggunakan variabel kata yang mendekati intuisi manusia. Istilah *Fuzzy* dalam kamus *Oxford* didefinisikan sebagai *blurred* (samar-samar), *indistinct* (tidak jelas), *confuse* (membingungkan), dan *imprecisely definition* (didefinisikan secara tidak presisi). Meskipun memiliki istilah yang samar-samar, namun metode ini memiliki definisi cara kerja dan deskripsi yang jelas. Sistem *fuzzy* memodelkan fenomena yang bersifat *fuzzy* dengan definisi cara kerja dan deskripsi yang jelas berdasarkan pada teori *fuzzy logic* [21]. *Fuzzy logic* memiliki beberapa tahapan operasional yang meliputi proses *fuzzyfication*, *fuzzy inference*, dan *defuzzyfication*. Penjelasan

mengenai tahapan operasional *fuzzy logic* dijelaskan oleh diagram blok pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Diagram Blok Kendali Logika *Fuzzy*

Nilai *input* dan *output* pada kendali logika *fuzzy* berbentuk *crisp*. Nilai *input* tersebut selanjutnya dirubah kedalam bentuk *fuzzy* melalui proses *fuzzification*. Proses *fuzzification* adalah suatu proses memetakan nilai *crisp* ke dalam himpunan *fuzzy* dan menentukan derajat keanggotaannya di dalam himpunan *fuzzy*. Hal ini dilakukan karena data diproses berdasarkan teori himpunan *fuzzy* sehingga data yang bukan dalam bentuk *fuzzy* harus diubah ke dalam bentuk *fuzzy*. Proses selanjutnya setelah *fuzzification* adalah proses *fuzzy inference*.

*Fuzzy inference* atau *fuzzy inference system* (FIS) adalah sistem kerja komputer yang didasarkan pada konsep teori *fuzzy*, aturan *fuzzy if-then*, dan logika *fuzzy* [22]. Sistem ini dapat melakukan penalaran dengan prinsip serupa seperti manusia melakukan penalaran dengan nalurinya. Terdapat beberapa jenis FIS yang dikenal yaitu Mamdani, Sugeno dan Tsukamoto. FIS yang paling mudah dimengerti dan sesuai dengan naluri manusia adalah FIS Mamdani. FIS tersebut bekerja berdasarkan kaidah-kaidah linguistik dan memiliki algoritma *fuzzy* yang menyediakan sebuah aproksimasi untuk dimasuki analisa matematik. Apabila *output* dari FIS sudah sesuai dengan yang diinginkan, maka tidak perlu dilakukan *defuzzification* [23]. *Defuzzification* adalah suatu proses memetakan besaran dari himpunan *fuzzy* ke dalam bentuk nilai *crisp*. Proses ini merupakan kebalikan dari proses *fuzzification*.

Teori *fuzzy logic* mengenal istilah himpunan *fuzzy* (*fuzzy set*). Himpunan *fuzzy* merupakan pengelompokan sesuatu berdasarkan variabel bahasa (*linguistic variable*) yang dinyatakan dalam fungsi keanggotaan. Variabel dari fungsi keanggotaan *input* dan *output* terbagi menjadi beberapa himpunan *fuzzy* yang kemudian dijadikan sebagai basis dari *fuzzy rules*. Basis data *fuzzy rules* dibuat

berdasarkan posisi titik MPP pada grafik karakteristik panel surya. Apabila perubahan *duty cycle* disebabkan oleh kenaikan daya, maka arah perhitungan dipertahankan pada arah yang sama, namun jika sebaliknya maka arah perhitungan berlawanan sampai tidak ada lagi kenaikan atau penurunan pada daya [24]. Basis *fuzzy rule* pada sistem MPPT dapat dilihat pada Gambar 2.7 yang telah dijelaskan sebelumnya. Grafik tersebut menunjukkan 2 kondisi daya saat perubahan tegangan, yaitu daya saat tegangan meningkat dan daya saat tegangan menurun. Posisi daya pada saat tegangan meningkat berada di sebelah kiri dari titik MPP. Nilai perubahan daya terhadap perubahan tegangan pada kondisi ini yaitu lebih besar dari nol. Kondisi yang kedua terletak di sebelah kanan titik MPP dengan nilai perubahan daya terhadap perubahan tegangan lebih kecil dari nol.

Algoritma *fuzzy* memiliki 2 *input* berupa nilai *Error* ( $E$ ) dan perubahan *Correction of Error* ( $CE$ ) dan 1 *output* yang berupa sinyal *Pulse Width Modulation* ( $PWM$ ) untuk mengendalikan *DC-DC converter*. Nilai  $E$  dan  $CE$  dijelaskan pada Persamaan (2-9) dan (2-10) di bawah ini.

$$E(t) = \frac{P(t) - P(t-1)}{V(t) - V(t-1)} \quad (2-9)$$

$$CE(t) = E(t) - E(t-1) \quad (2-10)$$

dengan  $E$  adalah *error*,  $CE$  adalah *correction of error*,  $P$  adalah daya,  $V$  adalah tegangan, dan  $t$  adalah waktu.

Nilai  $E(t)$  menunjukkan titik operasi beban pada waktu ( $t$ ) berada disisi kiri atau sisi kanan dari MPP, sedangkan  $CE(t)$  menyatakan arah pergerakan dari titik tersebut. Tujuan dari algoritma *fuzzy* pada sistem MPPT yaitu menentukan perubahan daya terhadap perubahan tegangan dengan merubah *duty cycle* untuk menaikkan atau menurunkan tegangan sampai didapat daya yang maksimum.

### 2.3 DC-DC Converter

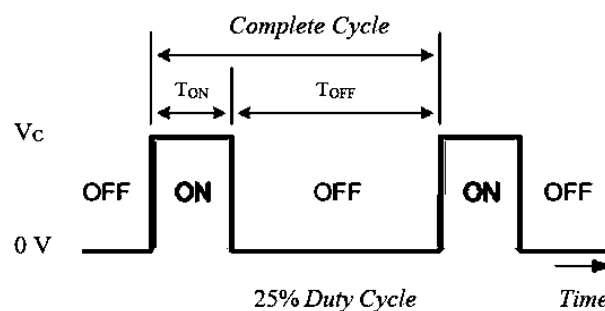
*DC-DC converter* merupakan rangkaian konversi tegangan yang berfungsi untuk mengubah tegangan *input* DC menjadi tegangan *output* DC dengan nilai yang lebih besar atau lebih kecil dari nilai tegangan *input*. Terdapat 2 metode kerja DC-

DC *converter*, yaitu metode linier dan metode *switching*. Metode jenis linier merupakan cara termudah dibandingkan jenis *switching*, namun kurang diminati karena rendahnya efisiensi. Rendahnya efisiensi diakibatkan karena tingginya daya yang hilang (*power loss*) pada transistor.

Metode jenis *switching* tidak menyerap daya pada transistor saat proses *switching*. Hal tersebut terjadi karena saat *switch* ditutup sehingga tidak ada tegangan yang jatuh pada transistor, sedangkan pada waktu *switch* dibuka tidak ada arus listrik yang mengalir. Semua daya terserap pada beban, sehingga efisiensi daya menjadi 100%, namun pada prakteknya tidak ada *switch* yang ideal [25].

Dasar dari *switching power supply* terdiri dari tiga topologi yaitu *buck* (*step-down*), *boost* (*step-up*) dan *buck-boost* (*step-up/down*). Ketiga rangkaian dasar *switching power supply* ini merupakan *nonisolated DC-DC converter* yang merupakan sisi *input* dan sisi *output* menggunakan *grounding* yang sama. Terdapat dua cara untuk meregulasi tegangan pada *switching power supply*, yaitu dengan *Pulse Width Modulation* (PWM) dan *Pulse Frequency Modulation* (PFM).

*Pulse Width Modulation* (PWM) merupakan sebuah cara memanipulasi lebar sinyal yang dinyatakan dengan pulsa dalam suatu periode. Sinyal PWM umumnya memiliki amplitudo dan frekuensi dasar yang tetap, namun memiliki *duty cycle* (lebar pulsa) yang bervariasi antara 0% sampai 100%. Penjelasan mengenai *duty cycle* digambarkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 *Duty Cycle* pada Sinyal PWM

*Duty cycle* pada Gambar 2.10 memiliki 2 kondisi dalam 1 periode, yaitu saat periode aktif ( $t_{on}$ ) dan saat periode tidak aktif ( $t_{off}$ ). *Duty cycle* didapat dengan cara mengatur lebar pulsa *on* dan *off* dalam satu periode gelombang yang dinyatakan



sebagai berikut [25]. Nilai *duty cycle* didapat melalui Persamaan (2-11) sebagai berikut.

$$Duty\ Cycle = \frac{T_{ON}}{(T_{ON} + T_{OFF})} \times 100\% \quad (2-11)$$

dengan *Duty cycle* adalah lebar pulsa (V),  $T_{ON}$  adalah periode aktif (s), dan  $T_{OFF}$  adalah periode tidak aktif (s).

Tegangan *output* pada PWM bergantung pada besar *duty cycle* nya. Semakin besar nilai *duty cycle*, maka tegangan yang dikeluarkan oleh PWM mendekati nilai tegangan nominal ( $V_{cc}$ ). Begitu juga sebaliknya, semakin kecil nilai *duty cycle* maka tegangan yang dikeluarkan PWM mendekati nol. Persamaan tegangan *output* PWM dijelaskan pada Persamaan (2-12) di bawah ini.

$$V_{PWM} = D \times V_{cc} \quad (2-12)$$

dengan  $V_{PWM}$  adalah tegangan PWM (V),  $D$  adalah *duty cycle* (%), dan  $V_{cc}$  adalah tegangan nominal PWM (V).

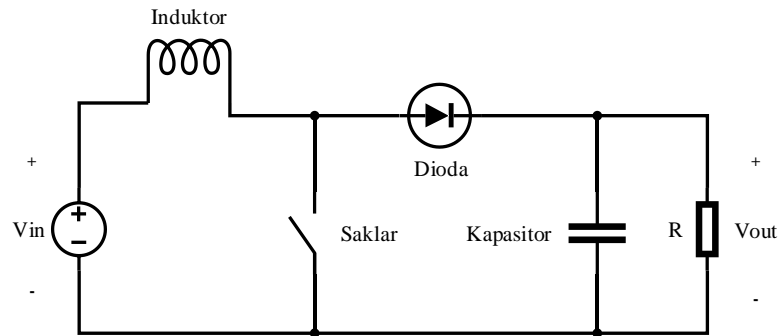
### 2.3.1 *Boost Converter*

*Boost converter* berfungsi untuk mengubah nilai tegangan DC ke nilai yang lebih tinggi dari tegangan *input*. Tegangan *boost converter* dapat dikendalikan dengan mengatur besar *duty cycle* ( $D$ ) atau sinyal *switching* dengan nilai lebih besar dari 0 dan lebih kecil dari 1. Berikut adalah nilai *duty cycle* yang pada rangkaian *boost converter* dapat dilihat pada Persamaan (2-13) di bawah ini.

$$D = \frac{V_o - V_s}{V_o} \quad (2-13)$$

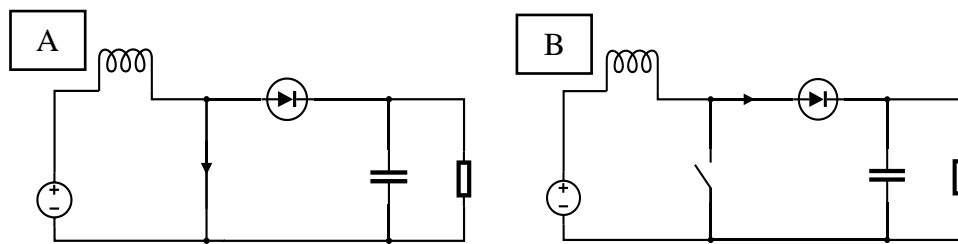
dengan  $D$  adalah *duty cycle* (V),  $V_o$  adalah tegangan *output* (V), dan  $V_s$  adalah tegangan sumber (V).

Rangkaian *boost converter* terdiri dari kapasitor, induktor, saklar elektronis, dioda, dan resistor. Saklar elektronis yang digunakan dapat berupa MOSFET, IGBT, atau saklar elektronis lainnya sesuai dengan kebutuhan. Berikut adalah rangkaian *boost converter* yang dijelaskan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Rangkaian *Boost converter*

Kemampuan *boost converter* untuk menaikkan tegangan DC berkaitan dengan prinsip *switch duration* ( $t_{on}$  dan  $t_{off}$ ). Berikut adalah prinsip kerja *boost converter* yang dijelaskan pada Gambar 2.12 di bawah ini.



Gambar 2.12 Prinsip Kerja *Boost Converter*; (a) Kondisi Saklar *On*, (b) Kondisi Saklar *Off*

Berdasarkan pada Gambar 2.12, saat saklar dalam kondisi tertutup ( $t_{on}$ ) arus mengalir menuju induktor sehingga menyebabkan energi yang tersimpan pada komponen induktor menjadi meningkat. Saat saklar dalam kondisi terbuka ( $t_{off}$ ) arus induktor mengalir menuju beban melewati dioda sehingga energi yang tersimpan di induktor akan turun. Suplai tegangan pada beban disuplai oleh tegangan sumber dan tegangan induktor, sehingga tegangan *output* menjadi lebih besar dibanding tegangan *input*.

*Boost converter* memiliki 2 mode operasi, yaitu *Continuous Conduction Mode* (CCM) dan *Discontinuous Conduction Mode* (DCM). Kondisi arus induktor pada CCM tidak pernah jatuh ke posisi nol dalam semua siklus *switching*,

sedangkan pada DCM arus induktor jatuh ke nol sebelum selesai satu periode penyaklaran.

### 2.3.2 Penentuan Komponen *Boost Converter*

Tegangan *output* pada *boost converter* ditapis dengan kapasitor yang memiliki kapasitansi ( $C$ ) dan *Equivalent Series Resistance* (ESR) sebesar  $r_c$ . Selain itu kapasitor juga sebagai penyimpan energi pada saat *switch off*. Pada *switching power supply*, fungsi dari induktor adalah sebagai penyimpan energi dan menentukan nilai *ripple* arus. Rangkaian *boost converter* pada penelitian ini bekerja pada mode CCM sehingga besar kapasitor dan induktor dapat ditentukan melalui Persamaan (2-14) dan Persamaan (2-15) sebagai berikut.

$$C_{min} = \frac{V_o \times D}{V_r \times R \times f} \quad (2-14)$$

$$L_{min} = \frac{(1 - D)^2 \times D \times R}{2 \times f} \quad (2-15)$$

dengan  $C_{min}$  adalah besar kapasitor minimum (F),  $L_{min}$  adalah besar induktor minimum,  $V_o$  adalah tegangan *output* (V),  $D$  adalah *duty cycle* (%),  $V_r$  adalah tegangan *ripple* (V),  $R$  adalah beban ( $\Omega$ ), dan  $f$  adalah frekuensi *switching* (Hz).

Pemilihan nilai induktor lebih besar dari  $L_{min}$  ( $L > L_{min}$ ) agar sistem *boost converter* bekerja pada mode CCM. Besar nilai  $L$  setidaknya harus lebih besar 25% dari nilai  $L_{min}$  [26].

## 2.4 Kajian Pustaka

Penelitian ini dilakukan perancangan MPPT dengan algoritma *Incremental Conductance* menggunakan *buck boost converter* untuk mencari daya maksimum pada panel surya. Parameter *input* pada algoritma ini yaitu tegangan dan arus panel surya. Hasil pengujian MPPT pada penelitian ini mampu mencari daya maksimum rata-rata panel surya sebesar 4,42 W pada iradiasi 1000 W/m<sup>2</sup> dan pada temperatur 29°C, sedangkan daya tanpa MPPT saat resistansi 50  $\Omega$  sebesar 4,17 W, saat 33,3  $\Omega$  sebesar 2,88 W, saat 25  $\Omega$  sebesar 2,37 W, dan saat 20  $\Omega$  sebesar 2,04 W. Daya

MPPT saat iradiasi  $750 \text{ W/m}^2$  temperatur  $29^\circ\text{C}$  sebesar  $3,01 \text{ W}$ , sedangkan daya tanpa MPPT saat resistansi  $50 \Omega$  sebesar  $2,53 \text{ W}$ , saat  $33,3 \Omega$  sebesar  $1,84 \text{ W}$ , saat  $25 \Omega$  sebesar  $1,48 \text{ W}$ , dan saat  $20 \Omega$  sebesar  $1,33 \text{ W}$  [6].

Penelitian ini mengacu dari beberapa penelitian yang telah dilakukan. Penelitian selanjutnya menggunakan algoritma yang digunakan dalam membuat MPPT adalah algoritma *P and O*. Jenis DC-DC *converter* yang digunakan yaitu *buck converter*. Parameter *perturbation* yang digunakan sebesar  $0,1$ . Hasil dari penelitian yang dilakukan mampu mengoptimasi daya *output* panel surya menjadi  $24,49 \text{ W}$  dengan beban  $5 \Omega$  saat iradiasi  $523 \text{ W/m}^2$  dibandingkan dengan tanpa menggunakan MPPT pada beban  $5 \Omega$  dan nilai iradiasi sebesar  $537 \text{ W/m}^2$  yang menghasilkan daya  $15,37 \text{ W}$  [7].

Penelitian ini juga mereferensi penelitian lain yang menggunakan algoritma *fuzzy logic* untuk membuat MPPT. Jenis DC-DC *converter* yang digunakan yaitu *buck converter*. Parameter *input* yang digunakan yaitu iradiasi dan temperatur pada panel surya yang memiliki masing-masing 3 fungsi keanggotaan. Hasil penelitian ini mampu meningkatkan daya sebesar  $21,61\%$  pada beban  $10 \Omega$  dengan daya awal tanpa MPPT adalah  $9,07 \text{ W}$  dan daya akhir dengan MPPT adalah  $11,03 \text{ W}$  [8].

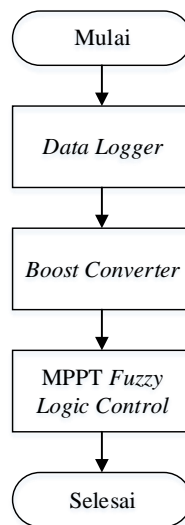
Terdapat penelitian lain yang membahas mengenai perbedaan pencapaian efisiensi MPPT menggunakan algoritma *fuzzy logic* dengan algoritma *P and O*. Parameter yang di masukan yaitu tegangan dan arus yang berada disisi panel surya. Hasil pengujian yang telah dilakukan pada kondisi STC menunjukkan metode *fuzzy logic* memiliki efisiensi  $98\%$  sedangkan metode *P and O* memiliki efisiensi  $97\%$  [9]. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa MPPT pada metode *fuzzy logic* memiliki kecepatan dan akurasi yang baik dalam melakukan penjejakan daya maksimum.

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Metodologi Penelitian

Penelitian yang telah dilakukan mengacu pada tahapan yang dijelaskan oleh diagram alir pada Gambar 3.1 di bawah ini.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Berikut adalah penjelasan mengenai diagram alir pada Gambar 3.1.

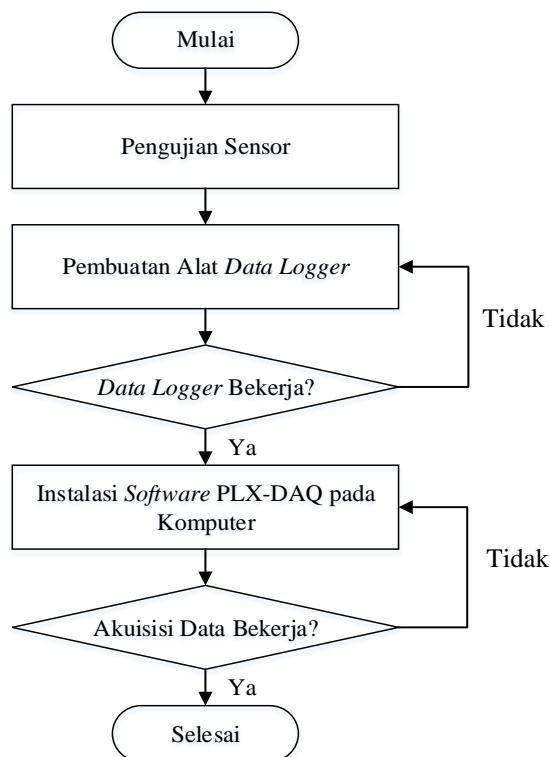
1. Penelitian ini dimulai dengan mencari data dan referensi yang membantu dalam melaksanakan penelitian. Beberapa topik yang dicari mengenai *data logger*, Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), metode *fuzzy logic control*, rangkaian *boost converter*, dan *Maximum Power Point Tracking (MPPT)*.
2. Merancang dan membuat alat *data logger* yang digunakan untuk pengumpulan data karakteristik panel surya pada mobil tawon. Data yang dikumpulkan diantaranya adalah suhu kabin mobil, suhu lingkungan, iradiasi matahari, dan tegangan panel surya. Setelah *data logger* selesai dibuat, kemudian dilakukan pengujian untuk memastikan *data logger* bekerja sebagaimana mestinya.
3. Merancang dan memodelkan *boost converter* yang digunakan untuk menaikkan tegangan panel surya ke nilai yang lebih tinggi. *Boost converter* yang dimodelkan memiliki kapasitas daya 200 W. Pengujian pada *boost*

*converter* dilakukan untuk memastikan *boost converter* bekerja sebagaimana mestinya.

4. Merancang dan memodelkan MPPT algoritma *fuzzy logic* secara keseluruhan menggunakan *software* Simulink MATLAB R2017b. Komponen MPPT yang dimodelkan terdiri dari panel surya, algoritma *fuzzy logic*, dan *boost converter*. Pembuatan algoritma *fuzzy logic* dilakukan dengan *Fuzzy Inference System Toolbox*. Setelah MPPT selesai dimodelkan, kemudian dilakukan pengujian untuk memastikan MPPT bekerja sebagaimana mestinya.
5. Pengumpulan dan analisis data dari hasil pengujian yang telah dilakukan. Hasil akhir yang didapat adalah membandingkan daya *output* panel surya yang menggunakan MPPT dengan panel surya yang tidak menggunakan MPPT. Data hasil analisis ditunjukkan dalam bentuk gambar, grafik, dan tabel.

### 3.2.1 Data Logger

Berikut adalah tahapan pembuatan *data logger* yang dijelaskan oleh diagram alir pada Gambar 3.2.



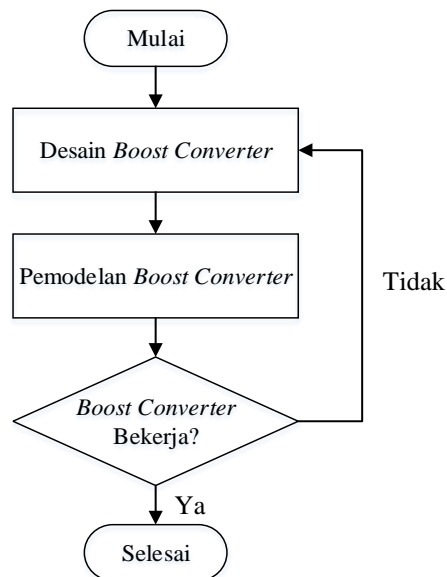
Gambar 3.2 Diagram Alir *Data Logger*

Penjelasan mengenai diagram alir pada Gambar 3.2 adalah sebagai berikut.

1. Pembuatan *data logger* dimulai dengan membuat desain *data logger* secara keseluruhan. Desain tersebut meliputi jenis sensor yang digunakan hingga kotak yang digunakan sebagai penyangga Arduino.
2. Pengujian sensor berfungsi untuk memastikan sensor dapat beroperasi sebagaimana mestinya. Pengujian ini juga meliputi penyesuaian pembacaan data pada sensor dengan alat ukur sebenarnya sehingga data yang terbaca sesuai dengan alat ukur sebenarnya.
3. Penyesuaian pembacaan pada sensor dilakukan saat pembuatan *listing program* pada Arduino. Pembuatan *listing program* ini juga berfungsi untuk menyatukan seluruh *program* dari komponen *data logger*.
4. Software PLX-DAQ yang sudah dipasang pada komputer berfungsi untuk proses akuisisi data yang berhasil dibaca oleh *data logger* ke Microsoft Excel. Proses ini dilakukan secara *realtime*.

### 3.2.2 *Boost Converter*

Berikut adalah tahapan pembuatan model *boost converter* yang dijelaskan oleh diagram alir pada Gambar 3.3 di bawah ini.



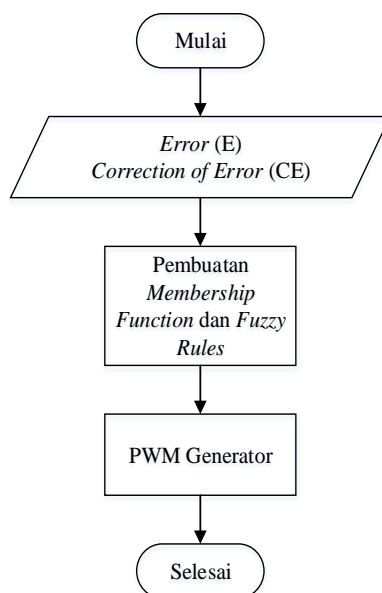
Gambar 3.3 Diagram Alir *Boost Converter*

Penjelasan diagram alir pada Gambar 3.3 adalah sebagai berikut.

1. Pemodelan *boost converter* dimulai dengan membuat perancangan. Perancangan yang dibuat sesuai dengan kebutuhan MPPT yang dibuat. Perhitungan pada proses digunakan untuk menentukan nilai resistansi beban ( $R_L$ ), kapasitor ( $C$ ), dan induktor ( $L$ ).
2. Pemodelan *boost converter* dilakukan dengan menggunakan *software* Simulink Matlab 2017b.
3. Pengujian *boost converter* dilakukan untuk mengetahui *boost converter* bekerja sebagaimana mestinya. Pengujian arus yang melewati induktor juga dilakukan untuk memastikan *boost converter* bekerja pada *Continuous Conduction Mode* (CCM).

### 3.2.3 Algoritma *Fuzzy Logic*

Berikut adalah tahapan pembuatan algoritma *fuzzy logic* yang digunakan pada MPPT dijelaskan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Diagram Alir MPPT *Fuzzy Logic*

Penjelasan mengenai diagram alir pada Gambar 3.4 adalah sebagai berikut.

1. Pembuatan algoritma *fuzzy logic* pada penelitian ini dimulai dengan mengkonversi nilai  $dV$  dan  $dP$  dari panel surya menjadi nilai  $E$  dan  $CE$ .



2. Desain *membership function* dan *fuzzy rules* dibuat dengan menggunakan *Fuzzy Inference System (FIS) Toolbox* yang tersedia pada Matlab. Proses ini menghasilkan *file* dengan format *fis* (.fis) yang selanjutnya dikirimkan menuju *Workshop* pada Matlab. *File* tersebut kemudian dipanggil dengan blok FIS pada Simulink Matlab untuk digunakan pada sistem MPPT yang sudah dibuat.
3. PWM generator berfungsi untuk menghasilkan sinyal PWM yang akan diteruskan menuju komponen *switch* pada *boost converter*. Nilai PWM yang dihasilkan sesuai dengan nilai hasil pada *defuzzification* dari algoritma *fuzzy*.

## 3.2 Instrumen Penelitian

### 3.2.1 Perangkat Keras (*Hardware*)

Berikut adalah beberapa *hardware* yang digunakan pada penelitian ini.

#### 1. Panel surya

Penelitian ini menggunakan 2 buah panel surya yang terpasang pada mobil tawon dengan kapasitas masing-masing 100 WP. Konfigurasi panel surya yang terpasang yaitu terhubung secara paralel. Spesifikasi panel surya yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.1 di bawah ini.

Tabel 3.1 Spesifikasi Panel Surya

Parameter	Keterangan	Satuan
Merek	<i>Solarland</i>	-
Jenis panel surya	<i>Polycrystalline</i>	-
Daya maksimum ( $P_m$ )	100	W
Tegangan maksimum ( $V_m$ )	17,2	V
Arus maksimum ( $I_m$ )	5,81	A
Tegangan terbuka ( $V_{oc}$ )	21,6	V
Arus hubung singkat ( $I_{sc}$ )	6,46	A
Koefisien temperatur $V_{oc}$	$-(80 \pm 10)$	mV/°C
Koefisien temperatur $I_{sc}$	$(0,065 \pm 0,015)$	%/°C

Berdasarkan pada Tabel 3.1 di atas, kapasitas daya maksimum yang dapat dihasilkan oleh panel surya adalah 100 W pada tegangan 17,2 V.

#### 2. Sensor Cahaya BH1750

Sensor ini berfungsi untuk mengukur iradiasi matahari dalam satuan lux. Spesifikasi mengenai sensor BH1750 dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Spesifikasi Sensor BH1750

Parameter	Keterangan	Satuan
Daya	4,5	V
Suhu Operasi	-40 sampai 85	°C
Minimum Lux	0,11	Lux
Maksimum Lux	100000	Lux

Berdasarkan pada Tabel 3.2 di atas, pembacaan iradiasi maksimum pada sensor cahaya adalah 100.000 lux pada suhu operasi maksimum yaitu 85°C

### 3. Sensor Suhu DHT11

Sensor ini berfungsi untuk mengukur suhu dan kelembapan. Jumlah sensor yang digunakan yaitu 2 buah yang diletakkan pada kabin mobil (*indoor*) dan lingkungan mobil (*outdoor*). Spesifikasi mengenai sensor DHT11 dapat dilihat pada Tabel 3.3 di bawah ini.

Tabel 3.3 Spesifikasi Sensor DHT11

Parameter	Kondisi	Keterangan		Satuan
		Min.	Maks.	
<i>Humidity Accuracy</i>	0 sampai 50°C	1%	±5%	RH
<i>Humidity Range</i>	0°C	30%	90%	RH
	25°C	20%	90%	RH
	50°C	20%	80%	RH
<i>Temperature Accuracy</i>	-	±1	±2	°C
<i>Temperature Range</i>	-	0	50	°C

Berdasarkan pada Tabel 3.3 di atas, sensor DHT11 mampu membaca temperatur maksimal adalah 50°C dan kelembapan maksimal 80%.

### 4. Arduino Uno

Arduino Uno berfungsi sebagai pusat pengendalian dari beberapa sensor pada alat *data logger*. Spesifikasi Arduino Uno dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Spesifikasi Arduino Uno

Parameter	Keterangan	Satuan
<i>Microcontroller</i>	ATmega328	-
Tegangan <i>Input</i> Rekomendasi	7 sampai 12	V
Pin I/O Digital	14	buah
Pin <i>Input</i> Analog	6	buah
<i>Clock Speed</i>	16	Mhz

Berdasarkan pada Tabel 3.4, Arduino yang digunakan mampu mengoperasikan *input output* digital sampai 14 pin dengan *clock speed* sebesar 16 Mhz.

#### 5. Sensor Tegangan

Sensor tegangan berfungsi untuk mengukur tegangan *output* pada panel surya. Spesifikasi sensor tegangan dapat dilihat pada Tabel 3.5 di bawah ini.

Tabel 3.5 Spesifikasi Sensor Tegangan

<b>Parameter</b>	<b>Keterangan</b>	<b>Satuan</b>
Tegangan Minimum	0,02445	V
Tegangan Maksimum	25	V
Ketelitian Pengukuran	0,00489	V

Berdasarkan pada Tabel 3.5 di atas, sensor tegangan mampu membaca tegangan sampai dengan 25 V dengan ketelitian pembacaan yaitu 0,00489 V.

### 3.2.2 Perangkat Lunak (*Software*)

Berikut adalah perangkat lunak yang digunakan selama penelitian yang dijelaskan di bawah ini.

#### 1. *Integrated Development Environment* (IDE) Arduino

*Software* ini digunakan untuk membuat, mengkompilasi, dan mengunggah *listing program* ke Arduino. Versi Arduino yang digunakan yaitu Arduino *IDE* versi 1.8.2.

#### 2. Matlab 2017b

*Software* ini berfungsi untuk membuat model simulasi sistem MPPT. *Software* ini juga digunakan untuk membuat algoritma *fuzzy logic* dengan bantuan *toolbox* pada Matlab.

#### 3. PLX-DAQ

*Software* ini berbasis fungsi makro pada Microsoft Excel yang berfungsi untuk mengakuisisi data dari *data logger* ke Microsoft Excel secara *realtime*.

### 3.2.3 Alat Ukur

Alat ukur yang digunakan pada penelitian ini digunakan untuk menyesuaikan pembacaan sensor pada *data logger* untuk meminimalisir kesalahan

pembacaan. Berikut adalah alat ukur yang digunakan selama penelitian berlangsung.

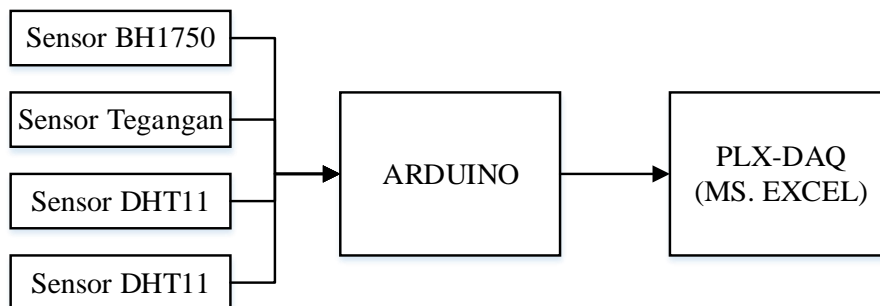
1. Multimeter digital berfungsi untuk mengukur tegangan *output* panel surya.
2. *Lux meter* berfungsi untuk mengukur iradiasi matahari dalam satuan lux.
3. Termometer berfungsi untuk mengukur temperatur lingkungan panel surya.

### 3.3 Perancangan Penelitian

Perancangan pada penelitian ini terdiri beberapa perancangan, yaitu perancangan *data logger*, perancangan algoritma *fuzzy logic*, perancangan *buck boost converter*, dan perancangan MPPT secara keseluruhan.

#### 3.3.1 Perancangan *Data Logger*

*Data logger* pada MPPT berfungsi untuk merekam dan memberi informasi data mengenai kondisi panel surya secara *realtime*. Data yang direkam adalah suhu dan kelembapan, iradiasi matahari, tegangan, arus, dan nilai *duty cycle*. Berikut adalah diagram blok *data logger* yang dimulai dari pengukuran data hingga akuisisi data ke komputer yang dijelaskan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Diagram Blok *Data Logger*

Diagram blok pada Gambar 3.5 menggunakan sensor DHT11 sebanyak 2 buah yang berfungsi untuk mengukur temperatur di dalam dan di luar mobil tawon. Sensor tegangan berfungsi untuk mengukur tegangan panel surya sedangkan sensor BH1750 berfungsi untuk mengukur iradiasi matahari. Pembacaan data oleh sensor-sensor selanjutnya diolah dan dikirimkan menuju Microsoft Excel melalui *port serial*.

PLX-DAQ bertugas untuk mengakuisisi data dari Arduino ke Microsoft Excel sehingga data dapat disimpan. Kelebihan *data logger* menggunakan PLX-DAQ adalah tempat penyimpanan data yang terbaca berupa Microsoft Excel, sehingga data yang tersimpan dapat mencapai kapasitas maksimum dari Microsoft Excel. Kapasitas penyimpanan maksimum pada Microsoft Excel yaitu sebesar 1048576 baris dan 16384 kolom.

### 3.3.2 Perancangan *Boost Converter*

*Boost converter* yang penulis buat memiliki parameter-parameter seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.6 di bawah ini.

Tabel 3.6 Parameter *Boost Converter*

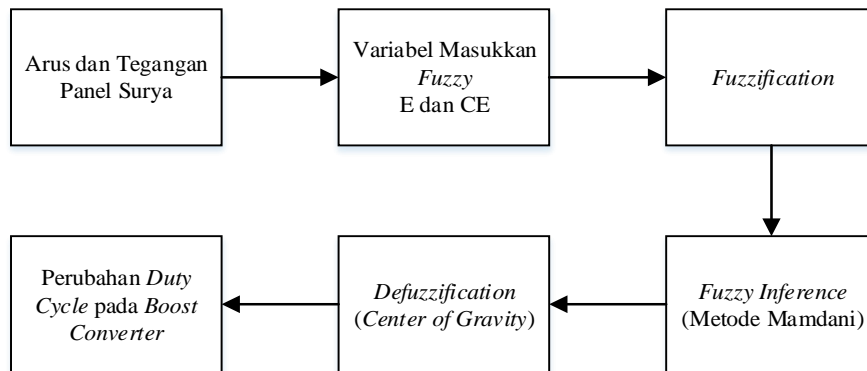
Parameter	Nilai	Satuan
Tegangan <i>input</i> ( $V_{in}$ )	17,2	V
Frekuensi ( $f$ )	10000	Hz
Tegangan riak ( $V_{ripple}$ )	0,05	V

Nilai resistor ( $R_L$ ), induktor minimum ( $L_{min}$ ), dan kapasitor minimum ( $C_{min}$ ) yang dibutuhkan sesuai dengan persamaan (2-10) sampai persamaan (2-12) masing-masing adalah  $3 \Omega$ ,  $1,545 \times 10^{-5} \text{ H}$ , dan  $2,567 \times 10^{-2} \text{ F}$  (cara perhitungan dapat dilihat pada Lampiran C-1).

### 3.3.3 Perancangan Algoritma *Fuzzy Logic*

Algoritma *fuzzy logic* pada sistem MPPT berfungsi untuk menentukan besar *duty cycle* agar tercapai daya maksimum sesuai dengan kondisi matahari. Diagram blok pada Gambar 3.6 menunjukkan proses perhitungan algoritma *fuzzy logic* pada sistem MPPT. Variabel *input* pada sistem ini menggunakan *error* (E) dan *correction of error* (CE) pada panel surya.

Nilai E dan CE ditentukan dengan menggunakan Persamaan (2-9) dan Persamaan (2-10) yang telah dijelaskan sebelumnya. Pembuatan algoritma *fuzzy logic* ini dilakukan dengan menggunakan *fuzzy logic toolbox* pada Matlab. Berikut adalah diagram blok algoritma *fuzzy logic* pada sistem MPPT yang dijelaskan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Diagram Blok Algoritma *Fuzzy Logic* pada MPPT

Parameter yang digunakan dalam pembuatan algoritma *fuzzy logic* adalah *membership function* dan *rule base*. Algoritma *fuzzy logic* pada penelitian ini menggunakan 5 variabel, yaitu *Negative Big* (NB), *Negative Small* (NS), *Zero* (ZE), *Positive Small* (PS), dan *Positive Big* (PB). Berikut adalah *membership function* E dan CE yang dijelaskan pada Tabel 3.7.

Tabel 3.7 *Membership Function* pada *Input E dan CE*

Variabel	Type	<i>Membership Function E dan CE</i>
NB	<i>trapmf</i>	[-15 -15 -10 -5]
NS	<i>trimf</i>	[-10 -5 0]
ZE	<i>trimf</i>	[-5 0 5]
PS	<i>trimf</i>	[0 5 10]
PB	<i>trapmf</i>	[5 10 15 15]

*Range membership function* E dan CE pada Tabel 3.7 adalah -15 sampai 15. Penarikan kesimpulan dari sekumpulan kaidah *fuzzy* dilakukan dengan menggunakan metode Mamdani atau disebut juga metode *Min-Max Inferencing*, sedangkan pada proses *defuzzification* digunakan metode *Center of Gravity* (COG). Berikut adalah *membership function* pada *output Duty Cycle* (DC) dijelaskan pada Tabel 3.8 di bawah ini.

Tabel 3.8 *Membership Function* pada *Output DC*

Variabel	Type	<i>Membership Function DC</i>
NB	<i>trapmf</i>	[-0,15 -0,15 -0,1 -0,05]
NS	<i>trimf</i>	[-0,1 -0,05 0]
ZE	<i>trimf</i>	[-0,05 0 0,05]
PS	<i>trimf</i>	[0 0,05 0,1]
PB	<i>trapmf</i>	[0,05 0,1 0,15 0,15]

Berdasarkan Tabel 3.8, *range* pada *duty cycle* adalah 0 sampai 1. Berikut adalah *rule base* yang digunakan dijelaskan pada Tabel 3.9.

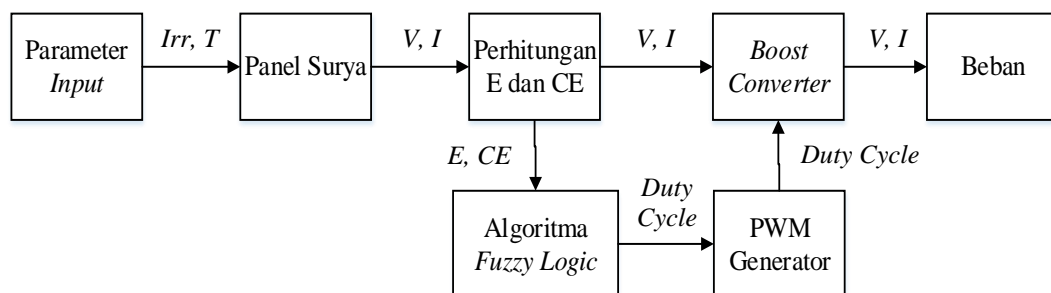
Tabel 3.9 *Fuzzy Rules*

<i>Fuzzy Rules</i>	<b>E</b>					
		<b>NB</b>	<b>NS</b>	<b>ZE</b>	<b>PS</b>	<b>PB</b>
<b>CE</b>	<b>NB</b>	ZE	ZE	PB	PB	PB
	<b>NS</b>	ZE	ZE	PS	PS	PS
	<b>ZE</b>	PS	ZE	ZE	ZE	NS
	<b>PS</b>	NS	NS	NS	ZE	ZE
	<b>PB</b>	NS	NB	NB	ZE	ZE

Variabel pada Tabel 3.9 berfungsi untuk memetakan area *fuzzy* pada *membership function* dan memudahkan dalam menentukan *fuzzy rule*. Jumlah *rule base* pada penelitian ini adalah 25 *rule base*. Jumlah ini sesuai dengan banyak variabel pada nilai *input fuzzy*.

### 3.3.4 Perancangan MPPT *Fuzzy Logic*

Perancangan MPPT pada penelitian ini berbasis simulasi menggunakan *software* Matlab 2017b. Diagram blok MPPT *fuzzy logic* yang dimodelkan dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Diagram Blok MPPT *Fuzzy Logic*

Panel surya menghasilkan tegangan ( $V$ ) dan arus ( $I$ ) sesuai dengan parameter *input*, yaitu nilai iradiasi ( $Irr$ ) dan temperatur ( $T$ ). Fungsi dari blok perhitungan  $E$  dan  $CE$  adalah untuk mengubah nilai pembacaan tegangan dan arus menjadi nilai *input* pada algoritma *fuzzy* yaitu  $E$  dan  $CE$ . *Output* algoritma *fuzzy logic* masih berbentuk nilai decimal *duty cycle*, untuk mengubahnya menjadi sinyal *PWM* maka dibutuhkan blok *PWM Generator*.

### **3.4 Tempat dan Waktu Penelitian**

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Tenaga Jurusan Teknik Elektro UNTIRTA karena lokasi parkir mobil tawon yang dekat dengan Laboratorium Tenaga dan peralatan-peralatan yang dibutuhkan tersimpan di dalamnya. Skripsi ini berlangsung dari bulan Mei 2017 sampai dengan Juli 2018.



## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

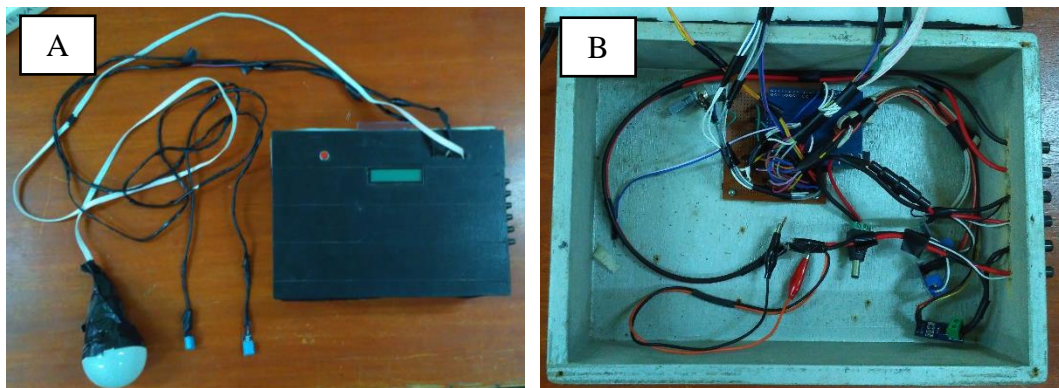
Bab ini berisikan mengenai hasil dan pembahasan dari beberapa pengujian yang dilakukan pada penelitian ini. Hasil dari pengujian disajikan dalam bentuk tabel, grafik, dan gambar yang kemudian dilakukan analisis pembahasan. Berikut adalah beberapa hasil yang didapat pada penelitian ini.

1. *Data logger*
2. Karakteristik cuaca dan panel surya
3. *Boost converter*
4. MPPT *fuzzy logic*

#### 4.1 Hasil

##### 4.1.1 *Data Logger*

Penelitian ini telah berhasil membuat alat *data logger* yang digunakan untuk menguji karakteristik panel surya. Berikut adalah bentuk *data logger* yang digambarkan pada Gambar 4.1 di bawah ini.



Gambar 4.1 *Data Logger*; (A) Tampak Luar, (B) Tampak Dalam

Berdasarkan pada Gambar 4.1 di atas, terdapat 2 penempatan sensor yaitu di luar *box* dan didalam *box*. Sensor yang berada di luar *box* yaitu sensor cahaya dan sensor suhu, sedangkan sensor yang berada didalam *box* hanya sensor tegangan. Sensor cahaya dan sensor suhu terhubung dengan kabel yang bertujuan untuk

memudahkan dalam peletakan sensor. Hasil peletakan dan hasil pengujian sensor-sensor terhadap alat ukur sebenarnya dapat dilihat pada Lampiran B-1.

#### 4.1.2 Pengujian Karakteristik Cuaca dan Panel Surya

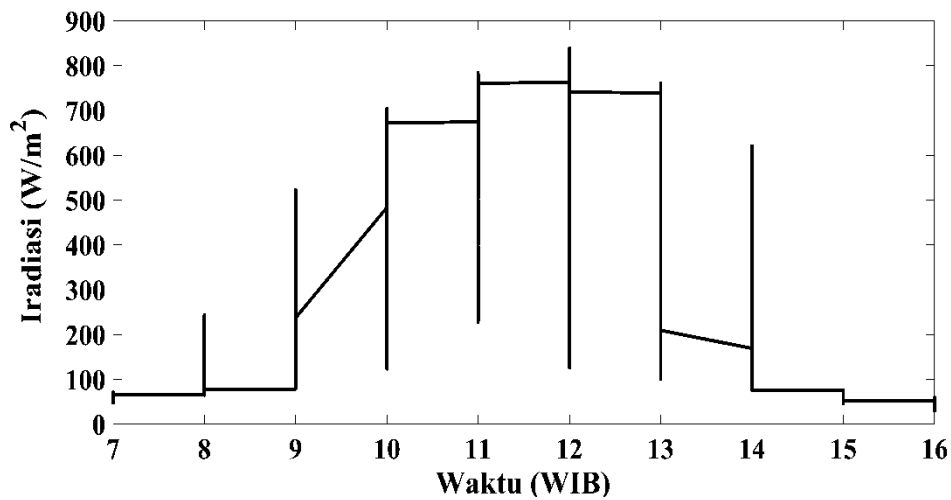
Pengujian karakteristik cuaca dan panel surya perlu dilakukan mengingat keduanya saling berkaitan. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan tegangan panel surya, iradiasi matahari, suhu lingkungan terhadap waktu. Satuan iradiasi matahari yang terekam oleh *data logger* adalah lux. Satuan ini kemudian dikonversikan menjadi nilai radiasi matahari dalam satuan  $W/m^2$ .

Perhitungan proses konversi satuan lux menjadi satuan  $W/m^2$  menggunakan Persamaan (2-3) yang telah dijelaskan sebelumnya. Pengujian ini dilakukan di halaman parkir mobil gedung Fakultas Teknik Untirta saat mobil tawon terparkir. Berikut adalah Gambar 4.2 yang menggambarkan posisi panel surya yang terpasang pada mobil tawon saat dilakukan pengujian karakteristik panel surya.



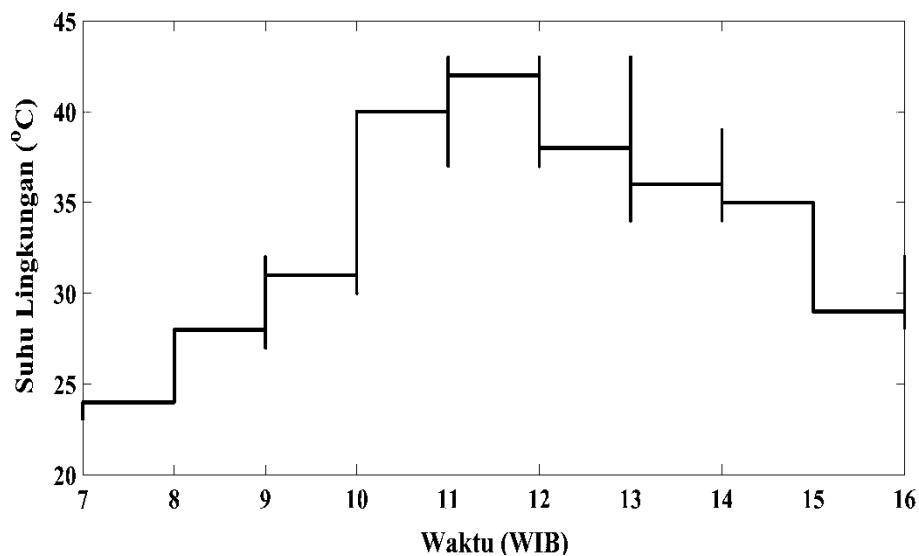
Gambar 4.2 Posisi Panel Surya pada Mobil Tawon

Data yang direkam oleh *data logger* yaitu iradiasi matahari, temperatur lingkungan, dan tegangan *open circuit*. Waktu pengujian dimulai pukul 7.00 WIB sampai 17.00 WIB dengan pengambilan data pada setiap detiknya. Hasil dari pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 4.3 sampai Gambar 4.5.



Gambar 4.3 Grafik Iradiasi Matahari Terhadap Waktu

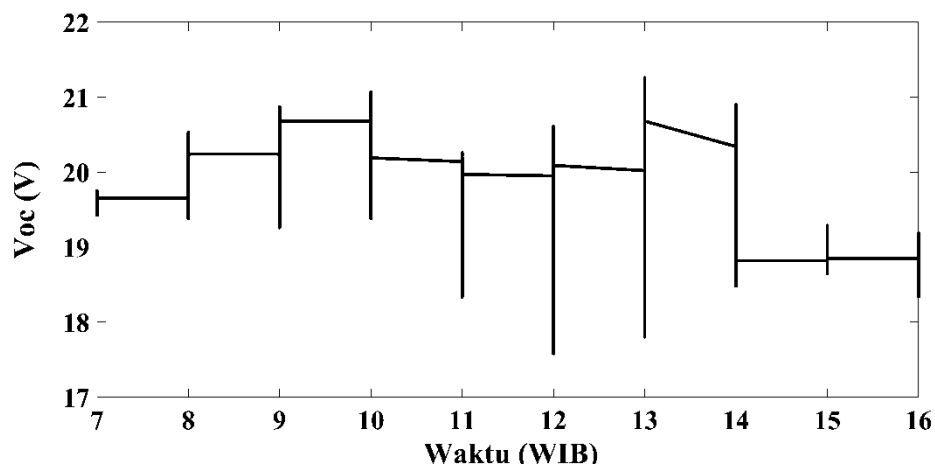
Grafik pada Gambar 4.3 di atas menjelaskan mengenai hubungan iradiasi matahari terhadap waktu. Nilai puncak iradiasi matahari terjadi sekitar pukul 12.00 WIB dengan nilai rata-rata  $839,48 \text{ W/m}^2$ , sedangkan nilai terendah terjadi sekitar pukul 17.00 WIB dengan nilai rata-rata  $26,76 \text{ W/m}^2$ . Grafik mengenai hubungan antara suhu terhadap waktu dijelaskan pada Gambar 4.4 di bawah ini.



Gambar 4.4 Grafik Suhu Terhadap Waktu

Grafik pada Gambar 4.4 di atas menunjukkan bahwa suhu maksimum terjadi sejak pukul 11.00 WIB sampai 12.00 WIB dengan nilai suhu mencapai  $40^\circ\text{C}$

sampai 41°C. Berikut adalah grafik mengenai hubungan antara tegangan *open circuit* ( $V_{oc}$ ) terhadap waktu yang dijelaskan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Grafik  $V_{oc}$  Terhadap Waktu

Hasil grafik pada Gambar 4.5 di atas menunjukkan bahwa nilai tegangan tertinggi yaitu 21,26 V dicapai sekitar pukul 13.00 WIB, sedangkan nilai tegangan terendah yaitu 17,58 V dicapai sekitar pukul 12.00 WIB. Grafik tersebut juga menunjukkan penurunan nilai  $V_{oc}$ . Hal ini diakibatkan karena suhu pada pukul 11.00 WIB dan 12.00 WIB sangat tinggi sehingga panel surya mengalami penurunan efisiensi. Penurunan efisiensi yang terjadi berbanding lurus dengan penurunan  $V_{oc}$  pada panel surya. Nilai penurunan  $V_{oc}$  yang terjadi sebesar 0,085 V pada setiap kenaikan 10°C (cara perhitungan dapat dilihat pada Lampiran C-1).

Ketiga grafik pada Gambar 4.3 sampai Gambar 4.5 memiliki bentuk yang unik. Bentuk ini terjadi karena perubahan nilai yang drastis pada waktu tertentu. Salah satu contoh yaitu data pada pukul 12.00 WIB. Grafik yang terbentuk saat pukul 12.00 WIB yaitu berupa garis lurus yang terbentang vertikal. Garis tersebut memiliki nilai batas bawah yaitu 17,6 V dan nilai pada batas atas sebesar 20,6 V. Data ini menunjukkan bahwa selama pukul 12.00 WIB sampai 13.00 WIB terjadi perubahan nilai tegangan  $V_{oc}$  dengan nilai minimum 17,6 V dan tegangan maksimum yaitu 20,6 V dalam waktu yang singkat.

Perhitungan efisiensi menggunakan asumsi bahwa panel surya yang terpasang adalah yang berjenis *polycrystalline* karena panel surya jenis ini memiliki

nilai efisiensi yang lebih rendah daripada jenis *monocrystalline*. Nilai rata-rata tegangan *open circuit* ( $V_{oc}$ ) dan arus *short circuit* ( $I_{sc}$ ) yang terukur masing-masing adalah 21,26 V dan 6,67 A. Berdasarkan data yang terukur dan spesifikasi pada Gambar 3.1 yang telah dijelaskan sebelumnya, sesuai dengan Persamaan (2-13) dan (2-14) didapat nilai efisiensi panel surya yang terpasang adalah 12,87% (cara perhitungan dapat dilihat pada Lampiran C-1)

#### 4.1.3 Boost Converter

*Boost converter* pada penelitian ini berfungsi untuk menaikkan tegangan *input* menjadi 48 V dengan sumber tegangan yang berasal dari panel surya. Komponen yang digunakan dalam pemodelan *boost converter* diantaranya adalah induktor, kapasitor, IGBT, dioda, dan resistor. Parameter dari masing-masing komponen dapat dilihat pada Tabel 3.11 yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya.

Pengujian tegangan *output* pada *boost converter* dilakukan untuk memastikan *boost converter* bekerja sebagaimana mestinya. Pengujian ini menggunakan sumber tegangan DC untuk memudahkan saat dilakukan pengujian. Pengujian dilakukan dengan mengubah tegangan *input* sampai didapat tegangan *output* mencapai 48 V. Hasil yang didapat dari pengujian yang telah dilakukan dijelaskan pada Tabel 4.1.

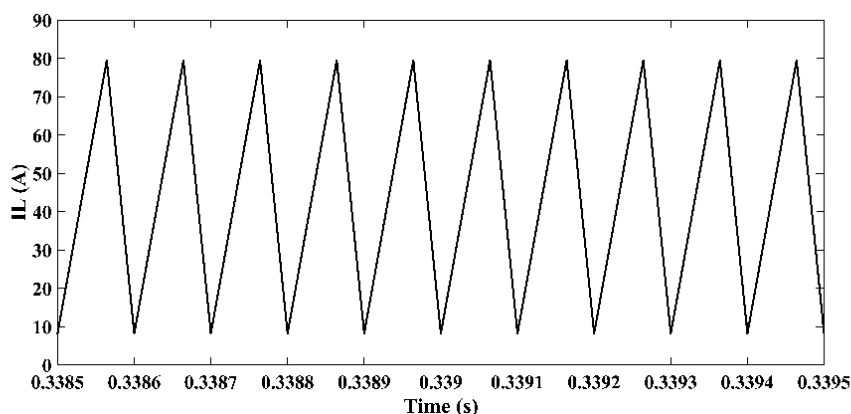
Tabel 4.1 Hasil Pengujian *Boost Converter*

DC (%)	$V_{in}$ (V)	$I_{in}$ (A)	$P_{in}$ (W)	$V_{out}$ (V)	$I_{out}$ (A)	$P_{out}$ (W)	$\eta$ (%)
52	23	9,166	210,8	49,85	4,154	207,1	98,2
64,58	17	11,16	189,7	47,18	3,931	185,5	97,8
75	12	15,79	189,5	47,11	3,926	184,9	97,6
87,5	6	31,38	188,3	46,97	3,915	183,9	97,7
93,75	3	61,7	185,1	46,24	3,853	178,2	96,3

Berdasarkan pada Tabel 4.1, *boost converter* dapat beroperasi dengan baik ditandai dengan nilai tegangan *output* mendekati 48 V. Besar tegangan dan arus pada sisi *input* maupun sisi *output* berbanding terbalik sesuai dengan perubahan *duty cycle*. Tabel 4.1 di atas juga menampilkan nilai efisiensi dari *boost converter*.

Nilai efisiensi dari terendah yaitu 96,3 % didapat saat *duty cycle* 93,75%, sedangkan nilai efisiensi tertinggi yaitu 98,2% didapat saat *duty cycle* 52%. Nilai efisiensi *boost converter* yang ideal yaitu memiliki nilai 100%, namun setiap komponen pada *boost converter* itu sendiri memiliki rugi-rugi daya yang menyebabkan nilai efisiensinya jadi berkurang.

Penelitian ini juga melakukan pengujian arus pada rangkaian *boost converter*. Pengujian ini dilakukan untuk memastikan *boost converter* yang telah dimodelkan bekerja pada mode *Continuous Conduction Mode* (CCM). Berikut adalah hasil pengujian arus pada induktor ( $I_L$ ) yang dijelaskan pada Gambar 4.7 di bawah ini.



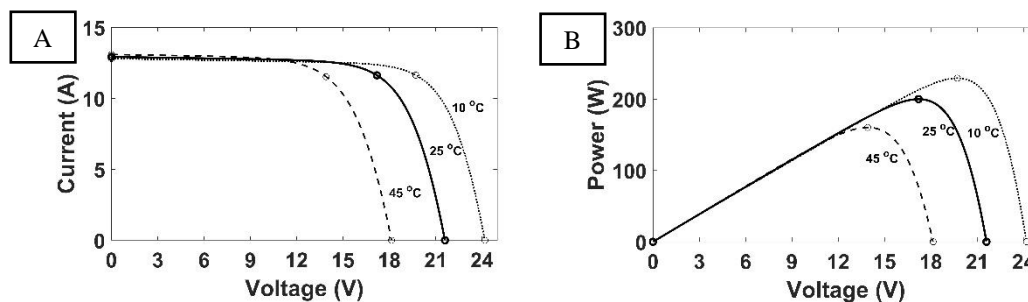
Gambar 4.6 Bentuk Arus  $I_L$  pada *Boost converter*

Berdasarkan pada Gambar 4.6, terlihat bahwa bentuk dasar gelombang  $I_L$  berbentuk gergaji dengan nilai minimum 9 A dan nilai maksimum 80 A. Nilai terendah dari gelombang yang dihasilkan tidak mencapai posisi 0 sehingga *boost converter* sudah beroperasi pada mode CCM. Berbeda halnya dengan mode *Discontinuous Current Mode* (DCM), besar  $I_L$  akan mengalami pengosongan hingga nilai arusnya nol saat MOSFET berada pada kondisi *switch off*.

#### 4.1.4 MPPT *Fuzzy Logic*

Desain sistem MPPT *fuzzy logic* pada penelitian ini menggunakan sumber tegangan yang berasal dari panel surya. Panel surya yang dimodelkan mengikuti spesifikasi panel surya pada Tabel 3.1 yang telah dijelaskan sebelumnya. Pengujian

panel surya yang telah dimodelkan bertujuan untuk mengetahui karakteristik panel surya saat beroperasi. Pengujian dilakukan dengan cara mengamati perubahan arus, tegangan, dan daya pada panel surya saat perubahan iradiasi dan temperatur sesuai dengan *Standard Test Condition* (STC). Berikut adalah grafik pengujian panel surya yang dijelaskan pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 di bawah ini.



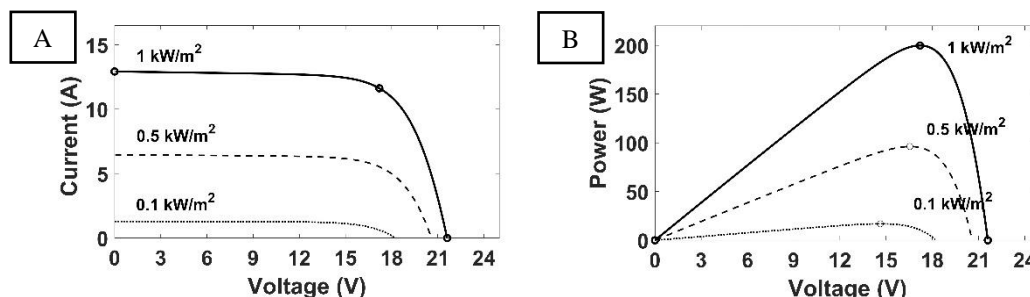
Gambar 4.7 Karakteristik Model Panel Surya saat 1000 W/m<sup>2</sup>;

(A) Kurva  $I$ - $V$ , (B) Kurva  $P$ - $V$

Berdasarkan pada Gambar 4.7 di atas, pengujian dilakukan dengan kondisi iradiasi matahari sebesar 1000 W/m<sup>2</sup> dan nilai temperatur panel surya yang bervariasi. Keterangan kurva (A) menunjukkan karakteristik arus terhadap tegangan ( $I$ - $V$ ) pada panel surya. Perubahan temperatur yang terjadi menyebabkan tegangan operasi pada panel surya menjadi berkurang. Nilai tegangan operasi terendah pada panel surya terjadi saat temperatur 45°C yaitu sebesar 18 V, sedangkan tegangan operasi tertinggi terjadi saat 10°C dengan nilai tegangan sebesar 24 V. Besar arus yang dihasilkan relatif sama pada setiap kondisi temperatur, yaitu berkisar 13,2 A.

Keterangan kurva (B) pada Gambar 4.7 menunjukkan karakteristik daya terhadap tegangan ( $P$ - $V$ ) pada panel surya. Perubahan temperatur yang terjadi menyebabkan daya dan tegangan panel surya juga berubah. Titik maksimum daya yang dihasilkan panel surya pada kurva tersebut yaitu saat temperature mencapai 10°C dengan besar daya mencapai 230 W pada tegangan 20,5 V. Kurva tersebut juga menunjukkan titik maksimum daya saat temperatur mencapai 45°C dengan besar daya 165 W pada tegangan 14,3 V.

Pengujian karakteristik model panel surya saat temperatur  $25^{\circ}\text{C}$  dijelaskan pada Gambar 4.8 di bawah ini.



Gambar 4.8 Karakteristik Model Panel Surya saat  $25^{\circ}\text{C}$ ;

(A) Kurva  $I$ - $V$ , (B) Kurva  $P$ - $V$

Berdasarkan keterangan kurva (A) pada Gambar 4.8 di atas, karakteristik yang ditunjukkan pada kurva  $I$ - $V$  memiliki perbedaan dengan kurva  $I$ - $V$  pada Gambar 4.7. Perubahan temperature pada Gambar 4.7 tidak berpengaruh signifikan terhadap arus yang dikeluarkan oleh panel surya, sedangkan pada Gambar 4.8, perubahan iradiasi matahari berpengaruh signifikan terhadap arus yang dikeluarkan oleh panel surya. Nilai tertinggi arus panel surya mencapai 13,8 A saat iradiasi matahari sebesar  $1000 \text{ W/m}^2$ , sedangkan nilai terendah arus panel surya mencapai 1,2 A saat iradiasi matahari sebesar  $100 \text{ W/m}^2$ .

Keterangan kurva (B) menunjukkan perubahan daya panel surya terhadap perubahan iradiasi. Nilai daya maksimum tertinggi pada kurva  $P$ - $V$  panel surya didapat saat iradiasi  $1000 \text{ W/m}^2$  dengan tegangan operasi 17,2 V, sedangkan daya maksimum terendah didapat saat iradiasi  $100 \text{ W/m}^2$  dengan tegangan operasi mencapai 14,8 V.

Pengujian karakteristik panel surya pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 menunjukkan bahwa hubungan daya panel surya dengan iradiasi berbanding lurus dan berbanding terbalik dengan temperatur. Semakin besar nilai iradiasi matahari maka daya panel surya semakin besar, sedangkan semakin besar nilai temperatur panel surya maka daya panel surya akan semakin kecil. Hasil pengujian tersebut merupakan hasil yang didapat dari 2 buah panel surya yang terpasang paralel.

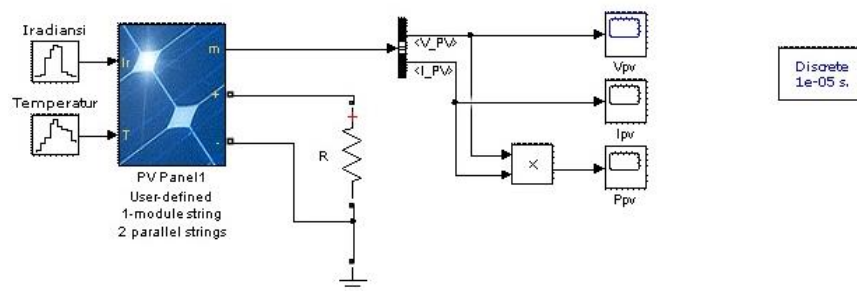


Pengujian panel surya tanpa MPPT dan menggunakan MPPT dilakukan dengan cara menghubungkan dengan beban ( $R$ ). Parameter iradiasi dan temperatur yang digunakan saat pengujian menggunakan data yang terdapat pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 untuk setiap jam nya. Berikut adalah parameter iradiasi dan temperatur pada setiap jam nya dijelaskan pada Tabel 4.2 di bawah ini.

Tabel 4.2 Parameter Iradiasi dan Temperatur

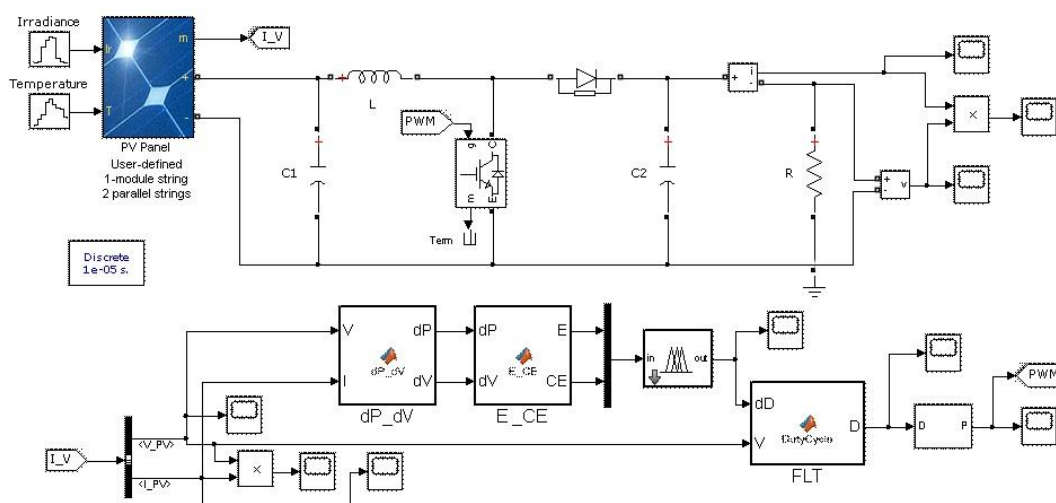
Waktu (WIB)	Temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )	Iradiasi ( $\text{W}/\text{m}^2$ )
07:00:26	23	54,2
08:00:00	24	81,2
09:00:00	28	95,4
10:00:00	31	590,5
11:00:01	40	823,6
12:00:01	42	929,4
13:00:00	38	903,1
14:00:00	36	206,3
15:00:00	35	92,0
16:00:01	29	63,3
16:59:59	28	32,7

Data iradiasi dan temperatur pada Tabel 4.2 di atas mewakili bahwa panel surya yang dimodelkan beroperasi sepanjang hari dengan kondisi lingkungan yang bervariasi. Pengujian panel surya yang tidak menggunakan MPPT dilakukan dengan cara menghubungkan langsung panel surya dengan beban. Beban pada penelitian ini adalah beban resistif. Hasil dari pengujian ini adalah nilai tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan oleh panel surya. Berikut adalah rangkaian pengujian tanpa MPPT yang dijelaskan pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Pengujian tanpa MPPT

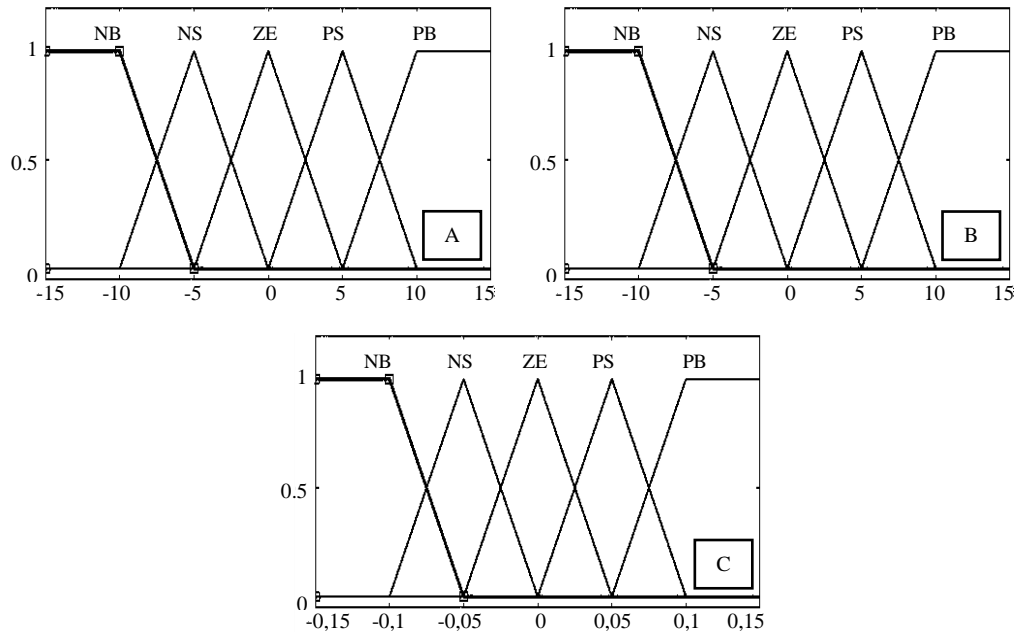
Pengujian panel surya menggunakan MPPT dilakukan untuk membandingkan hasil pengujian dengan panel surya tanpa MPPT. Berikut adalah panel surya yang dihubungkan dengan MPPT yang dijelaskan pada Gambar 4.10 di bawah ini.



Gambar 4.10 Pengujian dengan MPPT

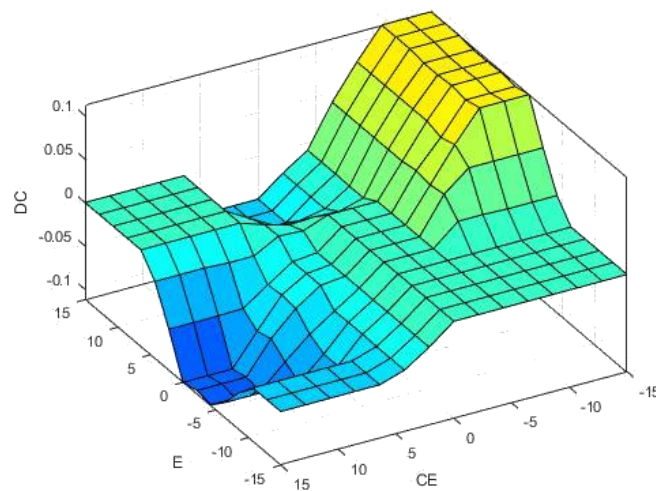
Berdasarkan pada Gambar 4.10 di atas, terdapat blok  $dP_{dV}$  dan  $E_{CE}$  yang berisikan *listing program* untuk mendapatkan parameter *input* yang dibutuhkan pada blok *fuzzy logic toolbox* (*listing program* dapat dilihat pada Lampiran D-1). Blok  $dP_{dV}$  berfungsi untuk mendapatkan nilai delta, yaitu selisih pembacaan nilai sekarang dengan pembacaan nilai sebelumnya. Nilai *input* dari blok  $dP_{dV}$  adalah tegangan ( $V$ ) dan arus ( $I$ ) pada panel surya. Hasil dari blok ini berupa nilai delta daya ( $dP$ ) dan delta tegangan ( $dV$ ). Nilai tersebut dijadikan sebagai parameter *input* pada blok  $E_{CE}$  untuk mendapatkan nilai *error* ( $E$ ) dan *correction of error* ( $CE$ ).

Blok selanjutnya yang digunakan yaitu blok *fuzzy logic toolbox*. Blok ini merupakan *toolbox* yang disediakan oleh MATLAB untuk memudahkan pengguna dalam menyelesaikan masalah terkait *fuzzy logic*. Parameter *membership function* yang digunakan pada penelitian ini disesuaikan dengan parameter yang ada pada Tabel 3.7 dan Tabel 3.8 yang telah dijelaskan sebelumnya. Bentuk *membership function* yang telah dibuat pada *fuzzy logic toolbox* dijelaskan pada Gambar 4.11.



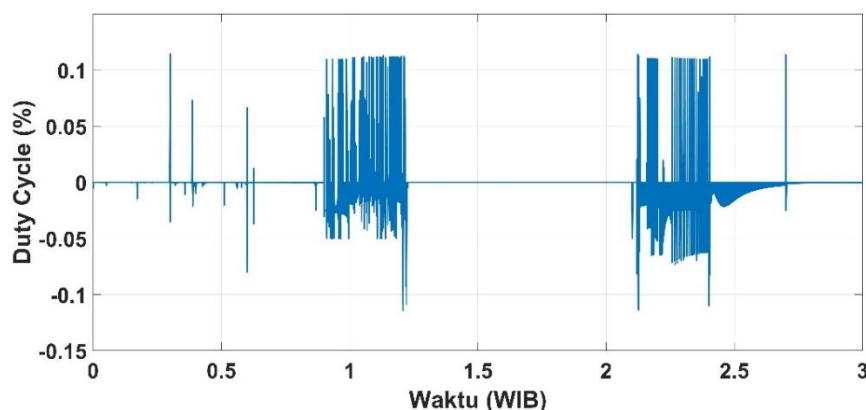
Gambar 4.11 *Membership Function* MPPT

Keterangan (A) dan (B) pada Gambar 4.11 merupakan *Membership function* pada sisi *input* yaitu E dan CE, sedangkan (C) merupakan *membership function* pada sisi *output* yaitu *duty cycle* (DC). Hubungan antara E, CE, dan DC pada algoritma *fuzzy logic* ditampilkan dengan bentuk tampilan *surface* 3 Dimensi (3D). Berikut adalah Gambar 4.12 yang menampilkan hubungan antara E, CE, dan DC pada algoritma *fuzzy logic* yang telah dibuat.



Gambar 4.12 *Surface Fuzzy Logic* pada MPPT

Gambar 4.12 menunjukkan hubungan *input output* pada algoritma *fuzzy logic* yang ditampilkan secara 3D. Sumbu *x* dan sumbu *y* merupakan nilai *input*, sedangkan sumbu *z* merupakan hasil *defuzzification* dari operasi *fuzzy logic*. Hasil ini berupa besaran nilai *duty cycle* yang dibutuhkan untuk mencapai daya maksimum dengan kondisi cuaca dan beban yang bervariasi. Berikut adalah Gambar 4.13 yang menjelaskan tentang *output fuzzy logic* yang berupa nilai *duty cycle* yang berubah-ubah.



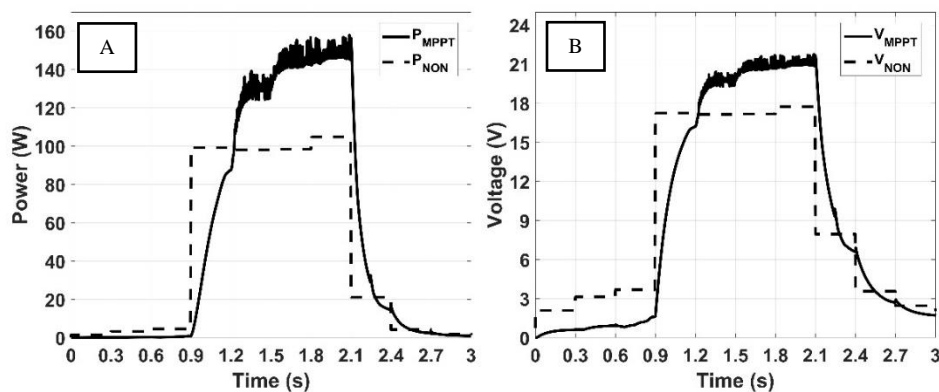
Gambar 4.13 Perubahan *Duty Cycle*

Grafik yang ditampilkan pada Gambar 4.13 di atas merupakan *output* dari MPPT *fuzzy logic* yang berupa nilai *duty cycle* yang berubah-ubah. Nilai fluktuatif yang terjadi akibat dari perubahan iradiasi dan temperatur pada panel surya sehingga mengakibatkan daya yang dikeluarkan oleh panel surya juga berubah.

Peran algoritma *fuzzy logic* terhadap perubahan cuaca ini yaitu sebagai pengatur kebutuhan *duty cycle* pada *boost converter* agar titik operasi daya pada panel surya berada di titik MPP. Apabila perubahan cuaca yang terjadi tidak mengakibatkan berubahnya titik MPP pada panel surya, maka algoritma *fuzzy logic* cenderung konstan pada nilai 0. Kondisi ini menunjukkan tidak perlu ada penambahan atau pengurangan pada *duty cycle* pada *boost converter*.

Penelitian ini melakukan pengujian dengan 3 nilai beban yang berbeda, yaitu 3  $\Omega$ , 6  $\Omega$ , dan 12  $\Omega$ . Tujuan dari pengujian ini yaitu membandingkan daya *output* panel surya tanpa MPPT dengan panel surya yang menggunakan MPPT. Variasi nilai beban bertujuan untuk melihat karakteristik daya pada panel surya

untuk setiap nilai beban. Berikut adalah hasil pengujian panel surya yang menggunakan MPPT dan tanpa MPPT dijelaskan pada Gambar 4.14 sampai Gambar 4.16.

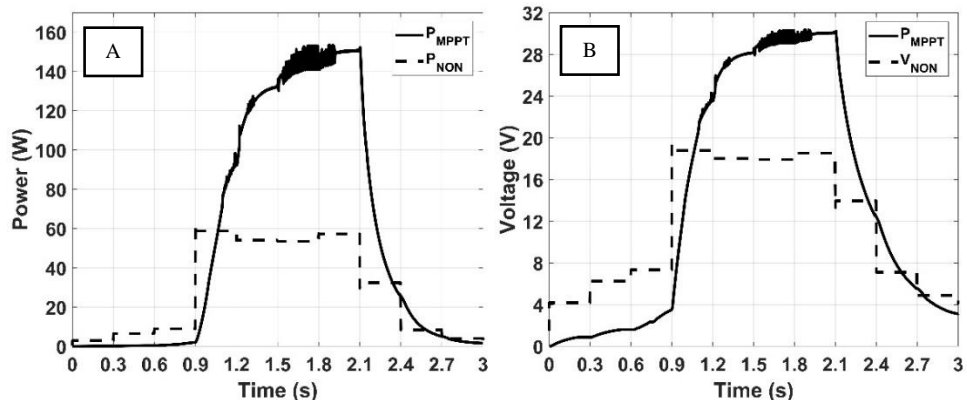


Gambar 4.14 Hasil Pengujian pada  $R = 3 \Omega$

Berdasarkan pada Gambar 4.14 di atas, keterangan gambar (A) menunjukkan kenaikan daya *output* panel surya sebelum dan sesudah menggunakan MPPT, sedangkan gambar (B) menunjukkan nilai tegangan panel surya sebelum dan sesudah menggunakan MPPT. Besar daya maksimum pada panel surya yang menggunakan MPPT untuk beban  $3 \Omega$  adalah 156,7 W saat 2,1 s dengan tegangan *output* sebesar 21 V. Nilai daya panel surya tanpa menggunakan MPPT mencapai 104,9 W saat 2,1 s dengan tegangan operasi sebesar 17,74 V. Terdapat selisih daya sebesar 51,8 W antara panel surya yang menggunakan MPPT dan tanpa MPPT.

Gambar 4.14 di atas juga mengalami osilasi pada puncak grafik, baik grafik (A) maupun (B) yang terjadi saat 1,2 s sampai 2,1 s. Nilai osilasi dimulai saat 1,2 s sampai 1,5 s dengan iradiasi sebesar  $823,6 \text{ W/m}^2$ . Nilai terendah dan tertinggi saat terjadinya osilasi pada kondisi ini masing-masing adalah 124,7 W dan 139,2 W. Nilai osilasi pada puncak grafik dimulai saat 1,5 s sampai 2,1 s dengan iradiasi  $929,4 \text{ W/m}^2$ . Osilasi terendah dan tertinggi pada kondisi ini masing-masing adalah 139,7 W dan 157,9 W.

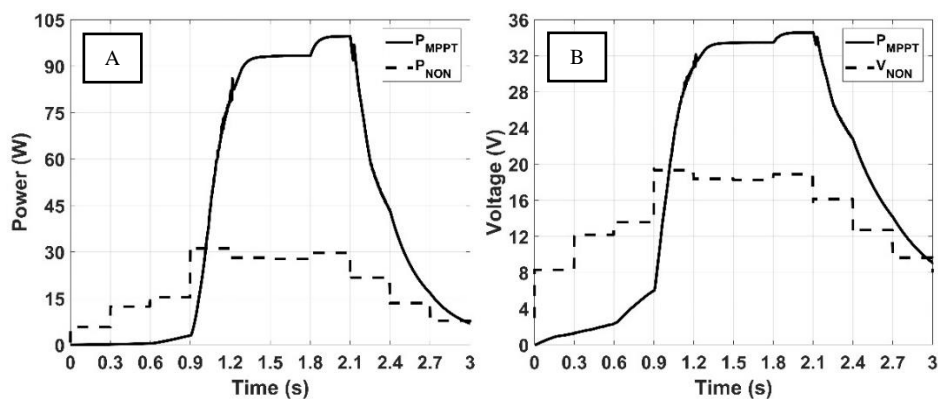
Pengujian selanjutnya dilakukan dengan mengganti nilai beban menjadi sebesar  $6 \Omega$ . Berikut adalah hasil pengujian saat kondisi beban  $6 \Omega$  dapat dilihat pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15 Hasil Pengujian pada  $R = 6 \Omega$

Berdasarkan pada Gambar 4.15, daya maksimum yang dicapai pada panel surya dengan menggunakan MPPT untuk beban  $6 \Omega$  adalah 153,3 W saat 2,1 s dengan tegangan *output* sebesar 30 V. Nilai daya panel surya tanpa menggunakan MPPT adalah 57,24 W saat 2,1 s dengan tegangan *output* sebesar 18,6 V. Terdapat selisih daya yang dikeluarkan oleh panel surya saat menggunakan MPPT dan tanpa MPPT yaitu sebesar 96,06 W.

Gambar 4.15 di atas juga mengalami osilasi pada puncak grafik, baik grafik (A) maupun (B) yang terjadi saat 1,2 s sampai 1,92 s. Nilai terendah dan tertinggi saat terjadinya osilasi pada kondisi ini masing-masing adalah 130,2 W dan 136,1 W. Nilai osilasi pada puncak grafik dimulai saat 1,5 s sampai 1,92 s dengan iradiasi  $929,4 \text{ W/m}^2$ . Osilasi terendah dan tertinggi pada kondisi ini masing-masing adalah 153,5 W dan 143,6 W. Berikut adalah hasil pengujian saat nilai beban  $12 \Omega$  yang dapat dilihat pada Gambar 4.16 di bawah ini.



Gambar 4.16 Hasil Pengujian pada  $R = 12 \Omega$

Sesuai pada Gambar 4.16 di atas, kondisi beban  $12 \Omega$  pada pengujian ini memiliki daya maksimum pada panel surya dengan menggunakan MPPT mencapai  $99,65 \text{ W}$  saat  $2,1 \text{ s}$  dengan tegangan operasi  $34,6 \text{ V}$ . Daya panel surya tanpa menggunakan MPPT pada kondisi ini adalah  $29,69 \text{ W}$  saat waktu berada pada  $2,1 \text{ s}$  dengan tegangan operasi  $19 \text{ V}$ . Terdapat selisih daya panel surya yang menggunakan MPPT dengan tanpa menggunakan MPPT sebesar  $69,96 \text{ W}$ .

Pengujian MPPT pada kondisi beban  $12 \Omega$  tidak mengalami osilasi pada puncak grafik, baik pada grafik (A) maupun pada grafik (B). Hal ini menunjukkan bahwa osilasi terjadi karena dipengaruhi oleh nilai beban, semakin besar nilai beban maka osilasi semakin sedikit.

Ketiga grafik yang ditampilkan pada Gambar 4.14 sampai Gambar 4.16, terlihat grafik daya dan tegangan operasi pada panel surya yang menggunakan MPPT memiliki osilasi pada saat tertentu. Hal ini disebabkan karena proses dari sistem MPPT yang melakukan penjejakan daya maksimum dengan melakukan kalkulasi pada *duty cycle* sehingga didapat titik daya maksimum pada panel surya.

Kenaikan daya panel surya yang signifikan dimulai saat  $0,9 \text{ s}$ , yaitu peralihan iradiasi matahari dari  $95,4 \text{ W/m}^2$  menuju  $590,5 \text{ W/m}^2$ . Kenaikan daya panel surya saat menggunakan MPPT terlambat beberapa saat, karena proses *switching* dari rangkaian *converter* untuk menaikkan tegangan. Daya panel surya tanpa MPPT tidak memiliki osilasi karena tidak memiliki rangkaian *converter* tegangan.

Penggunaan MPPT juga memiliki kelebihan yaitu tegangan tidak langsung *drop* saat iradiasi berkurang secara signifikan. Penurunan tegangan tersebut terjadi saat waktu berada pada  $2,1 \text{ s}$  sampai  $3 \text{ s}$ . Terlihat bahwa saat panel surya menggunakan MPPT, kurva yang terbentuk melandai yang menjadikan tegangan berkurang secara halus. Hal ini dikarenakan terdapat gejala transien pada kapasitor yang terpasang pada *boost converter* sehingga saat terjadi penurunan iradiasi yang cepat, tegangan operasi tidak mengalami *drop* secara langsung. Tegangan operasi panel surya tanpa menggunakan MPPT mengalami *drop* secara langsung karena tidak memiliki komponen penyimpan energi.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan pembahasan yang telah dibahas pada bab sebelumnya, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Telah berhasil dibuat model sistem MPPT berbasis panel surya yang menggunakan metode *fuzzy logic*. Model yang dibuat disesuaikan dengan kondisi panel surya pada mobil tawon. Hasil dari penelitian ini berupa besar kenaikan daya *output* pada panel surya.
2. Daya maksimum panel surya dengan MPPT 156,7 W dan tanpa MPPT 104,9 W untuk beban 3  $\Omega$ , daya panel surya dengan MPPT 153,3 W dan tanpa MPPT 57,24 W untuk beban 6  $\Omega$ , daya panel surya dengan MPPT 99,65 W dan tanpa MPPT 29,69 W untuk beban 12  $\Omega$ . Hasil ini diperoleh saat 2,1 s dengan nilai iradiasi dan temperatur masing-masing adalah 903.1 W/m<sup>2</sup> dan 38°C.

#### **5.2 Saran**

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Mengkombinasikan metode *fuzzy* dengan metode lain agar didapat *output duty cycle* yang lebih akurat.
2. Menstabilkan tegangan *output* agar dapat digunakan untuk *charging battery*.



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian ESDM, *Program Strategis EBTKE dan Ketenagalistrikan, Journal Energi*, Jakarta, 2016.
- [2] Republik Indonesia, *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 79 Tahun 2014 Tentang Kebijakan Energi Nasional*, Sekretariat Negara, Jakarta, 2014.
- [3] Republik Indonesia, *Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2017 Tentang Rencana Umum Energi Nasional*, Sekretariat Negara, Jakarta, 2017.
- [4] Kurnia M, P., M. Ali, dan I. Katherin, 2013, *Penelusuran Daya Maksimum Pada Panel Photovoltaic Menggunakan Kontrol Logika Fuzzy Di Kota Surabaya*, Jurnal Teknik POMITS, vol. 2, no. 1, pp. 135–140.
- [5] Pramono, W. B., D. A. R. Wati, dan M. V. T. Yadaka, *Simulasi Maximum Power Point Tracking pada Panel Surya Menggunakan Simulink MATLAB*, in *Seminar Nasional ReTII ke-9*, 2015, vol. 1, pp. 176–183.
- [6] Nugroho, B., S. Handoko, dan T. Andromeda, 2017, *Perancangan Maximum Power Point Tracking Panel Surya Menggunakan Buck Boost Converter Dengan Metode Incremental Conductance*, Transmisi, vol. 18, no. 4, pp. 168–175.
- [7] Utami, S., 2017, *Implementasi Algoritma Perturb and Observe untuk Mengoptimasi Daya Keluaran Solar Cell Menggunakan MPPT*, Infotel, vol. 9, no. 1, pp. 92–99.
- [8] Idham, R. F., E. Kurniawan, dan K. B. Adam, *Perancangan Dan Implementasi Maximum Power Point Tracking Pada Photovoltaic Dengan Kontroller Logika Fuzzy*, in *e-Proceeding of Engineering*, 2016, vol. 3, no. 2, pp. 1445–1452.
- [9] Bel Hadj Brahim Kechiche, O., B. Barkaoui, M. Hamza, dan H. Sammouda, *Simulation And Comparison Of P&O And Fuzzy Logic MPPT Techniques at Different Irradiation Conditions*, in *International Conference on Green Energy and Conversion Systems*, 2017, pp. 1–7.

- [10] *Monocrystalline and Polycrystalline Solar Panel*. Diakses pada jam 19:08 tanggal 18 Juli 2018  
<https://flic.kr/p/DfCR9R>
- [11] Diputra, W., *Simulator Algoritma Pendeteksi Kerusakan Modul Surya Pada Rangkaian Modul Surya*, Universitas Indonesia, 2008.
- [12] Karina, A. dan S. Satwiko, *Studi Karakteristik Arus-Tegangan (Kurva I-V) pada Sel Tunggal Polikristal Silikon serta Pemodelannya*, in *Pertemuan Ilmiah XXV HFI Jateng & DIY*, 2011, pp. 163–166.
- [13] Yuliananda, S. dan G. Sarya, 2015, *Pengaruh Perubahan Intensitas Matahari Terhadap Daya Keluaran Panel Surya*, Pengabdian LPPM Untag, vol. 01, no. 02, pp. 193–202.
- [14] Quaschnig, V., *Understanding Renewable Energy Systems*. London, 2015.
- [15] Siswono, H., *Tenaga Surya sebagai Sumber Energi*, Depok, 2002.
- [16] Cumulus Community, *Cumulus.ini Section: Solar*, 2018. Diakses pada jam 16:28 tanggal 9 Juli 2018  
<http://wiki.sandaysoft.com/a/Cumulus.ini>
- [17] Purwandari, E. dan T. Winata, 2013, *Analisis Perhitungan Efisiensi Sel Surya Berbasis A-Si : H dalam Penentuan Temperatur Filamen Optimum Bahan*, ILMU DASAR, vol. 14, no. 1, pp. 29–32.
- [18] Esram, T. dan P. L. Chapman, 2007, *Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques*, IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 22, no. 2, pp. 439–449.
- [19] Mei, Q., M. Shan, L. Liu, dan J. M. Guerrero, 2011, *A novel improved variable step-size incremental-resistance MPPT method for PV systems*, IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 58, no. 6, pp. 2427–2434.
- [20] Widodo, R. T., P. Sejati, Asmuniv, dan Rugianto, *Maximum Power Point Tracker Sel Surya Menggunakan Algoritma Perturb and Observe*. Surabaya: PENS-ITS, 2009.
- [21] Naba, A., *Belajar Cepat FUZZY Logic Menggunakan MATLAB*. Yogyakarta: ANDI, 2009.

- [22] Ashari, M. dan M. H. Purnomo, *Desain Dan Simulasi Maximum Power Point Tracking (MPPT) Sel Surya Menggunakan Fuzzy Logic Control Untuk Kontrol Boost Konverter*, in *7th BASIC SCIENCE NATIONAL*, 2010, pp. 63–69.
- [23] Falopi, T., *Aplikasi Fuzzy Inference System (FIS) Tsukamoto Untuk Menganalisa Tingkat Resiko Penyakit Dalam*. Surabaya: ITS, 2009.
- [24] Jha, V. K. dan S. Bhandari, *Comparative Study of Fuzzy Logic MPPT Controllers Using Different Membership Functions for PV Modules*, in *Impending Power Demand and Innovative Energy Paths*, 2015, pp. 397–407.
- [25] Hart, D. W., *Power Electronics*. New York: McGraw-Hill, 2011.
- [26] Rashid, M. H., *Power Electronics Handbook*. Pensacola: Elsevier Publishing, 2007.

**LAMPIRAN A**  
**PENGUJIAN SENSOR YANG DIGUNAKAN**  
**PADA *DATA LOGGER***

## Pengujian Sensor Pada *Data Logger*

### 1. Pengujian Sensor BH1750

Berikut adalah hasil pengujian sensor BH1750 dan *lux meter* yang dijelaskan pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Iradiasi Matahari Pukul 13.00 WIB

Jenis Alat Ukur	Langsung (Lux)	Tidak Langsung (Lux)
Sensor BH1750	78621	44987
<i>Lux Meter</i> HS1010	74900	43800

### 2. Pengujian Sensor DHT11

Berikut adalah hasil pengujian sensor DHT11 dan alat pengukur temperatur lainnya yang dijelaskan pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Hasil Pengujian Sensor DHT11

Alat Ukur	Ruangan Ber-AC		Ruangan Tanpa AC	
	Temp. (°C)	Humidity (%)	Temp. (°C)	Humidity (%)
Termometer Raksa 1	21,1	-	24,8	-
Termometer Raksa 2	23,4	-	28	-
Termometer Digital 1	23,5	58	26,3	69
Termometer Digital 2	23,3	24	25,5	35
Sensor DHT11 <i>Outdoor</i>	23	58	27	69
Sensor DHT11 <i>Indoor</i>	19	58	23	68

### 3. Pengujian Sensor Tegangan

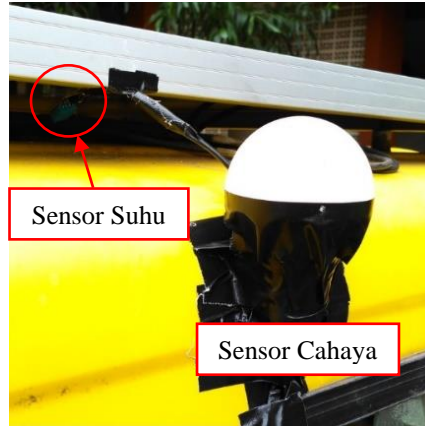
Berikut adalah hasil pengujian sensor tegangan dan multimeter digital yang dijelaskan pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Hasil Pengujian Sensor Tegangan

Sumber (V)	Multimeter (V)	Sensor (V)	Selisih (V)
5	5,03	4,98	0,05
10	10,08	10,09	0,01
15	15,02	15,08	0,06
20	20,03	20,09	0,06

**LAMPIRAN B**  
**PERHITUNGAN TEGANGAN REDUKSI DAN *FILL FACTOR***  
**PADA PANEL SURYA**

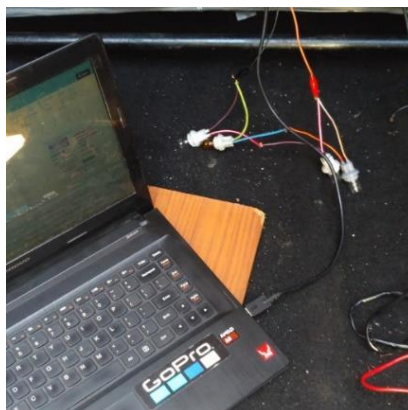
## Pengujian Karakteristik Cuaca dan Panel Surya



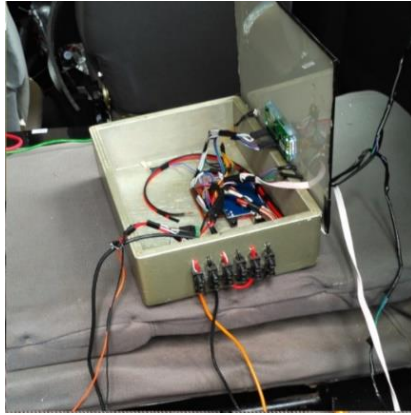
Gambar 1. Posisi Sensor Cahaya & Sensor Suhu *Outdoor*



Gambar 2. Posisi Sensor Suhu *Indor*



Gambar 3. Posisi Laptop



Gambar 4. Posisi Kotak *Data Logger*



**LAMPIRAN C**  
**PERHITUNGAN PANEL SURYA DAN BOOST CONVERTER**

### Perhitungan Panel Surya

1. Tegangan reduksi  $V_{OC}$  pada panel surya

$$\begin{aligned} V_{reduksi} &= (V_{OC} \times 0,4\%) \\ &= 21,26 \times 0,4\% \\ &= 0,085 \text{ V} \end{aligned}$$

2. Efisiensi panel surya

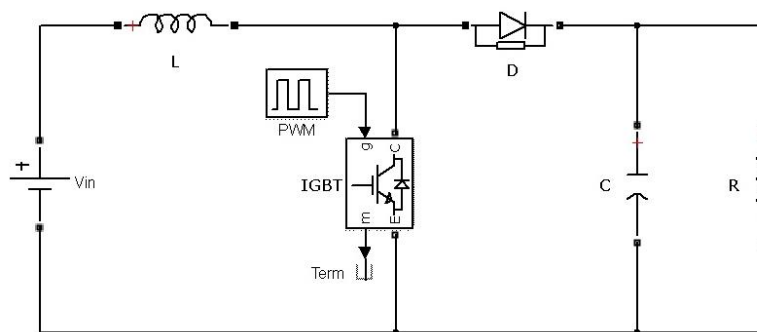
$$FF = \frac{17,2 \times 5,81}{21,26 \times 6,67} \times 100\%$$

$$FF = 70,47\%$$

$$\eta = \frac{21,26 \times 6,67 \times 0,7047}{1000 \times 0,776} \times 100\%$$

$$\eta = 12,87\%$$

### Perhitungan Boost Converter



Gambar 5. Model *Boost Converter* Saat Dilakukan Pengujian Tegangan *Output*

1. Nilai resistansi beban ( $R_L$ )

Nilai  $R_L$  pada *boost converter* mengikuti nilai resistansi optimum ( $R_{opt}$ ) sehingga besarnya adalah sebagai berikut.

$$R_{opt} = \frac{V_m}{I_m} = \frac{17,2}{5,81} = 2,96 \cong 3 \Omega$$

2. Induktansi ( $L_{min}$ )

$$L_{min} = \frac{(1 - D)^2 DR}{2f} = \frac{(1 - 0,641)^2 \times 0,641 \times 3}{2 \times 10000} = 1,236 \times 10^{-5} \text{ H}$$

Pemilihan nilai induktor lebih besar setidaknya 25% dari  $L_{min}$  sehingga nilai induktor menjadi  $1,545 \times 10^{-5}$  H.

3. Kapasitansi ( $C_{min}$ )

$$C_{min} = \frac{V_o D}{V_r R f} = \frac{48 \times 0,641}{0,05 \times 12 \times 10000} = 2,053 \times 10^{-2} \text{ F}$$

Pemilihan nilai kapasitor juga lebih besar setidaknya 25% dari  $C_{min}$  sehingga nilai kapasitor menjadi  $2,567 \times 10^{-2}$  H.

**LAMPIRAN D**  
***LISTING PROGRAM MPPT***

## *Listing Program MPPT*

### **1. dP\_dV**

```
function [dP, dV] = dP_dV (V, I)
persistent Vold Pold;
dataType = 'double';
if isempty(Vold)
Vold=0;
Pold=0;
end
P= V*I;
dV= V - Vold;
dP= P - Pold;
Vold=V;
Pold=P;
```

### **2. E\_CE**

```
function [E, CE] = E_CE (dP, dV)
persistent Eold;
dataType = 'double';
if isempty(Eold)
Eold=0;
end
E= dP/dV;
CE= E - Eold;
Eold=E;
```

### **3. Duty Cycle**

```
function D = DutyCycle (dD, V)
Dinit = 0.641; %Initial value for D output
Dmax = 0.9; %Maximum value for D
Dmin = 0.1; %Minimum value for D
deltaD = dD; %Increment value used to increase/decrease the
duty cycle D
persistent Vold Dold;
dataType = 'double';
if isempty(Vold)
Vold=0;
Dold=Dinit;
end
D = Dold + deltaD;
if D >= Dmax | D<= Dmin
D=Dold;
end
Dold=D;
Vold=V;
```