



TUGAS AKHIR - TF141581

***DESAIN MAXIMUM POWER POINT TRACKING  
(MPPT) SOLAR CHARGER CONTROLLER  
MENGUNAKAN BUCK CONVERTER DENGAN  
METODE LOGIKA FUZZY DI BUOY WEATHER  
STATION***

**ANGGI DESRAINO  
NRP. 2412 100 101**

**Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Syamsul Arifin, MT  
Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, M.Sc**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK FISIKA  
JURUSAN TEKNIK FISIKA  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016**





**FINAL PROJECT - TF141581**

**DESIGN OF MAXIMUM POWER POINT  
TRACKING (MPPT) SOLAR CHARGER  
CONTROLLER USING BUCK CONVERTER  
BASED ON FUZZY LOGIC METHOD FOR BUOY  
WEATHER STATION**

**ANGGI DESRAINO  
NRP. 2412 100 101**

**Supervisor  
Dr. Ir. Syamsul Arifin, MT  
Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, M.Sc**

**STUDY PROGRAM S1 ENGINEERING PHYSICS  
DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2016**



**DESAIN MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT)  
SOLAR CHARGER CONTROLLER MENGGUNAKAN  
BUCK CONVERTER DENGAN METODE LOGIKA FUZZY  
DI BUOY WEATHER STATION**

**TUGAS AKHIR**

Oleh :

**Anggi Desraino**

**NRP. 2412 100 101**

**Surabaya, Juli 2016**

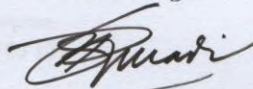
**Mengetahui/Menyetujui**

**Pembimbing I**



**Dr. Ir. Syamsul Arifin, MT**  
**NIP. 19630907 198903 1 004**

**Pembimbing II**



**Dr. Ir. Purwadi Agus D, M.Sc**  
**NIP. 19620822 198803 1 001**

**Ketua Jurusan**

**Teknik Fisika FTI-ITS**



**Agus Muhammad Hafid, ST, Msi, Ph.D**

**NIP. 19780902200312 1 002**



**DESAIN MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT)  
SOLAR CHARGER CONTROLLER MENGGUNAKAN  
BUCK CONVERTER DENGAN METODE LOGIKA FUZZY  
DI BUOY WEATHER STATION**



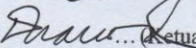


**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Rakayasa Instrumentasi dan Kontrol  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknolgi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Anggi Desraino**  
NRP. 2412.100.101

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Ir. Syamsul Arifin, MT  ... (Pembimbing I)
2. Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito N, M.Sc  (Pembimbing II)
3. Ir. Tutug Dhanardono, MT  ... (Ketua Penguji)
4. Ir. Matraji, M.Sc  ... (Penguji II)
5. Andi Rahmadiansah, ST, MT  (Penguji III)

**SURABAYA**  
**30 JULI 2016**





**DESAIN MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT)  
SOLAR CHARGER CONTROLLER MENGGUNAKAN BUCK  
CONVERTER DENGAN METODE LOGIKA FUZZY DI  
BUOY WEATHER STATION**

**Nama Mahasiswa** : Anggi Desraino  
**NRP** : 2412 100 101  
**Jurusan** : Teknik Fisika FTI-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Ir. Syamsul Arifin, MT  
Dr. Ir. Purwadi Agus D, M.sc

**Abstrak**

*Sistem akuisisi data cuaca pada prototype buoy weather type II bertujuan untuk memprediksi cuaca secara realtime. Instrumen di dalam buoy weather membutuhkan daya listrik agar pengambilan data bisa berjalan. Sumber daya yang mandiri dan dapat diperbaharukan dibutuhkan sebagai media penyuplai peralatan instrumen. Photovoltaic menjadi pilihan utama sebagai media penyuplai peralatan instrumen dan baterai sebagai media catu daya cadangan disaat photovoltaic tidak dapat memproduksi energi. Konversi energi dari photovoltaic tidak efisien karena tidak selalu bisa mengikuti titik MPP photovoltaic dan hanya bisa memberikan efisiensi daya maksimum sebesar 30.70% terhadap beban instrument buoy weather. Diperlukan synchronous buck converter dengan metode logika fuzzy untuk mendapatkan daya dengan efisiensi tinggi. Dengan cara pengukuran variasi irradiansi sebagai parameter input dan lampu 90 watt sebagai beban, maka didapatkan daya maksimal sebesar 78.83 watt dan efisiensi 87.3% terhadap beban, serta mengalami peningkatan efisiensi daya rata-rata sebesar 225.43%. Nilai duty cycle yang dibutuhkan untuk converter bekerja dari 10% - 80% dengan logika fuzzy bekerja sebagai penentu keputusan.*

**Kata kunci** : Buoy weather, synchronous buck converter, photovoltaic, logika fuzzy

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**DESIGN OF MAXIMUM POWER POINT TRACKING  
(MPPT) SOLAR CHARGER CONTROLLER USING BUCK  
CONVERTER BASED ON FUZZY LOGIC METHOD FOR  
BUOY WEATHER STATION**

**Name** : Anggi Desraino  
**NRP** : 2412 100 101  
**Department** : Teknik Fisika FTI-ITS  
**Supervisor** : Dr. Ir. Syamsul Arifin, MT  
Dr. Ir. Purwadi Agus D, M.sc

**Abstract**

*Weather data acquisition system at the weather buoy prototype type II aims to predict the weather in realtime. Instruments at the weather buoy requires electrical power so that acquisition data could work. Independent resource and renewable supplies equipment needed as a medium of instruments. Photovoltaic be the primary choice of media equipment supplies instruments and batteries as a backup power supply when the media is unable to produce energy anymore. Photovoltaic energy conversion is inefficient because it is not always able to follow the photovoltaic MPP point and can only give a maximum power efficiency of 30.70 % based on instrumentation electrical load. Required synchronous buck converter with fuzzy logic methods to gain power with high efficiency. By measuring variations irradiance as an input parameter and DC lamp as a 90 watt electrical load, then obtained a maximum power of 78.83 watts and 87.3 % efficiency, then average power increase to 225.43%. Rated duty cycle required for the converter to work from 10 % - 80 % with fuzzy logic works as a determinant of decision.*

**Keywords:** *Buoy weather, synchronous buck converter, photovoltaic, fuzzy logic*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga tugas akhir yang berjudul "**DESAIN MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT) SOLAR CHARGER CONTROLLER MENGGUNAKAN BUCK CONVERTER DENGAN METODE LOGIKA FUZZY DI BUOY WEATHER STATION**" dapat diselesaikan dengan baik. Tugas akhir ini dikerjakan sebagai salah satu syarat kelulusan pada Jurusan Teknik Fisika, FTI, ITS. Tugas akhir ini tidak akan terwujud tanpa bantuan, dukungan, doa serta dorongan semangat dari semua pihak. Oleh karena itu, terima kasih diucapkan kepada :

1. Bapak Agus Muhammad Hatta, ST, M.Si, Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Fisika FTI-ITS.
2. Dr. Ir. Syamsul Arifin, MT dan Dr.Ir. Purwadi Agus Darwito, MT selaku dosen pembimbing yang telah sabar dalam memberikan dukungan, bimbingan dan arahan sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.
3. Totok Ruki Biyanto, Ph.D selaku kepala Laboratorium Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol dan ketua penguji atas segala saran dan perijinan pemakaian fasilitas di Laboratorium untuk penyelesaian tugas akhir.
4. Kedua orangtua serta seluruh keluarga atas dukungan, doa, serta semangat tiada henti sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik dan tepat waktu.
5. Dr.-Ing.Doty Dewi Risanti, ST, MT selaku dosen wali atas bimbingan dan arahnya selama ini.
6. Muhamad Hidayat Teknik Elektro 2004, sebagai pembimbing yang penuh keikhlasan.
7. Muhammad Jamaludin dan Hazmi Amalul Arifin teman yang selalu menemani selama pengerjaan alat.
8. Teman-teman team *prototype buoy weather station type II*.
9. Solitong F47 sebagai keluarga terdekat yang selalu memberikan dukungan dan kebahagiaan selama 4 tahun perkuliahan ini.

10. Rizki Dwi Arnanto, Muhammad Fikri Fakresy, Yuhara Rahmantya, Syamsul Hadi, Widy Rahmat, Abu Bakar Abdul Karim dan Muhammad Hastiningrat atas dukungan yang diberikan selama ini.
11. Administrator Laboratorium Simulasi dan Komputasi Teknik Fisika ITS atas segala bantuan dan fasilitas yang disediakan selama ini.
12. Niken Arina P yang memacu saya untuk segera melamar dirinya.
13. Seluruh dosen Teknik Fisika ITS yang telah membagikan ilmunya semasa perkuliahan khususnya dosen Rekayasa Bahan.
14. Beberapa angkatan 2012 Teknik Fisika ITS Timeless Fidelity atas kebersamaan dan dukungan moril maupun non moril selama pengerjaan tugas akhir ini.
15. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Dalam penyusunan tugas akhir ini disadari masih ada kekurangan karena sesungguhnya kesempurnaan hanya ada pada Allah SWT. Oleh sebab itu, diharapkan kritik dan saran yang membangun untuk dapat meningkatkan kualitas dan perbaikan lebih lanjut. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca.

Surabaya, Juni 2016

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>TUGAS AKHIR.....</b>	<b>i</b>
<b>FINAL PROJECT.....</b>	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN.....</b>	<b>5</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>ix</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>xi</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xix</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
<b>BAB II DASAR TEORI.....</b>	<b>5</b>
2.1 <i>Photovoltaic</i> .....	5
2.2 <i>Maximum Power Point Tracking</i> .....	11
2.3 <i>Buck Converter</i> .....	14
2.4 <i>Buoy Weather</i> .....	20
2.5 <i>Charger Controller</i> .....	23
2.6 <i>Baterai Valve Regulated Lead Acid (VRLA)</i> .....	24
2.7 <i>Logika Fuzzy</i> .....	26
2.8 <i>Microcontroller ARM Cortex M4 (Teensy 3.2)</i> .....	28
<b>BAB III METODOLOGI.....</b>	<b>33</b>

3.1 Perumusan Masalah .....	34
3.2 Studi Literatur .....	34
3.3 Perancangan Simulasi <i>Solar Charger Controller</i> Matlab dan <i>Prototype Solar Charger Controller</i> .....	35
3.4 Perancangan Logika Fuzzy .....	49
3.5 Rancangan Akhir Simulasi Perangkat Lunak Pada Software MATLAB® .....	56
3.6 Rancangan Akhir <i>Solar Charger Controller</i> .....	58
3.7 Algoritma Sistem .....	59
3.8 Peninjauan Beban Pada <i>Buoy Weather Station</i> .....	60
<b>BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>63</b>
4.1. <i>Irradiansi</i> dan Lama Penyinaran Matahari di Surabaya ...	63
4.2. Permodelan Simulink <i>Photovoltaic</i> .....	66
4.3. Pengujian Sensor .....	68
4.4. Pengujian pulsa PWM dan Driver .....	70
4.5. Pengujian Rangkaian Simulasi <i>Solar Charger Controller</i>	72
4.6. Pengujian Rangkaian <i>Synchronous Buck Converter</i> .....	76
4.7. Analisa Beban Terhadap Catu Daya <i>Photovoltaic</i> .....	86
<b>BAB V KESIMPULAN .....</b>	<b>89</b>
<b>DAFTAR RUJUKAN .....</b>	<b>91</b>



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Rangkaian elektronik ekuivalen <i>photovoltaic</i> .....	6
<b>Gambar 2.2</b>	Kurva karakteristik I-V dan P-V tentang perubahan intensitas matahari dan temperatur permukaan tetap <i>photovoltaic</i> 8	
<b>Gambar 2.3</b>	Kurva karakteristik I-V dan P-V tentang pengaruh intensitas matahari tetap dan perubahan temperatur permukaan <i>photovoltaic</i> .....	9
<b>Gambar 2.4</b>	Grafik MPP 70 watt <i>peak</i> dengan beda temperatur12	
<b>Gambar 2.5</b>	<i>Flowchart</i> algoritma MPPT menggunakan CVM..	13
<b>Gambar 2.6</b>	Rangkaian <i>buck converter</i> .....	14
<b>Gambar 2.7</b>	<i>Synchronous Buck Converter</i> .....	15
<b>Gambar 2.8</b>	<i>Switching mode converter</i> .....	16
<b>Gambar 2.9</b>	<i>Buoy weather</i> .....	21
<b>Gambar 2.10</b>	Desain <i>prototype buoy weather type II</i> .....	22
<b>Gambar 2.11</b>	Baterai VRLA 100Ah .....	25
<b>Gambar 2.12</b>	<i>Charging Property C/20</i> .....	25
<b>Gambar 2.13</b>	<i>Discharge Property C/20</i> .....	26
<b>Gambar 2.14</b>	Arsitektur metode logika fuzzy .....	27
<b>Gambar 2.15</b>	Konfigurasi Pin ARM Cortex M4.....	29
<b>Gambar 2.16</b>	<i>Minimum System Teensy 3.2</i> .....	30
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram alir penelitian Tugas Akhir .....	33
<b>Gambar 3.2</b>	Diagram alir <i>solar charger controller</i> .....	36
<b>Gambar 3.3</b>	Diagram blok sistem <i>solar charger controller</i> dengan algoritma MPPT .....	37
<b>Gambar 3.4</b>	Model sederhana <i>photovoltaic</i> .....	39
<b>Gambar 3.5</b>	Diagram alir pemilihan <i>photovoltaic</i> .....	40
<b>Gambar 3.6</b>	<i>Photovoltaic solar module 50 watt peak</i> .....	41
<b>Gambar 3.7</b>	Rangkaian <i>voltage divider</i> sebagai sensor tegangan	43
<b>Gambar 3.8</b>	Rangkaian sensor arus.....	44
<b>Gambar 3.9</b>	Sensor arus ACS712 5A .....	44
<b>Gambar 3.10</b>	Rangkaian <i>solar charger controller</i> .....	47
<b>Gambar 3.11</b>	Diagram blok <i>switching mode buck converter</i> .....	47
<b>Gambar 3.12</b>	Algoritma MPPT logika fuzzy .....	50
<b>Gambar 3.13</b>	FIS pada MPPT .....	51
<b>Gambar 3.14</b>	Membership Function Masukan Fuzzy Berupa ...	51

<b>Gambar 3.15</b>	Membership Function Masukan Fuzzy Berupa ...	51
<b>Gambar 3.16</b>	Membership Function Keluaran Fuzzy Berupa ...	52
<b>Gambar 3.17</b>	<i>Surface Viewer</i> Logika Fuzzy .....	54
<b>Gambar 3.18</b>	Diagram simulink MPPT <i>solar charger controller</i> menggunakan logika fuzzy .....	57
<b>Gambar 3.19</b>	Rangkaian <i>schematic</i> sistem .....	58
<b>Gambar 3.20</b>	Diagram alir algoritma sistem.....	60
<b>Gambar 4.1</b>	Grafik <i>irradiansi</i> dan daya terhadap waktu .....	64
<b>Gambar 4.2</b>	Grafik lama penyinaran matahari.....	65
<b>Gambar 4.3</b>	Grafik perubahan daya <i>photovoltaic</i> dengan perbedaan nilai <i>irradiansi</i> .....	66
<b>Gambar 4.4</b>	Tampilan Osiloskop Pulsa PWM 50 kHz .....	70
<b>Gambar 4.5</b>	Hasil pengujian rangkaian driver IR2110 .....	71
<b>Gambar 4.6</b>	Arus <i>discharge</i> induktor simulasi .....	73
<b>Gambar 4.7</b>	Arus <i>discharge</i> kapasitor simulasi .....	74
<b>Gambar 4.8</b>	Keluaran <i>discharge</i> tegangan dan <i>duty cycle</i> .....	75
<b>Gambar 4.9</b>	<i>Duty cycle</i> logika fuzzy .....	75
<b>Gambar 4.10</b>	Keluaran daya .....	76
<b>Gambar 4.11</b>	Grafik daya keluaran IC regulator terhadap keluaran beban .....	79
<b>Gambar 4.12</b>	Grafik daya keluaran panel menggunakan.....	82
<b>Gambar 4.13</b>	Perbandingan daya keluaran panel surya dengan MPPT & IC <i>Regulated</i> terhadap keluaran beban .....	83

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Spesifikasi <i>prototype buoy weather type II</i> .....	22
<b>Tabel 2.2</b> Spesifikasi Teensy 3.2 .....	30
<b>Tabel 3.1</b> Spesifikasi <i>photovoltaic</i> .....	41
<b>Tabel 3.2</b> Spesifikasi <i>Synchronous Buck Converter</i> .....	48
<b>Tabel 3.3</b> Desain .....	48
<b>Tabel 3.4</b> Induktor .....	48
<b>Tabel 3.5</b> Kapasitor.....	48
<b>Tabel 3.6</b> <i>Fuzzy Rule Table</i> .....	53
<b>Tabel 3.7</b> Beban elektrik komponen instrumen .....	61
<b>Tabel 4.1</b> Nilai <i>irradiansi</i> dan daya.....	63
<b>Tabel 4.2</b> Tabel lama Penyinaran Matahari .....	64
<b>Tabel 4.3</b> Hasil pengujian sensor arus .....	68
<b>Tabel 4.4</b> Hasil pengujian sensor tegangan .....	69
<b>Tabel 4.5</b> Tabel Hasil Pengujian <i>Buck Converter</i> .....	72
<b>Tabel 4.6</b> Data hasil pengujian IC <i>regulated</i> (Tanpa MPPT) .....	77
<b>Tabel 4.7</b> Data hasil pengujian IC <i>regulated</i> (Tanpa MPPT) .....	78
<b>Tabel 4.8</b> Hasil pengujian sistem MPPT menggunakan .....	80
<b>Tabel 4.9</b> Hasil pengujian sistem MPPT menggunakan .....	81
<b>Tabel 4.10</b> Tabel Peningkatan Daya Keluaran Panel .....	85

*Halaman ini sengaja dikosonkan*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia sendiri saat ini telah memiliki jumlah stasiun cuaca sekitar 174 buah (BMKG, 2013), dari wilayah Aceh hingga Timika yang mencakup wilayah seluas 7.9 juta km<sup>2</sup>. Kepala Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG) Sri Woro B Harijono menyatakan idealnya Indonesia paling sedikit memiliki 346 stasiun BMG (Aji, 2013). Penambahan stasiun cuaca ini tidak mungkin dilakukan dengan bebas, dikarenakan biaya pengadaannya yang cukup mahal. Selain biaya pengadaan *buoy weather* yang mahal, jika terjadi kerusakan pada sistem elektrik, maka akan menambah beban biaya dalam hal perawatannya.

*Buoy weather* merupakan salah satu jenis stasiun cuaca yang ada di perairan laut Indonesia. *Buoy weather* merupakan stasiun cuaca yang memiliki sistem mekanik dan instrumentasi elektrik. Sistem mekanik *buoy weather* memiliki dua rangka, yaitu rangka utama merupakan penyangga bagian atas sebagai tempat alat ukur dan rangka *buoy* pada bagian bawah sebagai wahana apung. Sistem instrumentasi elektrik pada *buoy weather* sendiri terdiri dari beberapa sensor dan komponen elektrik yang akan mengukur parameter parameter cuaca (Pitartianti, 2015).

Perairan laut memiliki beberapa gangguan lingkungan yang berbeda dan itu berdampak pada benda apung di atas permukaan air laut. Perubahan gangguan ini juga mengakibatkan kondisi lingkungan cepat berubah dan mengakibatkan beberapa masalah pada sistem instrumentasi terutama pada sistem suplai catu daya. Sistem daya utama yang akan digunakan pada *prototype buoy weather type II* menggunakan sistem *photovoltaic*. *Photovoltaic* disini sangatlah penting, dikarenakan sumber catu daya utama selain dari baterai yang di *charge* oleh *photovoltaic*. Menjaga fungsi sistem catu daya pada *buoy weather* adalah hal terpenting untuk kelangsungan fungsi akuisisi dan monitoring data (Putra, 2013).

Mengingat pentingnya *buoy weather* pada perkembangan informasi cuaca di lautan, maka jika terjadi kerusakan dapat mengganggu informasi data cuaca yang ada di perairan Indonesia. Stabilitas sistem sumber catu daya energi pada *buoy weather* memiliki peranan yang sangat penting, dikarenakan dapat mengganggu keseluruhan sistem jika terjadi kegagalan. Pasokan energi untuk masuk kedalam sistem elektrik harus efisien, dikarenakan tidak ada operator yang mengendalikan catu daya.

Pada tugas akhir ini akan di bahas desain *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) menggunakan logika fuzzy sebagai metode kontrol berdasarkan data asli dari *plant Prototype Buoy Weather Type II*. Desain yang akan dibuat diharapkan dapat digunakan sebagai rancang bangun sumber catu daya mandiri di *Prototype Buoy Weather Type II*. Hasil yang ingin dicapai dari desain ini adalah dapat mengefisienkan sistem sumber daya energi secara maksimal dan menjaga dari kerusakan sumber catu daya, karena sumber catu daya energi yang dipakai sebagai sarana untuk mendapatkan data dari *Prototype buoy weather type II* di laut yang keadaan lingkungannya mudah berubah.

## 1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan dalam tugas akhir ini adalah :

1. Apakah desain *solar charger controller* dengan algoritma MPPT menggunakan logika fuzzy sesuai dengan karakteristik *prototype buoy weather type II* ?
2. Apakah *solar charger controller* menghasilkan daya maksimum sebagai media pengisian baterai dan penyuplai sistem instrumen di *prototype buoy weather type II* ?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian dalam pengerjaan tugas akhir ini ada dua macam, yaitu :

1. Mampu mendesain *solar charger controller* dengan algoritma MPPT menggunakan logika fuzzy yang sesuai dengan karakteristik *prototype buoy weather type II*

2. Mampu mengetahui daya maksimum dari *solar charger controller* sebagai media pengisian baterai dan penyuplai sistem instrument di *prototype buoy weather type II*

#### **1.4 Batasan Masalah**

Pada penelitian ini, ada beberapa batasan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. Logika fuzzy yang digunakan adalah fuzzy mamdani
2. DC-DC *converter* yang digunakan adalah jenis *buck converter*
3. Penelitian dibatasi hanya pada analisa daya keluaran *solar charger controller*
4. Simulasi penelitian berdasarkan dengan spesifikasi alat yang akan diterapkan
5. *Photovoltaic* dan baterai yang digunakan disesuaikan dengan beban instrumen yang dibutuhkan dan karakteristik *prototype buoy weather station prototype type II*

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian yang diharapkan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mampu memberikan desain *solar charger controller* dengan algoritma MPPT menggunakan logika fuzzy yang sesuai dengan karakteristik *Prototype buoy weather type II* sebagai *prototype* dari *solar charger controller* untuk sistem MPPT di *buoy weather*.
2. Mampu memberikan daya maksimal untuk keperluan media pengisian baterai dan suplai alat instrumen *prototype buoy weather* serta *prototype* catu daya mandiri wahana apung di laut.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



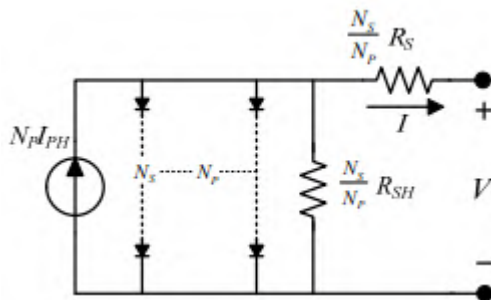
## **BAB II DASAR TEORI**

Pada penelitian sebelumnya, Bayu Prima JP (2013) telah melakukan perancangan MPPT menggunakan *buck boost converter* dengan logika fuzzy yang diterapkan pada skala laboratorium. Pada penelitian tersebut berhasil menerapkan metode logika fuzzy sebagai *buck boost converter* yang merubah nilai daya dari pengujian menggunakan *supply regulator* menjadi lebih efisien. Namun pada penelitian tersebut masih belum bisa diterapkan pada *prototype buoy weather type II* sebagai *solar charger controller* karena komponen yang diperlukan seperti *photovoltaic* dan baterai serta *charge* serta *discharge* belum terpasang. (Putra, 2013)

### **2.1 Photovoltaic**

Panel *photovoltaic* adalah implementasi teknologi dari energi terbarukan, merupakan salah satu perangkat yang memiliki kemampuan untuk mengkonversi energi foton yang berasal dari cahaya matahari menjadi energi listrik (Alsayid, Alsadi, Jallad, & Dradi, 2013). Dalam proses menghasilkan arus listrik, terjadi efek *photovoltaic* dimana sebuah lempengan yang terkena sinar matahari akan bereaksi sehingga energi listrik dapat dihasilkan. Panel *photovoltaic* terbuat dari bahan semikonduktor seperti silikon,  $\text{TiO}_2$  dan sebagainya. Bahan yang sering digunakan dalam fabrikasi *photovoltaic* adalah silikon yang mempunyai sifat isolator dan konduktor sehingga sel memiliki kepekaan terhadap intensitas cahaya matahari. Dalam operasinya, *photovoltaic* tidak mungkin berada dalam kondisi ideal dimana tanpa adanya gangguan yang mempengaruhi kinerja modul *photovoltaic*. Gangguan itu dapat berupa intensitas matahari yang berubah-ubah, posisi matahari yang berubah dengan fungsi waktu, kecepatan angin dan lain-lain.

*Photovoltaic* sudah banyak digunakan sebagai energi alternatif untuk mengatasi krisis energi akibat *global warming* yang melanda dunia saat ini. *Photovoltaic* terdiri dari susunan sel surya dimana akan terjadi efek *photovoltaic* jika terkena intensitas matahari sehingga dapat menghasilkan arus listrik (Nguyen, 2015). Arus listrik dapat digunakan untuk keperluan selanjutnya atau untuk disimpan dalam perangkat penyimpanan (*storage battery*). Kinerja dari *photovoltaic* akan berpengaruh kepada lama *charging* pada baterai, banyak daya yang dihasilkan dan efisiensi dari *photovoltaic* (Preetham Goli, 2015). Secara teori, arus yang dihasilkan oleh modul *photovoltaic* dapat dimodelkan sesuai dengan rangkaian elektronik di bawah ini.



**Gambar 2.1** Rangkaian elektronik ekuivalen *photovoltaic*

Rangkaian di atas merupakan hasil pendekatan secara elektrik yang dapat merepresentasikan arus keluaran dari modul *photovoltaic*. Rangkaian ekuivalen di atas juga merupakan model umum dari panel *photovoltaic* yang terdiri dari sumber arus, dioda, resistor paralel yang menggambarkan keluaran arus dan resistor seri yang mendeskripsikan resistansi internal di dalam aliran arus. *Cell* dari panel *photovoltaic* mengeluarkan daya yang sangat kecil, *cell* harus disusun dalam konfigurasi seri paralel untuk memproduksi daya yang cukup. Rangkaian ekuivalen yang menyatakan seri yaitu  $N_s$  dan paralel

yaitu  $N_p$ . Saat terjadi efek *photovoltaic*, maka muncul arus  $I_{ph}$  dari sumber arus sesuai dengan intensitas yang diterima. Kemudian, arus yang dihasilkan akan mengalir menuju dioda sehingga terjadi *forward bias*. Hambatan  $R_{sh}$  merupakan hambatan *shunt* yang bernilai ribuan Ohm sehingga arus akan dominan mengalir pada hambatan  $R_s$ . Arus keluaran modul *photovoltaic* adalah sebesar  $I_{pv}$  dengan tegangan sebesar  $V_{pv}$  saat diberi beban sebesar RL. Rangkaian pada **Error! Reference source not found.** dapat disederhanakan menjadi sebuah persamaan di bawah ini.

$$I = N_p I_{PH} - N_p I_S \left( \exp \left[ \frac{q \left( \frac{V}{N_s} + \frac{I R_s}{N_s} \right)}{k T A} \right] - 1 \right) - \frac{\left( V \frac{N_p V}{N_s} + I R_s \right)}{R_{SH}}$$

**Persamaan 2.1**

$$V_t = \frac{kT}{q}$$

**Persamaan 2.2**

Keterangan:

- $I_{pv}$  = arus keluaran dari modul *photovoltaic* (Ampere)
- $I_{ph}$  = arus yang dihasilkan saat terjadi efek *photovoltaic* (Ampere)
- $I$  = arus saturasi reverse (Ampere)
- $V_{pv}$  = tegangan keluaran modul *photovoltaic* (Volt)
- $k$  = konstanta boltzman ( $1.3806 \cdot 10^{-23}$  J.K-1)
- $T$  = temperatur permukaan modul *photovoltaic* (K)
- $R_{sh}$  = hambatan shunt (Ohm)
- $R_s$  = hambatan pada arus keluaran (Ohm)
- $N_s$  = jumlah cell seri

- $N_p$  = jumlah cell parallel  
 $A$  = luasan yang terkena radiasi pada cell  
 $q$  = *irradiansi* terserap cell

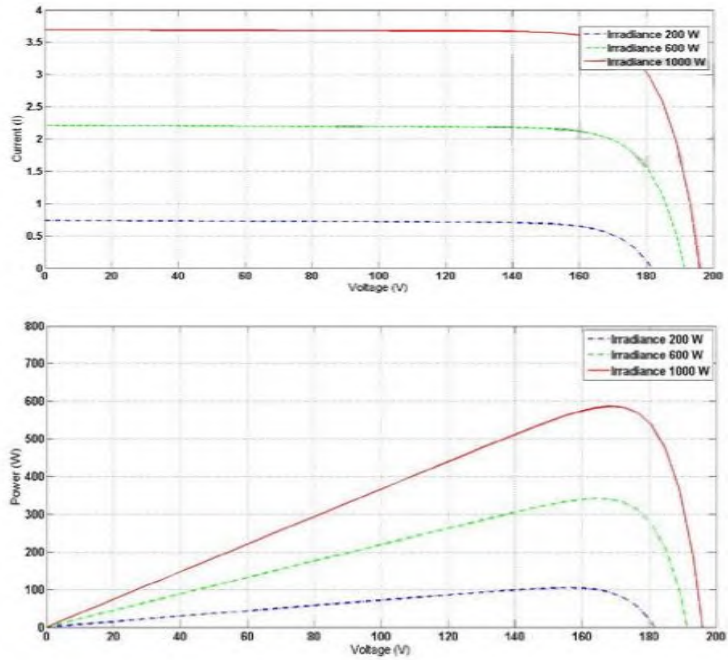
### 2.1.1 Karakteristik *Photovoltaic*

Dalam aplikasinya, hal yang paling diperhatikan di dalam *photovoltaic* adalah besar daya keluaran ( $P_{out}$ ). Daya yang dihasilkan oleh *photovoltaic* bergantung pada tegangan dan arus yang dihasilkan saat terkena cahaya matahari. Tegangan dan arus *photovoltaic* bergantung dari besaran-besaran antara lain (Upadhyay, Kumar, & Vairagi, 2014):

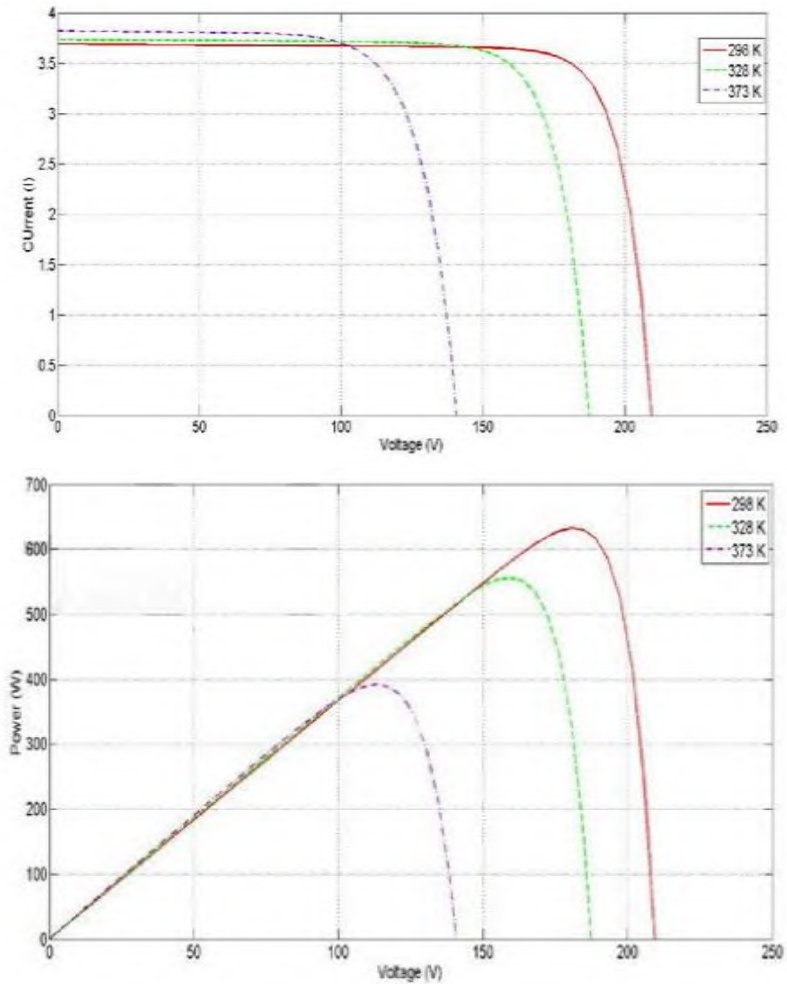
- a) Intensitas Matahari
- b) Temperatur permukaan modul *photovoltaic*
- c) Posisi dan sudut letak *photovoltaic* terhadap matahari
- d) Lokasi pemasangan *photovoltaic*
- e) Arah dan kecepatan angin

Kelima besaran yang telah disebutkan, faktor yang paling berpengaruh terhadap daya keluaran *photovoltaic* adalah *intensitas matahari* dan temperatur permukaan modul *photovoltaic* (Rajitha Reddy, 2015).

Untuk melihat pengaruh kedua besaran tersebut, dapat ditunjukkan dengan kurva karakteristik I-V dan P-V pada Gambar 2.1.



**Gambar 2.2** Kurva karakteristik I-V dan P-V tentang perubahan intensitas matahari dan temperatur permukaan tetap photovoltaic



**Gambar 2.3** Kurva karakteristik I-V dan P-V tentang pengaruh intensitas matahari tetap dan perubahan temperatur permukaan *photovoltaic*

Gambar 2.3 merupakan keluaran daya *Maximum Power Point* (MPP) panel *photovoltaic* dengan nilai daya maksimum

sebesar 600 *watt peak* yang mengalami perubahan intensitas matahari dan temperatur permukaan yang tetap (Ghosh, Shawon, & Rahman, 2013). Pada Gambar 2.2 perubahan intensitas matahari menurun dari nilai 1000 W/m<sup>2</sup>, 600 W/m<sup>2</sup> dan 200 W/m<sup>2</sup> dengan nilai temperatur 273<sup>0</sup>K. Setiap penurunan intensitas matahari, maka akan terjadi penurunan besaran arus pada keluaran *photovoltaic* dan tegangan yang ditunjukkan pada kurva I-V. Selain mengalami penurunan keluaran besaran arus, terjadi penurunan daya dan tegangan yang ditunjukkan pada kurva P-V. Daerah kerja maksimum dari modul *photovoltaic* berada pada perpotongan pada kurva V-I dengan kurva P-V. Pada daerah tersebut, modul *photovoltaic* dapat menghasilkan tegangan dan arus keluaran maksimum sehingga daya maksimum dapat dihasilkan pula.

Gambar 2.3 sama seperti Gambar 2.2 menunjukkan karakteristik I-V dan P-V pada panel *photovoltaic*. Pada **Error! Reference source not found.** yang terjadi perubahan adalah temperatur dari nilai 373<sup>0</sup>K, 328<sup>0</sup>K dan 298<sup>0</sup>K. Pada kurva I-V terjadi kenaikan arus dan tegangan saat terjadi penurunan temperatur permukaan panel *photovoltaic*. Kurva P-V, keluaran daya semakin besar dengan penurunan temperatur. Daerah kerja maksimum dari modul *photovoltaic* berada pada perpotongan pada kurva V-I dengan kurva P-V. Pada daerah tersebut, modul *photovoltaic* dapat menghasilkan tegangan dan arus keluaran maksimum, sehingga daya maksimum dapat dihasilkan. Daya keluaran *photovoltaic* merupakan hasil perkalian antara tegangan *open circuit* dan arus *short circuit* modul *photovoltaic*.

Dari kurva pada Gambar 2.2 dan Gambar 2.3 dapat diketahui bahwa pengaruh kenaikan intensitas matahari dapat meningkatkan daya yang dihasilkan modul dan demikian sebaliknya daya keluaran *photovoltaic* akan menurun saat intensitas yang diterima menurun. Pengaruh kenaikan temperatur permukaan akan berakibat pada pergeseran kurva daya ke arah kiri yang berarti daya yang dihasilkan akan

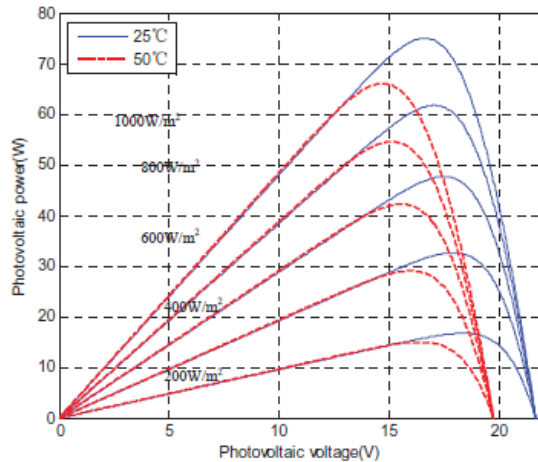
menurun. Dari pengaruh tersebut, perlu dilakukan suatu upaya untuk menjaga modul *photovoltaic* agar tetap bekerja pada titik maksimum untuk menghasilkan daya maksimumnya.

## **2.2 Maximum Power Point Tracking**

*Photovoltaic* dapat menghasilkan daya maksimumnya pada suatu titik yang dinamakan *Maximum Power Point* (MPP) (Samer Saud, 2012). Pada titik MPP tersebut, modul *photovoltaic* dapat menghasilkan tegangan dan arus maksimumnya. Titik ini tidak dapat diketahui keberadaannya dikarenakan faktor intensitas matahari dan temperatur permukaan modul yang berubah-ubah berdasarkan waktu (Letting, 2008). Titik MPP dapat dicari dengan menggunakan suatu algoritma. Untuk menjaga modul agar tetap bekerja pada daerah operasinya, maka diperlukan suatu algoritma yang disebut dengan *Maximum Power Point Tracking*. Pada umumnya, terdapat banyak metode untuk menerapkan algoritma MPPT tersebut antara lain *Perturbation and Observation* (P&O), *Hill-Climbing*, *Incremental Conditional*, *Proportional-Integral* (PI), *Control Voltage Methode*, Logika Fuzzy dan lain-lain. Beberapa metode tersebut dapat digunakan untuk dipakai di MPPT.

Secara teori, algoritma MPPT ini berfungsi untuk mencari titik tegangan dan arus keluaran *photovoltaic* sehingga daya maksimum dihasilkan oleh modul. Kemudian, setelah titik daya maksimum tersebut ditemukan, maka algoritma tersebut akan berusaha untuk mempertahankan kondisi dimana daya maksimum dihasilkan, hal inilah yang menjadi tantangan dalam melakukan perancangan algoritma MPPT pada modul *photovoltaic*. Efek perubahan MPP berada pada gangguan yang berasal dari lingkungan antara lain, variasi intensitas matahari, suhu permukaan modul, kecepatan angin, gangguan gelombang ombak laut, karena *photovoltaic* akan diletakkan pada *buoy weather station*. Titik MPP dari suatu modul *photovoltaic* dapat ditunjukkan dengan Gambar 2.4.





**Gambar 2.4** Grafik MPP 70 watt *peak* dengan beda temperatur

Kurva pada Gambar 2.4 menunjukkan letak dimana titik daya maksimum modul *photovoltaic* dengan adanya variasi intensitas matahari. Titik MPP pada kurva di atas ditunjukkan oleh tiap puncak kurva. Photovoltaic memiliki titik MPP yang berbeda-beda sesuai dengan intensitas cahaya matahari, temperatur, sudut datang matahari, kelembapan dan posisi yang diterima oleh modul. Intensitas dan temperatur merupakan faktor yang paling besar menentukan (Upadhyay, Kumar, & Vairagi, 2014). Fungsi utama dari algoritma MPPT ini adalah untuk mempertahankan daya modul agar tetap bekerja pada daerah titik MPP berada. MPP dapat dicari dengan perubahan *duty cycle* berdasarkan.

$$D(k) = D(k - 1) \pm C$$

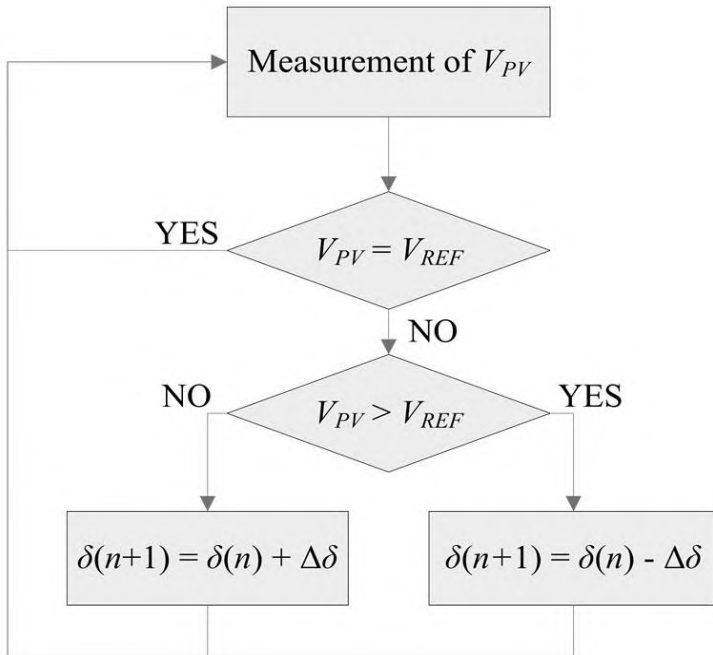
**Persamaan**

### 2.3

Dimana  $D(k)$  dan  $D(k - 1)$  adalah *duty cycle* pada saat  $k$  -1th sampling secara instan.  $C$  adalah constanta pencarian step.

Tanda dari step *C* mengartikan arah pencarian sebagai perincian algoritma program (Zobaa & Bansal, 2011).

MPPT merupakan algoritma untuk mencari titik daya maksimum dari keluaran *photovoltaic*. MPPT juga merupakan salah satu fungsi utama dari kontrol sistem manajemen daya sebuah pembangkit dengan energi matahari (Shiau & Chen, A Study on the Fuzzy-Logic-Based Solar Power MPPT Algorithm Using Different Fuzzy Input Variables, 2015). Salah satu metode algoritma MPPT adalah *Control Voltage Method* (CVM). CVM merupakan metode yang cukup simpel dalam algoritma kontrol MPPT. CVM bekerja dengan cara mendekati titik MPP dengan merugulasi tegangan *array* dan mencocokkan dengan tegangan referensi yang diinginkan. Metode ini tidak menganggap temperatur sebagai variasi yang merubah  $V_{mpp}$  secara signifikan dan menganggap tegangan referensi sebagai acuan mendapatkan MPP dari *photovoltaic* (Dolara, Faranda, & S.Keva, 2009). Metode CV membutuhkan pengukuran tegangan PV *array* yang dimana tegangan *photovoltaic* untuk mengatur *duty cycle* di *buck converter*. *Flowchart* yang menggambarkan algoritma ini pada Gambar 2.4.

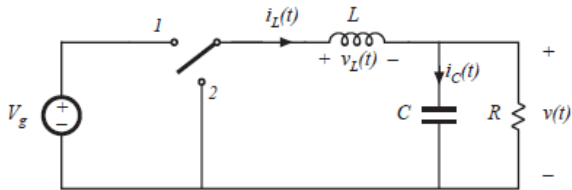


**Gambar 2.5** Flowchart algoritma MPPT menggunakan CVM

Gambar 2.4 menerangkan bahwa cara untuk mendapatkan MPP dengan menjadikan tegangan referensi sebagai tegangan yang diinginkan.  $\delta$  merupakan *duty cycle*. Arus dari metode ini berdasarkan desain yang terancang untuk *buck converter*.

### 2.3 Buck Converter

*Buck converter* merupakan salah satu jenis topologi dari sebuah rangkaian elektrik yang berfungsi untuk *switching mode* sebagai *regulator* untuk mengkonversi tegangan DC yang berasal dari keluaran *photovoltaic* menjadi tegangan yang lebih rendah. Rangkaian ini dibagi menjadi dua mode, mode saat transistor *on* dan saat transistor *off* (Rashid, 1993).



**Gambar 2.6** Rangkaian *buck converter*

Menurut rangkaian di atas menjelaskan prinsip dasar *buck converter* yang menggunakan *switch* yang bekerja secara terus menerus yaitu *on* dan *off* dengan menggunakan *switch* berupa komponen MOSFET. Adapun dikenal dengan istilah *Pulse Width Modulation* (PWM) dan *duty cycle* dalam mengendalikan frekuensi kerja *switch* tersebut. *Switch* tersebut akan bekerja secara terus menerus. Kecepatan *switch* dalam realisasinya akan tergantung pada *duty cycle* dan frekuensi yang digunakan.

Jika *switch on* maka induktor mulai menyerap sebagian daya dari *power supply* dan kapasitor mengalami posisi *charging*. Jika *switch* pada posisi *off* maka pada posisi ini daya disuplai dari induktor yang telah menyerap daya selama rangkaian terhubung pada sumber dan akan menguras kapasitor, dengan mengubah menjadi posisi *discharge*. Angka 1 pada gambar di atas merupakan posisi *switch* atau *duty cycle* (*D*) bekerja. Untuk mencari nilai *d* pada *converter*, dapat menggunakan perumusan di bawah ini.

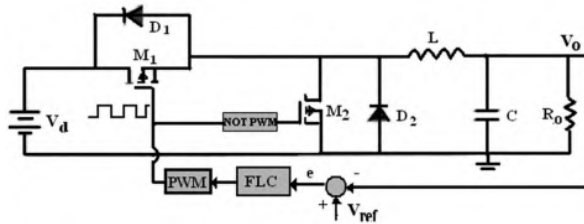
$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{D}{1 - D}$$

**Persamaan 2.4**

### 2.2.1 *Synchronous Buck Converter*

*Synchronous buck converter* mempunyai dua *switch* MOSFET. MOSFET bekerja dengan saling mengisi jika menggunakan dua jenis MOSFET yang sama, dimana

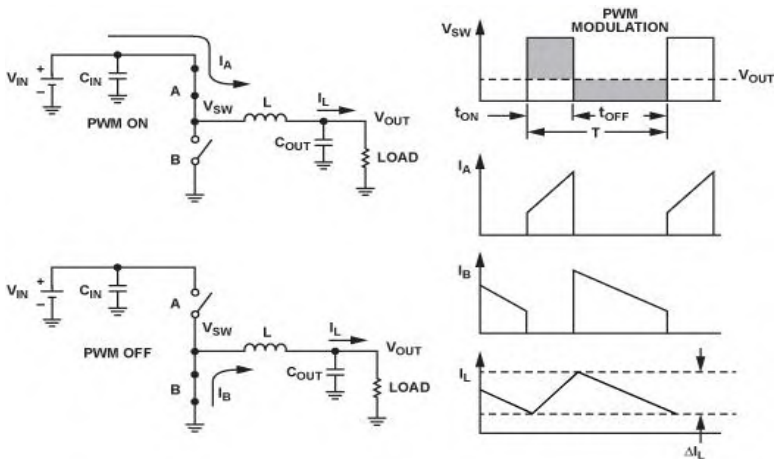
MOSFET yang bekerja sebagai penyuplai daya hanya salah satunya dan sisanya menjadi pendukung kemampuan MOSFET untuk menyuplai.



**Gambar 2.7** *Synchronous Buck Converter*

Rangkaian pada Gambar 2.7 merupakan rangkaian dari topologi *Synchronous buck converter*. *Synchronous buck converter* merupakan salah satu metode yang digunakan dari topologi *buck converter*. Keterangan untuk rangkaian Gambar 2.7 adalah sebagai berikut.

- $V_d$  = Tegangan DC masuk
- $M_1$  = MOSFET 1
- $M_2$  = MOSFET 2
- PWM = *Pulse Width Modulation 1*
- NOT PWM = *Pulse Width Modulation 2*
- $D_1$  = Dioda 1
- $D_2$  = Dioda 2
- $L$  = Induktor
- $C$  = Kapasitor
- $R$  = Resistor
- $V_o$  = Tegangan DC keluar
- $V_{ref}$  = Tegangan referensi
- FLC = *Fuzzy Logic Controller*



**Gambar 2.8** *Switching mode converter*

Cara kerja rangkaian pada Gambar 2.8 memanfaatkan PWM tinggi di MOSFET 1 dan PWM rendah pada MOSFET 2. Saat  $t_1$  pada MOSFET 1 *on* maka arus dari MOSFET 1 akan masuk dan arus dari induktor akan *charging* dan MOSFET 2 pada posisi  $t_2$  *off* akan melepas menyimpan tegangan. Saat  $t_1$  *off* pada MOSFET 1 maka arus mengalami proses *charging* dan MOSFET 2  $t_2$  *on* akan meneruskan tegangan dengan MOSFET 2 sebagai hambatan dan induktor *discgare* arus yang tersimpan. Hal ini memberikan *power losses* yang kecil untuk kinerja MOSFET 1 yang berguna meningkatkan efisiensi, dikarenakan jika MOSFET hanya satu maka saat waktu  $t_1$  *off* akan terjadi hambatan pada tegangan yang mengakibatkan arus tidak bisa terbawa.

Tegangan aktual di komparasi dengan tegangan refrensi untuk memproduksi sinyal *error* yang digunakan untuk menentukan sinyal *switching* sebagai sinyal *duty cycle*. Sinyal *switching* mengalami kondisi inverse dan diaplikasikan ke MOSFET untuk digunakan sebagai pengurangan tegangan dan *power losses* di dalam rangkaian. *State-space average model* untuk mendeskripsikan tegangan dan arus dinamik untuk

*synchronous buck converter* diberikan seperti di bawah ini (Samosir & Yatim, 2010).

$$L \frac{di_L(t)}{dt} + v_o(t) = V_g(t) \cdot d_{(t)}$$

**Persamaan 2.5**

$$C \frac{dv_o(t)}{dt} = i_L(t) - \frac{v_o(t)}{R}$$

**Persamaan 2.6**

dimana L adalah induktansi, C adalah kapasitansi, R adalah resistansi beban,  $V_g(t)$  adalah masukan tegangan,  $i_L(t)$  adalah arus keluaran induktor,  $v_o(t)$  adalah tegangan keluaran, dan  $d_{(t)}$  adalah *duty cycle* dalam fungsi waktu. Keluaran tegangan juga dapat dihitung menjadi.

$$V_o(t) = V_g(t) \cdot d_{(t)} - L \frac{di_L(t)}{dt}$$

**Persamaan 2.7**

## 2.2.2 Desain Komponen

Keluaran daya dari sistem berdasarkan keluaran tegangan dan arus yang dibutuhkan. Keluaran maksimum dan keluaran minimum juga menggunakan tegangan dan arus yang dibutuhkan. Perumusan yang dibutuhkan sistem dapat di lihat pada rumus berikut (Kaziemierczuk, 2008).

$$P_{O_{\max}} = V_O I_{O_{\max}}$$

**Persamaan 2.8**

$$P_{O_{\min}} = V_O I_{O_{\min}}$$

**Persamaan 2.9**

$$R_{L_{\min}} = \frac{V_O}{I_{O_{\min}}}$$

**Persamaan 2.10**

$$R_{Lmax} = \frac{V_O}{I_{Omax}}$$

**Persamaan 2.11**

Selain keluaran daya, yang diperhitungkan untuk mendesain komponen yaitu nilai *duty cycle*. Untuk menentukan nilai *duty cycle* maka selain menggunakan persamaan 2.4 bisa menggunakan *state error function* ( $Y$ ).  $Y$  adalah fungsi linear *error* tegangan (Samosir & Yatim, 2010).

$$Y = k \cdot V_{err}(t)$$

**Persamaan 2.12**

dimana  $k$  adalah koefisien positif dan  $V_{err}$  adalah eror tegangan :

$$V_{err}(t) = V_{ref} - V_O(t)$$

**Persamaan 2.13**

turunan dari  $Y$  diberikan seperti di bawah ini :

$$\frac{dY}{dt} = k \frac{dV_{err}(t)}{dt}$$

**Persamaan 2.14**

*synchronous buck converter* mempunyai fungsi dinamik yang dapat dirumuskan menjadi.

$$\frac{dY}{dt} + mY = 0, m > 0$$

**Persamaan 2. 15**

subtitusikan persamaan (2.10) dan (2.12) ke (2.13)

$$k \frac{dV_{err}(t)}{dt} + m \cdot k \cdot V_{err}(t) = 0$$

**Persamaan 2.16**

tambahkan langsung ke kondisi *converter* pada persamaan (2.5) ke (2.13) didapat :



$$k \frac{d_{V_{err}}(t)}{dt} + m \cdot k \cdot V_{err}(t) + V_o = V_g(t) \cdot d_{(t)} - L \frac{di_L(t)}{dt}$$

**Persamaan 2.17**

didapatkan perhitungan *duty cycle* sebagai berikut :

$$d_{(t)} = \frac{k \frac{d_{V_{err}}(t)}{dt} + m \cdot k \cdot V_{err}(t) + V_o(t) + L \frac{di_L(t)}{dt}}{V_g(t)}$$

**Persamaan 2.18**

Nilai *duty cycle* dengan menggunakan persamaan 2.16 harus dengan mencari nilai  $m$  yang merupakan *decrease rate*, untuk mencari perubahan tegangan. Pada penelitian ini, metode yang digunakan dalam mencari dan menentukan *duty cycle* adalah kontrol logika fuzzy. Kontrol logika fuzzy lebih adaptif dan sebagai kecerdasan artifisial serta tidak perlu memerlukan permodelan matematik berlebih yang dapat mempengaruhi kemampuan memproses suatu alat kontrol (Shiau, Wei, & Chen, A Study on the Fuzzy-Logic-Based Solar Power MPPT, 2015).

Setelah nilai *duty cycle* ditentukan, maka untuk mencari induktansi total minimum, *ripple* arus induktor maksimum, maksimum ESR dan minimum kapasitansi yang dibutuhkan menggunakan perumusan berikut (Kaziemierczuk, 2008).

$$L_{Tmin} = \frac{R_{Lmax}(1 - d_{min})}{2f_s}$$

**Persamaan 2. 19**

$$\Delta i_{Lmax} = \frac{V_o d_{min}(1 - d_{min})}{f_s L}$$

**Persamaan 2. 20**

$$r_{Lmax} = \frac{V_o}{I_{Omin}}$$

**Persamaan 2. 21**

$$r_{\text{emax}} = \frac{V_o}{V_I}$$

**Persamaan 2.22**

$$V_r = \frac{V_o}{V_{I\text{max}}}$$

**Persamaan 2.23**

$$r_{C\text{max}} = \frac{V_r}{\Delta i_{L\text{max}}}$$

**Persamaan 2.24**

$$C_{\text{min}} = \frac{1 - d_{\text{min}}}{2f_s r_{\text{emax}}}$$

**Persamaan 2.25**

## 2.4 *Buoy Weather*

*Buoy weather* merupakan wahana apung yang berfungsi untuk mengetahui kondisi cuaca pada daerah tertentu, pada umumnya *buoy weather* memberikan sebuah informasi perkiraan cuaca pada bidang maritim dengan meliputi variabel yang terdiri dari kecepatan angin, arah angin, temperatur udara, tekanan udara, kelembaban udara dan *Global Positioning System* (GPS). Tetapi terdapat juga *buoy weather* yang hanya digunakan untuk mengetahui informasi cuaca pada bidang maritim, khususnya hanya memantau kondisi ketinggian gelombang laut dengan secara *realtime* yang terdapat pada Gambar 2.9.

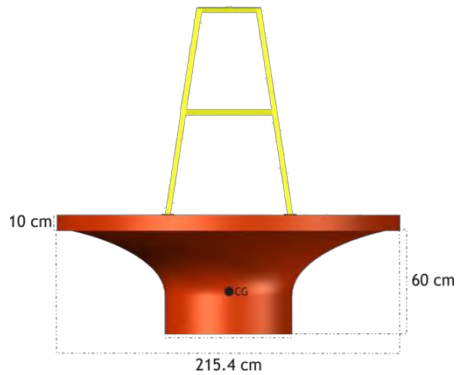


**Gambar 2.9** *Buoy weather*

Gambar 2.9 menggambarkan tipe wave buoy yang berfungsi untuk memberikan informasi data cuaca dengan berupa ketinggian gelombang dan periode gelombang laut saja. Proses pembangambilan data ketinggian gelombang laut dan periode gelombang laut tersebut dilakukan selama 30 sampai 35 menit dalam setiap jam (National Marine Weather Guide, 2014).

### **2.3.1** *Prototype Buoy Weather Type II*

*Prototype buoy weather type II* merupakan bentuk rancangan dari penelitian *buoy weather station* sebelumnya, yang terdapat pada Gambar 2.10 (Arifin, 2015)



**Gambar 2.10** Desain *prototype buoy weather type II*

Gambar 2.10 mengilustrasikan bentuk desain *prototype buoy weather type II*, yang digunakan sebagai media apung untuk penyimpanan peralatan instrumen pengukuran cuaca dan catu daya. Untuk spesifikasi dari *prototype buoy weather type II* dapat dilihat pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Spesifikasi *prototype buoy weather type II*

Nama	Quantity	Berat (ton)	Horisontal (m)	Vertikal (m)
<i>Prototype Buoy weather Type II</i>	1	0.098	2.154	0.737
	Total	0.098	LCG=1.08	VCG= 0.37
				FS corr.=0
				VCG Fluid= 0.737

Dari Tabel 2.1 telah ditentukan bahwa beban maksimal yang mampu diangkat adalah 0.98 ton dengan titik berat LCG = 1.08 m dan VCG = 0.37 meter.

## 2.5 *Charger Controller*

Sebuah *charger controller* digunakan untuk membatasi arus dan tegangan listrik yang ditambahkan atau diambil dari baterai. Hal ini mencegah pengisian yang berlebihan dan dapat mencegah terjadinya tegangan berlebih yang dapat mengurangi kinerja dan umur baterai, selain itu juga untuk menjaga keamanan dari baterai. Untuk melindungi baterai, *charge controller* mencegah baterai dari *deep discharging* atau hal tersebut akan mengeluarkan aksi *discharge* pada saat pengisian (Panasonic, 2005).

Terdapat beberapa fitur dari *solar charger controller* yaitu:

- a) Saat tegangan pengisian di baterai telah mencapai keadaan penuh, maka *controller* akan menghentikan arus dan tegangan listrik yang masuk ke dalam baterai untuk mencegah *overcharge*, dengan demikian ketahanan baterai akan jauh lebih tahan lama. Di dalam kondisi ini, listrik yang tersuplai dari panel surya akan langsung terdistribusi ke beban atau peralatan listrik dalam jumlah tertentu sesuai dengan konsumsi daya peralatan listrik.
- b) Saat tegangan di baterai dalam keadaan hampir kosong, maka *controller* berfungsi menghentikan arus listrik dari baterai oleh beban atau peralatan listrik. Dalam kondisi tegangan tertentu, yaitu berkisar 10% sisa tegangan di baterai, maka pemutusan arus beban dilakukan oleh *controller*. Hal ini menjaga baterai dan mencegah kerusakan pada sel sel baterai. Pada kebanyakan model *controller*, indikator lampu akan menyala dengan warna tertentu, yang menunjukkan bahwa baterai dalam proses *charging*. Dalam kondisi ini, bila sisa arus di baterai kosong berkisar dibawah 10%, maka arus listrik dari baterai akan diputus oleh *controller*, yang mengakibatkan peralatan listrik atau beban tidak dapat beroperasi.

- c) Pada *controller* tipe–tipe tertentu dilengkapi dengan digital meter dengan indikator yang lebih lengkap

### 2.5.1 *Charging Mode Solar Charger Controller*

- a) Fase *Bulk*: baterai akan di *charge* sesuai dengan tegangan *setup (bulk)* yaitu antara 80% – 90% total tegangan baterai dan arus diambil secara maksimum dari *buck converter*. Pada saat baterai sudah pada tegangan *setup* dimulailah fase *absorption*.
- b) Fase *Absorption*: pada fase ini, tegangan baterai akan dijaga sesuai dengan tegangan *bulk*, sampai *solar charge controller timer* pada umumnya mencapai satu jam tercapai, arus yang dialirkan menurun sampai mencapai kapasitas dari baterai.
- c) Fase *Float*: baterai akan dijaga pada tegangan *float setting* yaitu 70% – 80% total tegangan baterai. Beban yang terhubung ke baterai dapat menggunakan arus maksimum dari *buck converter*.

## 2.6 *Baterai Valve Regulated Lead Acid (VRLA)*

VRLA sering disebut dengan aki kering di Indonesia. VRLA tersusun seri dari beberapa *cell lead acid*. Baterai VRLA menggunakan *valve* untuk meregulasi gas hydrogen yang akan tercampur dengan oksigen saat proses *charging* yang melibatkan sulfuric-oxide terbawa pada air yang ada di dalam tiap *cell* dan mengatur penguapan yang terjadi saat proses pencampuran hidrogen serta oksigen (Solar Surya Indonesia, 2012).

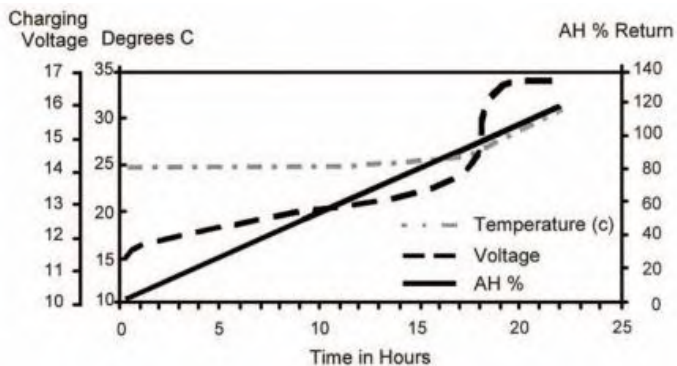
VRLA memiliki beberapa teknologi yang berbeda dalam implementasinya. *Absorbant Glass Mat (AGM)* adalah salah satu teknologi yang memanfaatkan bahan *fiber glass* sebagai celah tiap *cell* membuat tidak dapat mengabsorpsi cairan pencampuran sulfuric-oxide dengan air antar *cell*. AGM mempunyai struktur yang dapat menahan getaran dan mencegah kebocoran cairan *cell* (Buchmann, 2016).



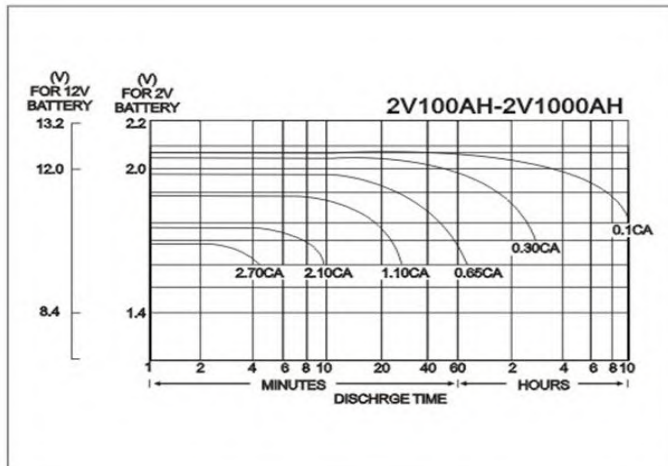
panjang:  
60 cm  
lebar:  
30 cm  
tinggi:  
40 cm  
berat:  
30 kg

**Gambar 2.11** Baterai VRLA 100Ah

Gambar 2.11 merupakan baterai VRLA dengan teknologi AGM merk luminous yang akan terpasang pada *prototype buoy weather type II*. Baterai tersebut dipilih karena tahan getaran dan dapat beradaptasi dengan kondisi *buoy* yang akan memiliki arah tak beraturan saat di tengah laut. Baterai ini memiliki berat mencapai 30Kg yang tidak melebihi berat kesetimbangan dari *prototype buoy weather* yang mencapai 98Kg. Dengan ukuran yang tidak melebihi lebar *buoy*.



**Gambar 2.12** Charging Property C/20



**Gambar 2.13** Discharge Property C/20

Baterai VRLA mempunyai karakteristik dalam pemakaian dan pengisian (C&D Technologies, 2013). Pengisian akan menambahkan arus ke baterai dan pemakaian mengurangi arus serta tegangan nominal dari baterai. Baterai VRLA 100Ah dapat menggunakan rata-rata kapasitas arus dengan perhitungan C/20 sebagai kapasitas arus baterai per variabel koefisien. C/20 berkapasitas rata-rata yaitu 5 Ampere dengan perhitungan  $100/20$ . Gambar 2.12 menjelaskan lamanya pengisian daya ke baterai berdasarkan tegangan nominal dan suhu tetap. Gambar 2.13 menjelaskan lama pemakaian kapasitas baterai VRLA 100Ah dengan kapasitas baterai yang berbeda.

## 2.7 Logika Fuzzy

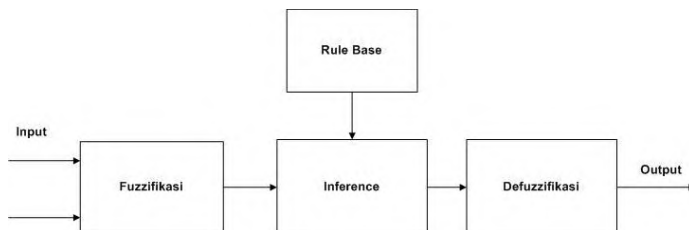
Dari penjelasan sebelumnya, telah disebutkan bahwa terdapat beberapa metode yang dapat digunakan dalam penerapan algoritma MPPT di modul *photovoltaic*. Melihat dari karakteristik tegangan dan daya *photovoltaic*, sistem



tersebut merupakan sistem yang nonlinier. Sifat nonlinier sistem *photovoltaic* tersebut dapat dilihat pada kurva-kurva karakteristik *photovoltaic* yang menjelaskan bahwa pengaruh intensitas matahari akan menimbulkan non linieritas. Hal tersebut ditunjukkan dengan penurunan daya yang dihasilkan *photovoltaic* setelah melampaui titik maksimumnya. Maka dari itu, diperlukan suatu metode yang sesuai dalam menangani sifat non linieritas sistem *photovoltaic* sehingga daya maksimum dapat dicapai dan kemudian dipertahankan

Logika fuzzy merupakan suatu metode untuk menentukan keputusan berbasis sebab dan akibat (*if-then*) (M.K, 214). Dengan menggunakan logika fuzzy, tidak diperlukan model matematis untuk mengetahui karakteristik sistem. Dari pernyataan tersebut, metode ini memiliki beberapa kelebihan diantaranya arsitektur yang lebih sederhana dibandingkan dengan metode yang lainnya, kekokohan sistem, performansi yang lebih baik dan lain-lain. Melihat sistem *photovoltaic* yang bersifat non linear jika ditunjukkan pada kurva I-V dan P-V, logika fuzzy merupakan metode yang cocok untuk menerapkan algoritma MPPT di dalamnya.

Bagian-bagian penting dari logika fuzzy adalah fuzzifikasi, *rulebase*, *inference* dan defuzzifikasi. Arsitektur logika fuzzy dapat ditunjukkan pada Gambar 2.14.



**Gambar 2.14** Arsitektur metode logika fuzzy

a) Fuzzifikasi

Dalam logika fuzzy, masukan dan keluaran sistem akan dinyatakan dalam *membership function*. *Membership*

*function* merupakan suatu rentang nilai yang dapat merepresentasikan bentuk masukan atau keluaran sistem. Dalam proses fuzzifikasi ini masukan fuzzy akan diubah menjadi linguistik yang akan diolah dalam fuzzy *inference engine*.

b) *Inference dan Rule Base*

Masukan sistem yang telah di fuzzifikasi akan diolah dalam sebuah *inference engine*. Di dalam *inference engine* terdapat aturan-aturan (*rulebase*) yang menggunakan metode fuzzy Mamdani. Fuzzy Mamdani merupakan jenis fuzzy yang memiliki masukan dan keluaran berupa numerik. Masukan numerik tersebut akan diolah oleh prosesor untuk menghasilkan keluaran fuzzy dengan komposisi *if-then* yang ada di dalam *rulebase*.

c) Defuzzifikasi

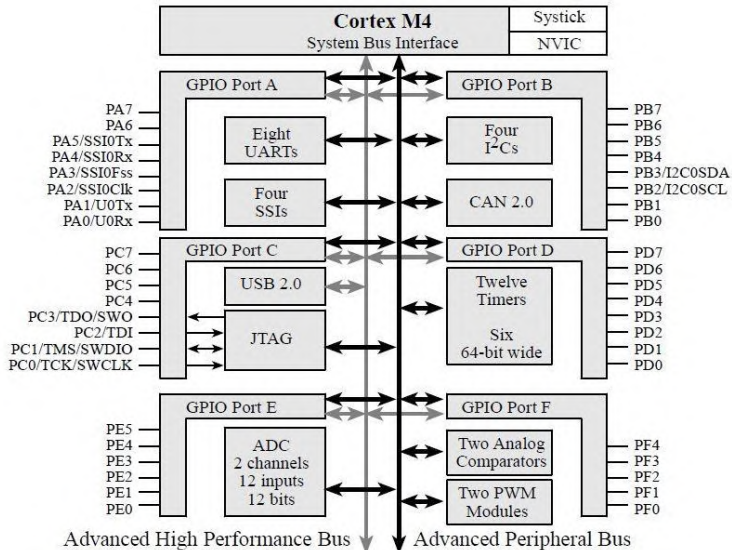
Keluaran dari *inference engine* masih berupa besaran linguistik. Dengan proses defuzzifikasi ini, besaran linguistik tersebut akan diubah menjadi numerik sesuai dengan membership *function* keluaran sistem fuzzy tersebut. Angka numerik yang dihasilkan merupakan keluaran dari logika fuzzy.

## 2.8 *Microcontroller ARM Cortex M4 (Teensy 3.2)*

Teensy 3.2 merupakan sebuah produk *microcontroller* yang menggunakan ARM Cortex M4 sebagai chip utama dalam *minimum system*. *Platform* ini bersifat *open source* dan mudah untuk digunakan dalam berbagai keperluan seperti pembacaan sensor, pengendalian, sistem *monitoring* dan sebagainya. Pemrograman dalam Teensy 3.2 ini menggunakan C++, C# dan Teensy 3.2 *programming language* dimana struktur bahasanya berdasarkan *wiring* pada *board*. Untuk melakukan proses *download* program ke dalam Teensy, tidak memerlukan rangkaian *downloader* karena dalam *minimum system* Teensy

tersebut telah dilengkapi oleh *bootloader internal* sehingga proses *downloading* menjadi lebih mudah untuk dilakukan.

Konfigurasi *bus system* dalam ARM Cortex M4 dapat dilihat pada Gambar 2.15.



**Gambar 2.15** Konfigurasi Pin ARM Cortex M4

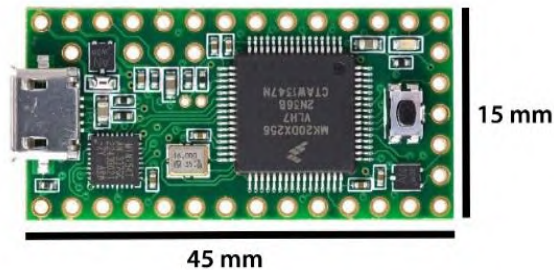
**Keterangan :**

*General Purposed Input Output (GPIO)* = Berguna sebagai pin untuk komunikasi hardware dengan kontroler.

Terdapat enam GPIO pada ARM Cortex M4

- GPIO Port A : Terdapat total delapan pin untuk komunikasi dengan komponen elektrik lain yang berfungsi sebagai *Universal Asyncrounous Receiver/Transmitter Serial (UARTS)* berjumlah delapan pin dan *SSIs* berjumlah empat pin (*SQL Server Integration Servcive*)
- GPIO Port B : Terdapat total delapan pin untuk komunikasi dengan cara melewati clock mikrokontroler yang berfungsi

- sebagai I2C (Inter-Integrated Circuit) berjumlah empat pin dan CAN 2.0 (Controller Area Network Versi 2.0)
- c) GPIO Port C : Terdapat total delapan pin untuk komunikasi dengan komponen elektrik lain yang berfungsi sebagai USB 2.0 (*Universal Serial Bus Versi 2.0*) dan JTAG (*The Joint Test Action Group*)
  - d) GPIO Port D : Terdapat total delapan pin untuk pengaturan langsung timer ke komponen elektrik
  - e) GPIO Port E : Terdapat total enam pin untuk komunikasi analog dengan komponen elektrik lainnya yaitu ADC (*Analog to Digital Converter*)
  - f) GPIO Port F : Terdapat total enam pin untuk PWM (*Pulse Width Modulation*) yaitu pin yang membangkitkan sinyal frekuensi yang mempengaruhi komponen elektrik terhubung



**Gambar 2.16** *Minimum System Teensy 3.2*

Gambar 2.16 di atas merupakan bentuk fisik dari *minimum system* Teensy 3.2. Teensy 3.2 memiliki 14 buah port digital I/O (6 pin diantaranya dapat digunakan sebagai keluaran sinyal PWM), 6 analog *input*, 72 MHz *Clock*, *push button reset*, dan koneksi dengan USB. Untuk lebih

lengkapya, spesifikasi Teensy 3.2 dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

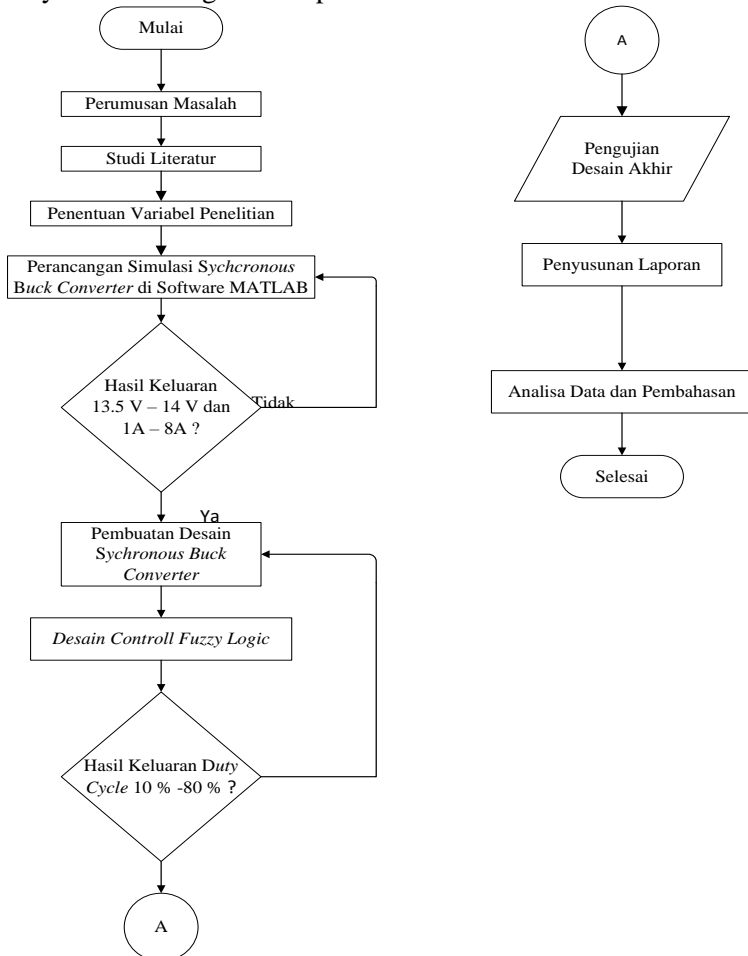
**Tabel 2.2** Spesifikasi Teensy 3.2

<b>No</b>	<b><i>Microcontroller</i></b>	<b>Teensy 3.2</b>
1	Berat	30 gram
2	<i>Operating Voltage</i>	3.7 – 5.5 V
3	<i>Input Voltage (Recommended)</i>	7 – 12 V
4	<i>Input Voltage (Limit)</i>	6 – 20 V
5	<i>Analog Inputs</i>	6 Pins
<b>No</b>	<b><i>Microcontroller</i></b>	<b>Teensy 3.2</b>
6	<i>DC current per I/O pins</i>	40 mA
7	<i>DC current for 3.3 V</i>	50 mA
8	<i>Flash Memory</i>	262 kB
9	SPROM	65 kB
10	EEPROM	2 kB
11	<i>Clock Speed</i>	72 MHz

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

### BAB III METODOLOGI

Pada bab ini diuraikan langkah-langkah alur penelitian perancangan *solar charger controller maximum power point tracking* pada panel *photovoltaic* menggunakan kontrol logika fuzzy. Berikut diagram alir penelitian :



**Gambar 3.1** Diagram alir penelitian Tugas Akhir

Berikut adalah rincian metodologi penelitian yang akan dilaksanakan pada tugas akhir kali ini:

- a) Perumusan masalah cakupan bahasan penelitian.
- b) Studi literatur tentang *photovoltaic* dan pemodelannya.
- c) Studi literatur terhadap materi yang terkait dengan pelaksanaan tugas akhir yang akan dilakukan, mengenai pemahaman *buck converter*, pemahaman tentang *solar charger controller*, pemahaman mengenai logika fuzzy, pemahaman tentang MPPT.
- d) Merancang *software* simulasi MATLAB dan hardware dilakukan secara parallel, yang meliputi *photovoltaic* dan *converter* serta melakukan pengambilan data tanpa MPPT.
- e) Merancang algoritma MPPT, menggunakan logika fuzzy pada modul Teensy 3.2 sebagai elemen pengendali.
- f) Melakukan pengujian algoritma serta pengambilan data dengan dilengkapi *solar charger controller* MPPT dengan logika fuzzy.
- g) Penyusunan analisis dan laporan.

### 3.1 Perumusan Masalah

Sebelum melakukan penelitian, maka dibuat perumusan masalah yang menentukan cakupan pembahasan. Dalam penelitian ini terdapat beberapa cakupan masalah yaitu, bagaimana merancang *solar charger controller* dengan *maksimum power point tracking* menggunakan logika fuzzy dan menghasilkan daya semaksimal mungkin sebagai media tunggal sistem catu daya pada instrumen *prototype buoy weather II*.

### 3.2 Studi Literatur

Dalam penelitian ini, literatur – literatur yang mendukung adalah jurnal, artikel, buku referensi dan makalah seminar yang telah dipublikasikan sebelumnya. Hal yang dibahas dalam referensi meliputi *photovoltaic*, *solar charger controller*, algoritma MPPT dan logika fuzzy. Literatur tentang *photovoltaic* menjelaskan tentang kinerja *photovoltaic* yang dapat direpresentasikan dalam kurva karakteristik V-I dan P-V. Dari

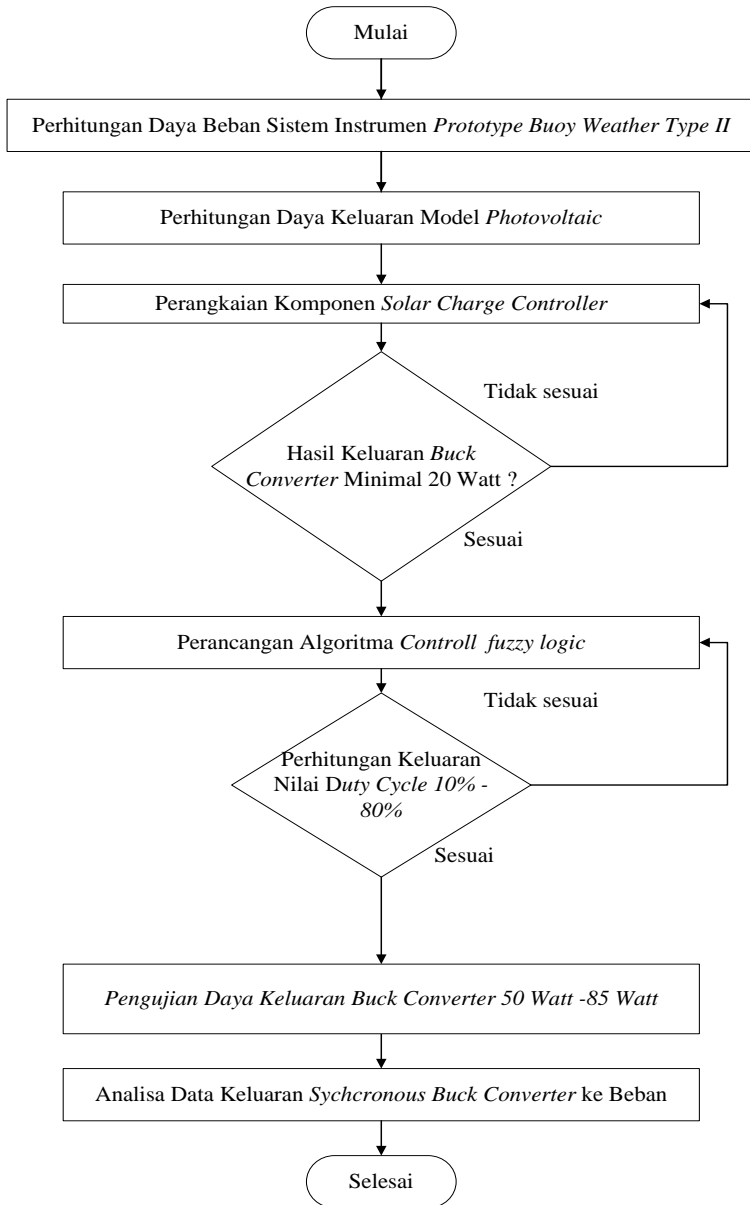


kedua kurva tersebut, dapat dilihat titik operasi *photovoltaic* dimana akan menghasilkan daya maksimum untuk modul dengan spesifikasi tertentu. Kemudian algoritma MPPT dalam hal ini adalah metode yang digunakan dalam penerapan algoritma dalam sistem *photovoltaic* yang telah ada. Metode yang digunakan akan berpengaruh pada respon sistem dan daya maksimum yang dihasilkan. Selain itu, pemilihan metode untuk MPPT juga berpengaruh.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah logika fuzzy. Literatur yang berasal dari penelitian-penelitian sebelumnya menjelaskan tentang perancangan logika fuzzy antara lain *membership function* masukan dan keluaran, *rule base*, fuzzifikasi dan defuzzifikasi. Bentuk *surface* yang dihasilkan dari perancangan logika fuzzy akan mempengaruhi performa dari algoritma MPPT itu sendiri. Hal ini dapat dilihat pada sinyal keluaran fuzzy yang akan ditransmisikan langsung menuju *buck converter* tipe *synchronous buck converter*.

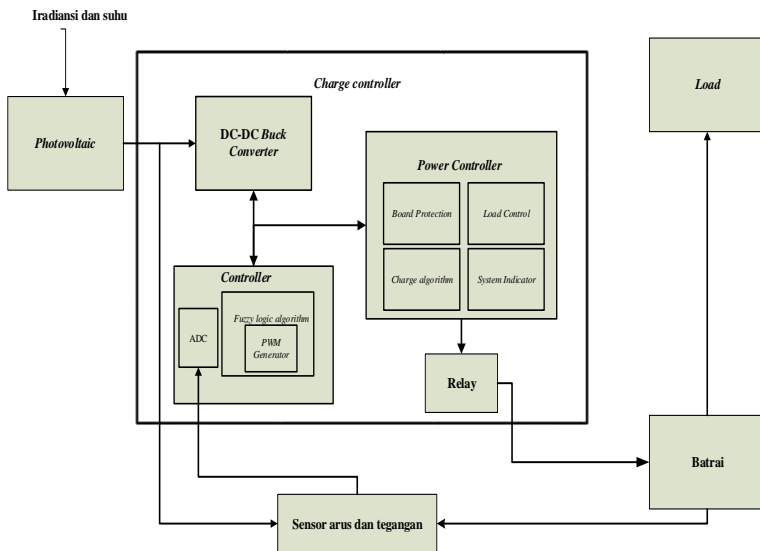
### **3.3 Perancangan Simulasi Solar Charger Controller Matlab dan Prototype Solar Charger Controller**

Perancangan simulasi *software* dan *buck converter* pada penelitian ini dilakukan secara paralel dan memiliki metode yang sama dalam pengerjaan simulasi dengan perangkat keras. Berikut diagram alir dari perancangan penelitian :



**Gambar 3.2** Diagram alir solar charger controller

DC-DC *converter* tipe *synchronous buck converter* digunakan untuk mengubah level tegangan keluaran lebih kecil dari masukan dengan tambahan tegangan referensi agar panel *photovoltaic* menghasilkan daya keluaran maksimum pada variasi intensitas matahari dan temperatur permukaan panel yang terjadi secara dinamik. Untuk memanipulasi tegangan keluaran, perlu dilakukan pengaturan *duty cycle (d)* pada DC-DC *converter* sesuai dengan variabel masukan dari panel *photovoltaic* yaitu, tegangan dan arus listrik. Pengaturan *duty cycle converter* dilakukan dengan memberikan sinyal Pulse Width Modulation (PWM) yang berasal dari digital I/O pin Teensy 3.2. Besar sinyal PWM yang diberikan oleh Teensy 3.2. Sinyal PWM yang diberikan oleh Teensy 3.2 dapat berubah sesuai dengan algoritma pemrograman MPPT yang terdapat dalam chip. Gambar 3.3 **Error! Reference source not found.** merupakan diagram blok dari rancang bangun hardware sistem *photovoltaic* yang dilengkapi dengan menggunakan algoritma MPPT dalam modul Teensy 3.2. Berikut pada Gambar 3.3.



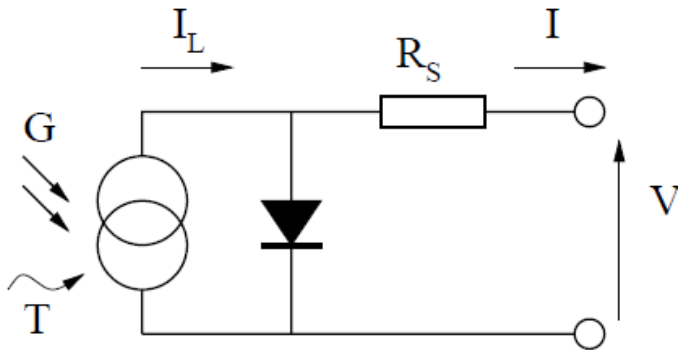
**Gambar 3.3** Diagram blok sistem *solar charger controller* dengan algoritma MPPT

Pada Gambar 3.3 menunjukkan sistem *solar charger controller* dengan MPPT. Keluaran dari *converter* berupa daya, secara langsung akan digunakan untuk mencatu beban yang berupa instrumen *buoy weather station* dan sebagian akan disimpan ke dalam sebuah baterai untuk cadangan energi listrik. Energi listrik tersebut disimpan untuk mensuplai komponen - komponen yang terdapat dalam sistem *buoy weather* yang memerlukan catu daya listrik. Komponen-komponen tersebut yaitu *microcontroller* ATMEGA 8535, sensor arus dan *microcontroller* ATMEGA 328 atau Arduino Uno. Dengan adanya energi cadangan yang tersimpan dalam baterai, diharapkan sistem *buoy weather* dapat tersuplai daya listrik secara mandiri dan kontinyu dari *photovoltaic* yang telah terpasang di *buoy weather station*. Peran dari MPPT disini adalah mempertahankan daya keluaran *photovoltaic* dengan adanya pengaruh variasi temperatur dan intensitas matahari harian sehingga daya yang dihasilkan mencapai nilai maksimum sesuai dengan spesifikasi panel surya.

Pada penelitian ini, algoritma MPPT dalam Teensy 3.2 akan diterapkan dengan menggunakan logika fuzzy sebagai kontrol penentu keputusan. Masukan logika fuzzy pada Teensy 3.2 adalah *error* dan perubahan *error*. Definisi dari *error* adalah perbandingan antara selisih daya keluaran *photovoltaic* saat sekarang dan sebelumnya dengan selisih tegangan pada panel *photovoltaic* sekarang dan sebelumnya. Sedangkan, definisi dari perubahan *error* adalah selisih antara *error* terbaca pada saat sekarang dan *error* sebelumnya. Kedua masukan tersebut berasal dari hasil sensor tegangan pada pin ADC (*Analog Input*). Masukan Teensy 3.2 berasal dari keluaran panel *photovoltaic* dan tegangan referensi untuk menghasilkan masukan logika fuzzy (*error* dan *delta error*). Didapatkan dua variabel yaitu *error* dan *delta error*, logika fuzzy akan mengolahnya menurut *rule* yang telah dibuat sehingga dapat dihasilkan sinyal PWM berupa *duty cycle*. Lebar pulsa PWM yang dikeluarkan akan berubah menurut *rule* yang telah ditanam dalam logika fuzzy di modul Teensy 3.2.

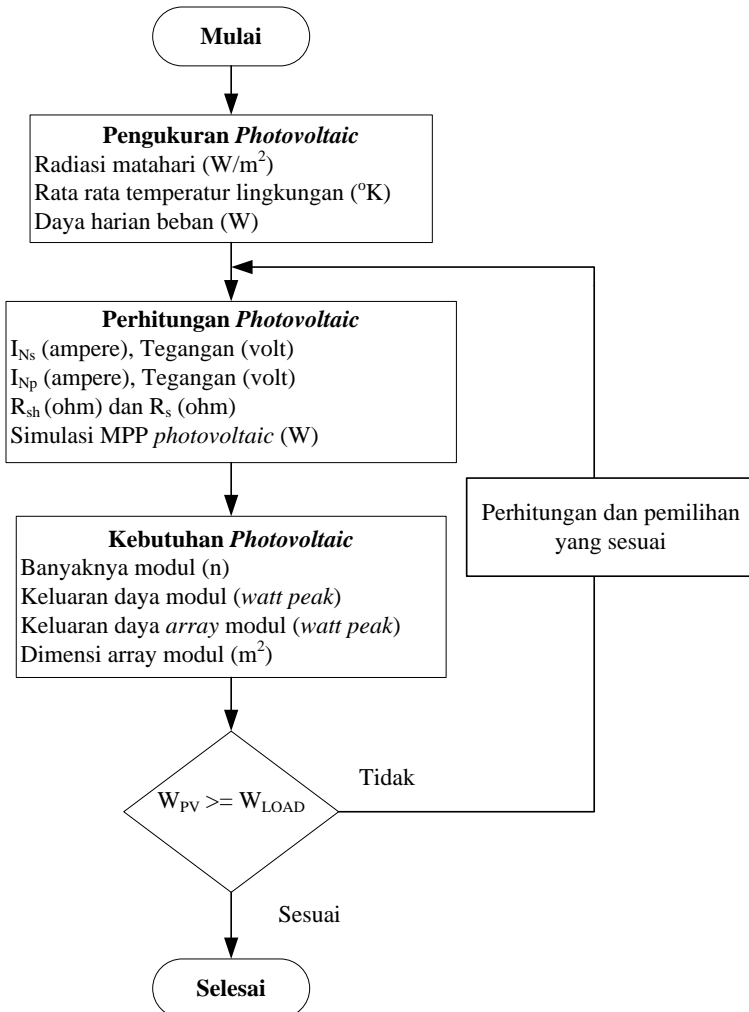
### **3.3.1 Panel *Photovoltaic***

Panel *photovoltaic* merupakan komponen utama dalam sistem ini disebabkan panel inilah yang akan menghasilkan arus dan tegangan sehingga dapat diperoleh besaran daya listrik. Panel ini dapat menghasilkan arus listrik akibat dari efek *photovoltaic* yang terjadi di dalam lempengan logam yang tersusun paralel maupun seri. Gambar 3.4 merupakan model rangkaian *photovoltaic*.



**Gambar 3.4** Model sederhana *photovoltaic*

Gambar 3.4 Model sederhana *photovoltaic* di atas merupakan model rangkain *photovoltaic* paling sederhana. Dengan adanya intensitas matahari ( $G$ ) dan pengaruh suhu *photovoltaic* ( $T$ ), maka timbul tegangan yang menyebabkan adanya arus listrik yang mengalir melalui beban  $R_S$ . Pemilihan modul *photovoltaic* perlu diperhatikan untuk menyesuaikan kebutuhan beban instrumen, Gambar 3.6 *Photovoltaic solar module 50 watt peak* menunjukkan diagram alir dari pemilihan *photovoltaic*.



**Gambar 3.5** Diagram alir pemilihan *photovoltaic*

Gambar 3.5 Diagram alir pemilihan *photovoltaic* menjelaskan bagaimana cara pemilihan modul *photovoltaic*. Hal pertama yang harus dilakukan adalah mengetahui parameter masukan yang dapat

mengubah hasil keluaran dari *photovoltaic* yaitu berupa radiasi matahari, temperatur dan daya harian kebutuhan beban instrumen.

Perhitungan variabel *photovoltaic* dan pemilihan kebutuhan modul *photovoltaic* selanjutnya menjadi proses diagram alir pemilihan yang sesuai dengan *photovoltaic* yang akan dipilih. Setelah daya keluaran maksimum *photovoltaic* lebih besar dan sama dengan daya beban harian instrumen, maka selesai, jika tidak akan dilakukan perhitungan dan pemilihan ulang.

Pada kali ini, panel yang digunakan memiliki gambar pada Gambar 3.6 *Photovoltaic solar module 50 watt peak* dan spesifikasi pada Tabel 3.1.



**Gambar 3.6** *Photovoltaic solar module 50 watt peak*

**Tabel 3.1** Spesifikasi *photovoltaic*

<b>Solar Module</b>	<b>SW 50 poly RMA</b>
<i>Maximum Power (P<sub>max</sub>)</i>	50 Watt
<i>Power Tolerance</i>	± 10%
<i>Voltage at P<sub>max</sub></i>	18,2 Volt
<i>Current at P<sub>max</sub></i>	2,95 Ampere
<i>V<sub>oc</sub> (Open Circuit)</i>	22,1 Volt
<i>I<sub>sc</sub> (Short Circuit)</i>	2,75 Ampere
<i>Normal Operating Cell Temperature (NOCT)</i>	46 ±2°C
<i>Standard Test Condition Length</i>	1 kW/m <sup>2</sup> and 25°C 680 mm

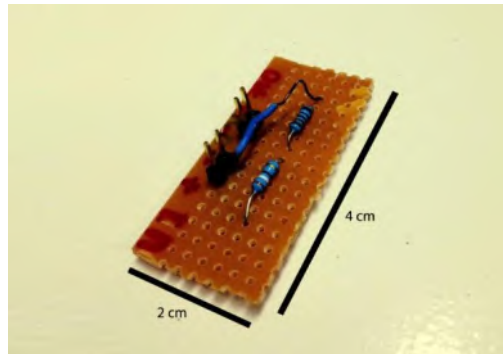


<b>Solar Module</b>	<b>SW 50 poly RMA</b>
<i>Width</i>	680 mm
<i>Height</i>	34 mm
<i>Weight</i>	5.6 Kg

Gambar 3.5 Diagram alir pemilihan *photovoltaic* merupakan modul panel surya atau *photovoltaic solar module*, spesifikasi dari modul ditunjukkan pada Tabel 3.1. Keluaran dari *photovoltaic* itu sendiri berupa arus listrik dan tegangan. Kedua besaran tersebut bersifat dinamik tergantung kondisi cuaca, temperatur permukaan panel dan intensitas matahari. Besaran yang paling berpengaruh adalah temperatur permukaan dan intensitas matahari. Agar daya keluaran panel dapat berada di titik maksimumnya, perlu diterapkan algoritma MPPT sehingga dengan variasi kondisi lingkungan yang berubah terus menerus, daya keluaran tetap pada kondisi maksimumnya.

### 3.3.2 Sensor Tegangan

Untuk mendapatkan besaran tegangan listrik pada panel *photovoltaic*, maka digunakan sebuah rangkaian *voltage divider*. Rangkaian ini terdiri dari dua buah resistor dengan perbandingan besar resistansi tertentu sehingga dapat membagi tegangan agar dapat dibaca oleh *microcontroller* Teensy 3.2. Di bawah ini merupakan gambar rangkaian *voltage divider* yang digunakan dalam penelitian ini:

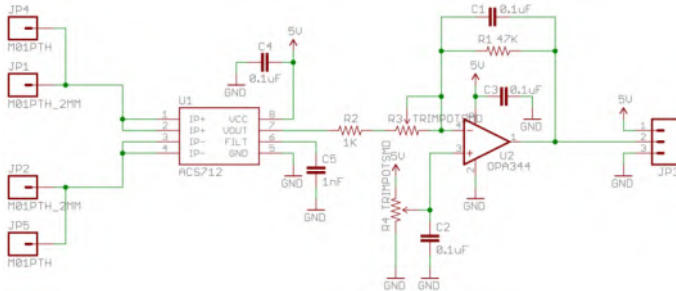


**Gambar 3.7** Rangkaian *voltage divider* sebagai sensor tegangan

*Photovoltaic* yang digunakan memiliki spesifikasi tegangan keluaran sebesar 22.1 volt (*open circuit*). Agar tegangan dapat dibaca oleh Teensy 3.2, maka tegangan 0 – 22.1 volt akan dibagi oleh *voltage divider* menjadi 0 – 3.3 volt sehingga *pin analog input* ADC (10 bit) dapat membaca tegangan dalam bit (0 – 1023).

### 3.3.3 Sensor Arus

Secara umum, Teensy 3.2 hanya dapat membaca tegangan 10 bit dan tidak dapat membaca besaran arus. Maka dari itu, sensor arus digunakan untuk membaca arus keluaran dengan melihat tegangan keluaran sensor yang proporsional dengan arus yang dibaca. Arus listrik yang dihasilkan oleh *photovoltaic* dan baterai dibaca dengan menggunakan sebuah sensor yang menggunakan *Integrated Circuit* (IC) ACS712. IC yang digunakan dalam rancangan perangkat keras memiliki kemampuan membaca arus dari – 5 Ampere sampai 5 Ampere sehingga dinamakan ACS712 5A. Prinsip kerja dari sensor ini adalah berdasarkan prinsip efek hall. Di bawah ini merupakan gambar rangkaian dan *hardware* sensor arus ACS712 5A. Rangkaian dan IC tersebut dapat di lihat pada Gambar 3.8 dan Gambar 3.9 Sensor arus ACS712 5A yang bersumber dari <http://sparkfun.com/>.



**Gambar 3.8** Rangkaian sensor arus



**Gambar 3.9** Sensor arus ACS712 5A

Sensor ini memerlukan catu daya sebesar 5 Volt agar dapat bekerja. Masukan sensor berada pada pin IP+ (Positif) dan IP- (Ground). Pada *Printed Circuit Board* (PCB), dapat terlihat bahwa sensor dilengkapi oleh Op-Amp yang berfungsi gain sensor sehingga sensitifitas pembacaan sensor dapat diubah sesuai dengan kebutuhan. Keluaran sensor ini dapat dijelaskan sebagai berikut. Jika arus  $I = 0$ , maka  $V_{out} = 0$  Volt. Jika arus  $I \neq 0$ , maka  $V_{out} = 0 \pm ADC V_{out} * I$ . Nilai ADC  $V_{out}$  dapat berubah sesuai dengan perubahan arus. Perubahan dari referensi dan gain dapat mengubah *bandwidth* pengukuran menjadi lebih kecil.

Spesifikasi Sensor Arus ACS712 5A adalah sebagai berikut:

- Jalur sinyal analog yang memiliki tingkat noise rendah
- Bandwidth sensor dapat diatur dengan adanya pin filter

- c) Bandwidth dengan frekuensi 80 kHz
- d) Risetime sebesar 5  $\mu$ s
- e) *Error* keluaran sebesar 1,5 % pada suhu 25° C
- f) Hambatan dalam sebesar 1.2 m $\Omega$
- g) Membutuhkan catu daya sebesar 5 V
- h) Tegangan keluaran proporsional dengan arus AC/DC yang mengalir

### 3.3.4 PWM 50kHz

MOSFET IRF3710 dapat bekerja jika mendapatkan pulsa PWM dengan frekuensi lebih dari 20 kHz. Selain untuk membuat MOSFET bekerja, induktor bekerja dengan frekuensi lebih dari 20 kHz. Untuk membangkitkan pulsa PWM 50 kHz pada Teensy 3.2, dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu menggunakan timer-interrupt dan library PWM.h yang sudah tertanam pada teensy 3.2. *Source code* yang bersumber dari <http://www.cse.dmu.ac.uk/> pembangkit pulsa PWM dari sinyal 50 kHz dapat dilihat di bawah ini.

```
const int PWM_H = 9;
const int PWM_L = 10;

#define TPM_C 48000000
#define PWM_FREQ 50000
#define MODULO (TPM_C / PWM_FREQ)
int PWMvalue =0;
bool countDir =1;

void FTM0_run(){
  FTM0_C3V = PWMvalue;
  FTM0_SYNC |= 0x80;
}

void init_FTM0(){

  FTM0_POL = 0;
  FTM0_OUTMASK = 0xFF;
```

```

FTM0_SC = 0x08;
FTM0_MOD = MODULO;
FTM0_CNTIN = 0;
FTM0_COMBINE = 0x00003300;
FTM0_MODE = 0x01;
FTM0_SYNC = 0x02;
FTM0_DEADTIME = 0x80;
FTM0_DEADTIME |= 12;
FTM0_C2V = 0;
FTM0_C3V = MODULO/2;
FTM0_SYNC |= 0x80;
FTM0_C2SC = 0x28;
FTM0_C3SC = 0x28;

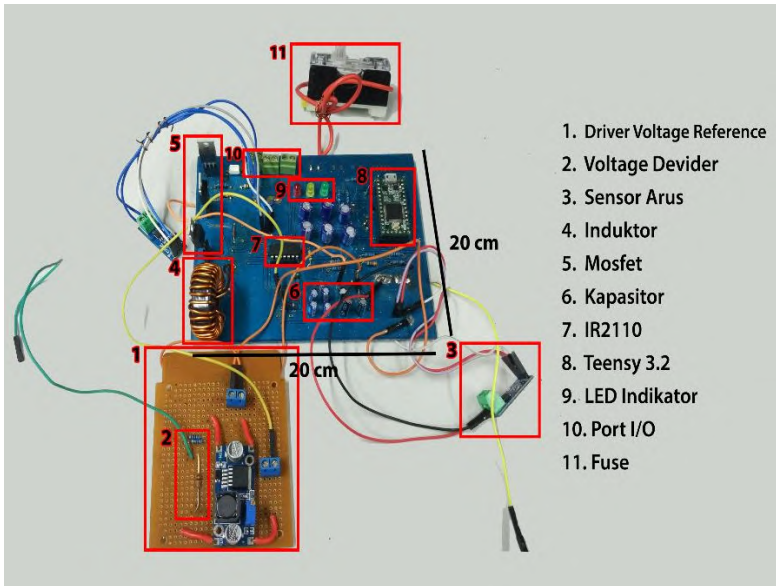
CORE_PIN9_CONFIG = PORT_PCR_MUX(4) |
PORT_PCR_DSE | PORT_PCR_SRE;
CORE_PIN10_CONFIG = PORT_PCR_MUX(4) |
PORT_PCR_DSE | PORT_PCR_SRE;

FTM0_OUTMASK = 0x0;
}

```

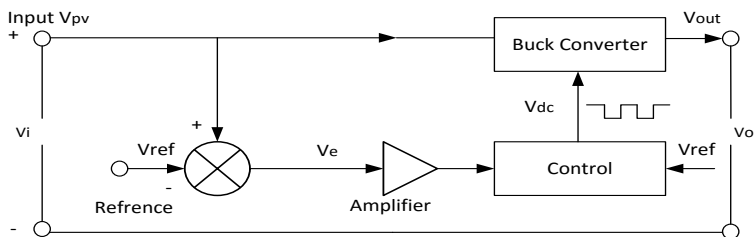
### 3.3.5 Buck Converter

Di dalam *converter* terdapat pin tegangan masukan dimana letak tegangan yang akan diubah, induktor, kapasitor, MOSFET yang berfungsi sebagai *switch on/off switching*. Secara umum, *buck converter* digunakan untuk mengubah level tegangan ke tegangan yang lebih rendah. Level tegangan keluaran dari *converter* diatur oleh *duty cycle* pada MOSFET. Dengan memberikan sinyal PWM yang bervariasi, maka nilai  $d$  dapat berubah dengan range 0 hingga 1. Dalam penelitian tugas akhir ini, gambar dan desain *buck converter* yang digunakan dapat dilihat dalam gambar dan tabel di bawah ini.



**Gambar 3.10** Rangkaian *solar charger controller*

Gambar 3.10 merupakan rangkaian *solar charger controller* yang sudah terpasang algoritma MPPT pada *buck converter* dalam satu rangkaian *printed board circuit*. Ukuran yang digunakan pada rangkaian menyesuaikan dengan ukuran tempat *prototype buoy weather station type II*.



**Gambar 3.11** Diagram blok *switching mode buck converter*

Gambar 3.11 Diagram blok *switching mode buck converter* merupakan diagram blok dari *switching mode buck converter*,

dimana menjelaskan bagaimana rangkaian untuk mendapatkan keluaran dari algoritma MPPT. Tegangan referensi digunakan sebagai acuan keluaran tegangan untuk mendapatkan daya maksimum dari keluaran *photovoltaic*.

Pada Tabel 3.2 sampai 3.5 adalah desain komponen didapatkan sesuai persamaan yang sudah dijelaskan di bab 2.1 dan sub-bab 2.2.1.

**Tabel 3.2** Spesifikasi *Synchronous Buck Converter*

No	Parameter Spesifikasi	Nilai
1	Masukan Tegangan	15 – 40 Volt
2	Keluaran Tegangan	13.5 – 14.8 Volt
3	Masukan Arus	3 A ( <i>Max</i> )
4	Keluaran Arus	8 A ( <i>Max</i> )
5	<i>Switching Freq</i>	50 kHz

**Tabel 3.3** Desain

No	Parameter Desain	Nilai
1	<i>duty cycle</i>	45%
2	PWM ratio	55%
3	Aktual PWM	45%
4	Fasa ground PWM	55%
5	Max ripple current	0.77 A
7	Max ripple voltage	0.004 V

**Tabel 3.4** Induktor

No	Parameter	Nilai
1	Tebal kawat	12 AWG
2	Diameter toroid	4 cm
3	Lilitan kawat	22
4	Nilai induktansi	77 <i>mH</i>

**Tabel 3.5** Kapasitor

No	Parameter	Nilai (Micro Farad)
1	C1 ke Q2 <i>Off</i>	34
2	C1 ke Q2 <i>On</i>	10

No	Parameter	Nilai (Micro Farad)
3	C1 dibutuhkan	30
4	C1 terpasang	800
5	C2 ke Q2 <i>Off</i>	6
6	C2 ke Q2 <i>On</i>	6
7	C2 dibutuhkan	60
8	C2 terpasang	400

### 3.4 Perancangan Logika Fuzzy

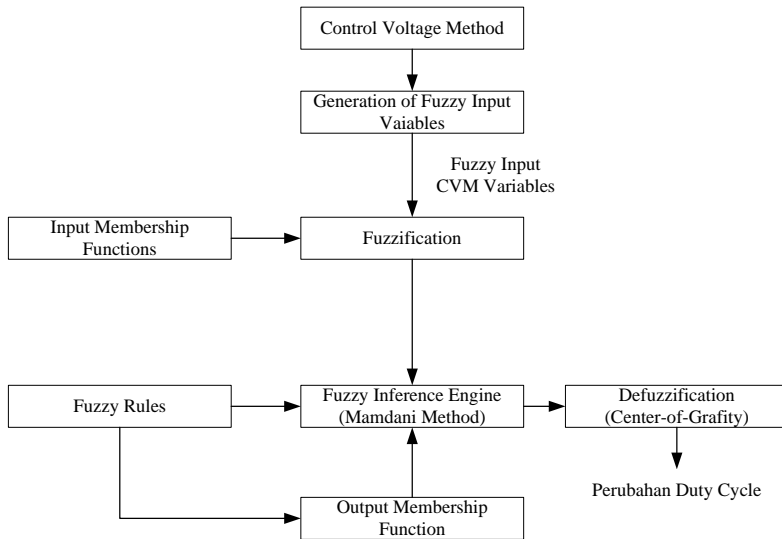
Dalam perancangan logika fuzzy, hal-hal yang perlu diperhatikan antara lain, *membership function*, fuzzifikasi, *inference engine* dan defuzzifikasi.

#### 3.4.1 Algoritma MPPT Fuzzy

Berdasarkan sub-bab 2.2 tentang pembahasan MPPT, algoritma yang diterapkan pada penelitian ini adalah CVM. Algoritma CVM dimodifikasi dengan logika fuzzy sebagai penentu keputusan untuk menentukan nilai dari *duty cycle*. Nilai masukan yang didapatkan berdasarkan tegangan *photovoltaic* dan tegangan referensi. Tegangan yang diinginkan dari algoritma ini yaitu 13.5 volt sampai 14 volt. Arus yang diinginkan mencapai sebesar 8 ampere. Kebutuhan arus yang besar dikarenakan tegangan yang diturunkan dan untuk mencapai daya maksimum dari keluaran *photovoltaic*.

Gambar 3.12 menjelaskan bagaimana algoritma MPPT dapat digabungkan dengan logika fuzzy. Diagram alir pada Gambar 3.12 pertama dimulai berdasarkan CVM, kemudian diambil data variabel masukan berupa tegangan dari *photovoltaic* dan tegangan referensi dari driver modul. Kedua variabel *photovoltaic* dan tegangan referensi dijadikan masukan keanggotaan fuzzy yaitu *error* dan *change error*. Berdasarkan *rule base*, maka masukan dapat difuzzifikasi dengan fuzzy mamdani. Defuzzifikasi adalah hal terakhir yang dilakukan logika fuzzy sebelum dapat keluaran berupa nilai *duty cycle*.

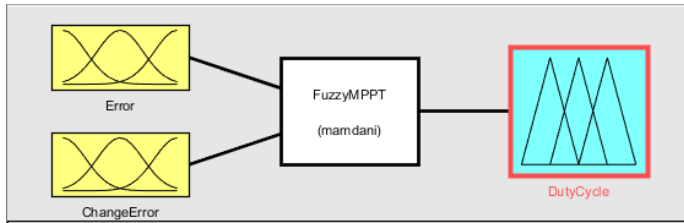




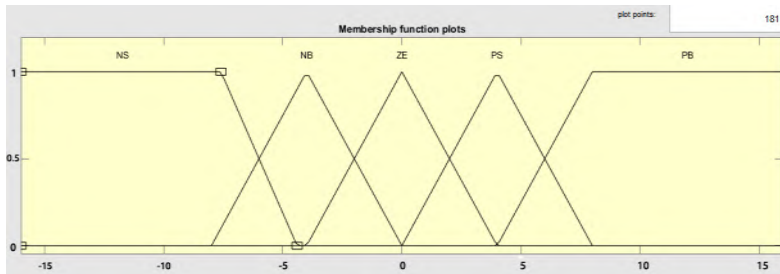
**Gambar 3.12** Algoritma MPPT logika fuzzy

### 3.4.2 Membership Function

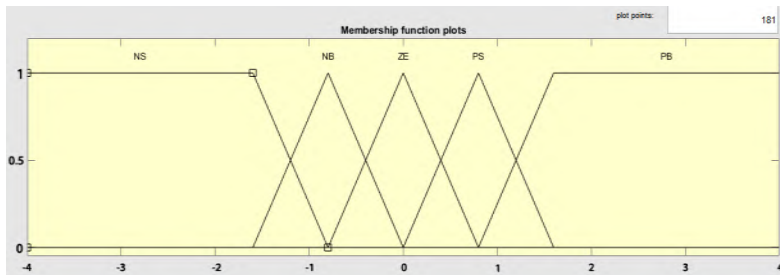
Langkah pertama dalam merancang suatu logika fuzzy adalah menentukan masukan dan keluaran fuzzy. Dalam penelitian ini, masukan-masukan sistem berupa nilai *error* dan *delta error* yang diperoleh dari hasil pembacaan tegangan dan arus pada pin analog input Teensy 3.2. Keluaran dari logika fuzzy berupa *duty cycle* yang akan dikalikan dengan input tegangan masuk *buck converter*. Masukan dan keluaran logika fuzzy dinyatakan dalam *membership function* untuk mengelompokkan variabel-variabel yang ada. Berikut pada Gambar 3.13 sampai Gambar 3.15 adalah *membership function* dari masukan dan keluaran fuzzy.



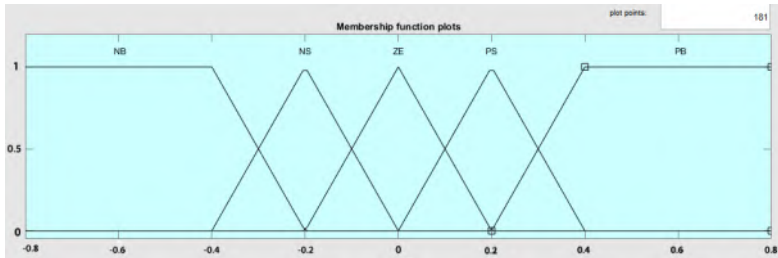
**Gambar 3.13** FIS pada MPPT



**Gambar 3.14** Membership Function Masukan Fuzzy Berupa *Error*



**Gambar 3.15** Membership Function Masukan Fuzzy Berupa *Delta Error*



**Gambar 3.16** Membership Function Keluaran Fuzzy Berupa *Duty Cycle*

Jumlah fungsi keanggotaan yang digunakan dalam setiap masukan dan keluaran adalah berjumlah tiga buah dengan tipe fungsi trapezium dan segitiga. Pada masukan  $S(k)$  yaitu  $error = \Delta V$ , memiliki range masukan mulai dari -18 hingga 18 dengan fungsi keanggotaan antara lain Negative Big (NB), Negative Small (NS), Zero (ZE), Positive Small (PS) dan Positive Big (PB).  $\Delta S(k) = \text{delta error} (E[n] - E[n-1])$ , memiliki range masukan mulai dari -4 hingga 4 dengan nama fungsi keanggotaan yang sama dengan variabel  $error$ . Keluaran logika berupa *duty cycle* memiliki range -0.8 hingga 0.8 yang akan direpresentasikan berupa pulsa PWM 0 – 3.3 volt yang merupakan keluaran dari Teensy 3.2 pada *pin digital output*. Masukan fuzzy berupa numerik akan difuzzifikasi sehingga berubah menjadi *crisp* untuk diolah dalam *inference engine*.

### 3.4.3 Inference Engine

Bilangan *crisp* yang dinyatakan dalam fungsi ke-anggotaan akan diolah dalam *inference engine* yang memiliki prinsip sebab akibat (IF .. THEN) di dalam *inference engine* terdapat *rule base* yang mengatur keluaran fuzzy sesuai masukan yang diterima sistem. *Rulebase* merupakan sekumpulan aturan sebab akibat yang digunakan untuk mengambil keputusan akhir. Dasar perancangan *rulebase* pada logika fuzzy adalah sistem *trial and error*. Dengan masukan fuzzy yang ada ( $error$  dan  $delta error$ ) dan keluaran *duty cycle*, dapat dirancang *rule base* sebanyak sembilan buah *rule*. *Rule*

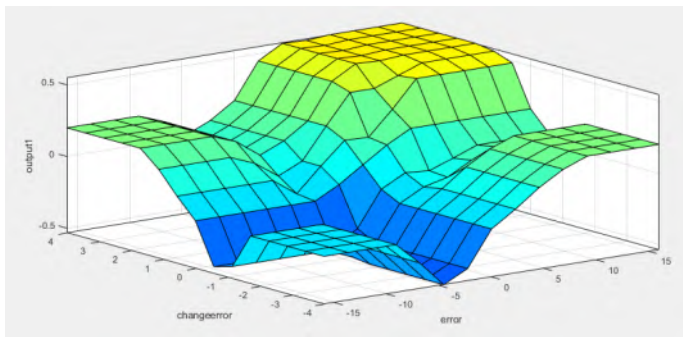
*base* logika fuzzy yang diterapkan di sistem MPPT (Jaw-Kuen Shiau, 2015):

1. If(Error is PB) and (ChangeError is NB) then (DutyCycle is ZE)
2. If(Error is PB) and (ChangeError is NS) then (DutyCycle is PS)
3. If(Error is PB) and (ChangeError is ZE) then (DutyCycle is PS)
4. If(Error is PB) and (ChangeError is PS) then (DutyCycle is PB)
5. If(Error is PB) and (ChangeError is PB) then (DutyCycle is PB)
6. If(Error is PS) and (ChangeError is NB) then (DutyCycle is NS)
7. If(Error is PS) and (ChangeError is NS) then (DutyCycle is ZE)
8. If(Error is PS) and (ChangeError is ZE) then (DutyCycle is PS)
9. If(Error is PS) and (ChangeError is PS) then (DutyCycle is PS)
- 10.If(Error is PS) and (ChangeError is PB) then (DutyCycle is PB)
- 11.If(Error is ZE) and (ChangeError is NB) then (DutyCycle is NS)
- 12.If(Error is ZE) and (ChangeError is NS) then (DutyCycle is NS)
- 13.If(Error is ZE) and (ChangeError is ZE) then (DutyCycle is ZE)
- 14.If(Error is ZE) and (ChangeError is PS) then (DutyCycle is PS)
- 15.If(Error is ZE) and (ChangeError is PB) then (DutyCycle is PS)
- 16.If(Error is NS) and (ChangeError is NB) then (DutyCycle isNB)
- 17.If(Error is NS) and (ChangeError is NS) then (DutyCycle is NS)
- 18.If(Error is NS) and (ChangeError is ZE) then (DutyCycle is NS)
- 19.If(Error is NS) and (ChangeError is ZE) then (DutyCycle is NS)
- 20.If(Error is NS) and (ChangeError is PB) then (DutyCycle is PS)
- 21.If(Error is PB) and (ChangeError is NB) then (DutyCycle is ZE)
- 22.If(*error* is PB) and (ChangeError is NB) then (DutyCycle is ZE)
- 23.If(*error* is PB) and (ChangeError is NB) then (DutyCycle is ZE)
- 24.If(*error* is PB) and (ChangeError is NB) then (DutyCycle is ZE)
- 25.If(*error* is PB) and (ChangeError is NB) then (DutyCycle is ZE)

**Tabel 3.6** *Fuzzy Rule Table*

<i>Fuzzy Rule</i>		<i>S(k)</i>				
		<b>NB</b>	<b>NS</b>	<b>Z</b>	<b>PS</b>	<b>PB</b>
<b><math>\Delta S(k)</math></b>	<b>NB</b>	NB	NB	NB	NS	Z
	<b>NS</b>	NS	NS	NS	Z	Z
	<b>Z</b>	Z	Z	Z	PS	PS
	<b>PS</b>	Z	Z	PS	PS	PS
	<b>PB</b>	Z	PS	PB	PB	PB

*Rule* yang telah dirancang menggunakan operator AND memiliki arti misalkan untuk *rule* nomor 1, jika nilai *error* termasuk dalam kategori NEGATIVE SMALL (NS) dan *delta error* termasuk dalam kategori NEGATIVE BIG (NB), maka nilai *duty cycle* akan bernilai NEGATIVE BIG (NB). Dengan dua puluh lima buah *rule* yang telah dirancang, akan terbentuk *surface fuzzy* seperti Gambar 3.17.



**Gambar 3.17** *Surface Viewer* Logika Fuzzy

### 3.4.4 Embedded Fuzzy Logic Library (EFLL) Pada Teensy 3.2

Agar *microcontroller* Teensy 3.2 dapat membaca logika fuzzy yang telah dibuat, maka dibutuhkan *library* tambahan yang dinamakan Embedded Fuzzy Logic Library atau yang disingkat dengan EFLL. Pemrograman logika fuzzy dapat dilakukan dengan mengkonversi format *.fis* logika fuzzy dari simulink, maka akan muncul *code hex fis\_header.c*.

Untuk EFLL di Teensy 3.2 sudah masuk dalam *environment system microcontroller*. Untuk *library environment* EFLL mempunyai *rule* tersendiri, maka *program code* nya seperti di bawah ini.

```
#include <Fuzzy.h>
#include <FuzzyComposition.h>
#include <FuzzyInput.h>
#include <FuzzyIO.h>
#include <FuzzyOutput.h>
#include <FuzzyRule.h>
```

```
#include <FuzzyRuleAntecedent.h>
#include <FuzzyRuleConsequent.h>
#include <FuzzySet.h>
```

Sembilan buah *rule* fuzzy di atas merupakan tanda bahwa logika fuzzy siap untuk digunakan. Fungsi-fungsi dari tiap *rulelibrary* adalah sebagai berikut :

- a) Fuzzy: Untuk menginisialisasi logika fuzzy dalam Arduino (masukan, keluaran, *rule* dan lain-lain).
- b) Fuzzy Composition: Menginisialisasi arsitektur logika fuzzy (fuzzifikasi, inferencengine dan defuzzifikasi).
- c) Fuzzy Input: Objek yang menjelaskan masukan fuzzy pada tiap fungsi keanggotaan.
- d) Fuzzy Output: Mirip dengan fuzzy input tetapi berlaku untuk keluaran dari logika fuzzy.
- e) Fuzzy Set: Untuk mengatur jenis fungsi keanggotaan dari masukan maupun keluaran dari logika fuzzy.
- f) Fuzzy IO: Objek yang menjelaskan tentang masukan dan keluaran dari logika fuzzy.
- g) Fuzzy Rule Antecedent: Objek yang menjelaskan kondisi IF yang merupakan masukan dari *rulebase* logika fuzzy.
- h) Fuzzy Rule Consequent: Objek yang menjelaskan tentang kondisi THEN yang merupakan keluaran fuzzy
- i) Fuzzy Rule: Objek yang digunakan untuk menyatakan tiap *rule* dari logika fuzzy.

Untuk *code* memanggil fungsi *rule* EFLM yang sudah ada di dalam *environment* Teensy 3.2 menggunakan file hex *fis\_header.h* bersumber dari <http://makeproto.com/> seperti di bawah ini.

```
#define FIS_TYPE float
#define FIS_RESOLUTION 101
#define FIS_MIN -3.4028235E+38
#define FIS_MAX 3.4028235E+38
typedef FIS_TYPE(*_FIS_MF)(FIS_TYPE, FIS_TYPE*);
typedef FIS_TYPE(*_FIS_ARR_OP)(FIS_TYPE,
FIS_TYPE);
```

```
typedef FIS_TYPE(*_FIS_ARR)(FIS_TYPE*, int,
_FIS_ARR_OP);
```

### 3.5 Rancangan Akhir Simulasi Perangkat Lunak Pada Software MATLAB®

Berdasarkan pemodelan sistem yang telah dilakukan sebelumnya, dirancang sistem pengendalian berbasis logika fuzzy sebagai MPPT *converter photovoltaic*. Simulasi sistem dilakukan MATLAB® dengan fitur Simulink. Setelah desain *synchronous buck converter* telah terancang, maka perancangan logika fuzzy dilakukan berdasarkan perbedaan *error* dari masukan tegangan dengan keluaran tegangan *converter* dan perbedaan perubahan *error*. Hasil dari kontrol logika fuzzy berupa nilai *duty cycle*.

#### 3.5.1 Pengujian MPPT Pada *Solar Charger Controller*

Pengujian sistem yang sudah terdesain dalam penelitian ini bertujuan untuk mencari grafik keluaran tegangan dan arus serta tegangan dan arus induktor beserta kapasitor *synchronous buck converter* dan *duty cycle* yang dikeluarkan oleh *controller*. Gambar 3.18 menunjukkan diagram blok *solar charger controller* dengan menggunakan *software MATLAB SIMULINK 2016*. Pada Gambar 3.18 terdapat tiga blok diagram utama yaitu *photovoltaic*, *synchronous buck converter* dan baterai. Gambar 3.18 dijabarkan bagaimana masukan dari sistem *solar charger controller* sampai dengan keluaran MPPT. Blok simulink berdasarkan persamaan matematis dari sistem *solar charger controller*. Paramater dan variabel yang telah ditentukan telah dimasukkan pada simulasi di simulink.



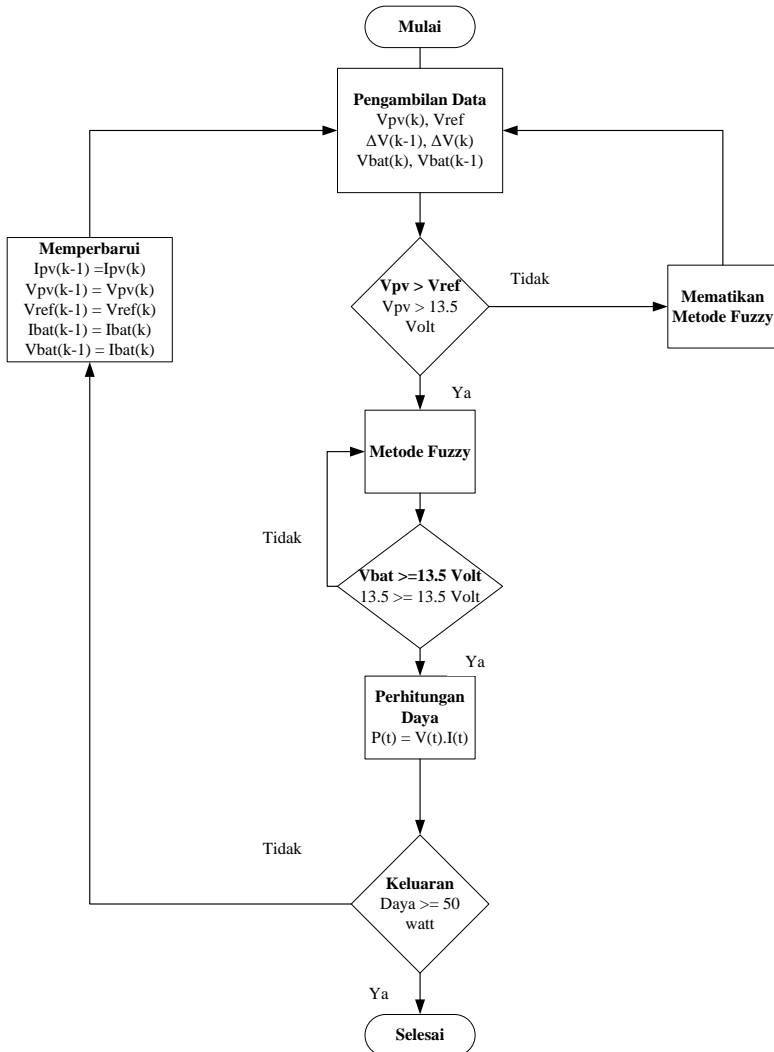




Dari komponen-komponen yang telah dijelaskan pada bab 2, maka rancangan rangkaian sistem MPPT pada *solar charger controller* dapat dilihat pada Gambar 3.19. Gambar 3.19 merupakan rangkaian akhir sistem MPPT dalam bentuk *schematic*. Pada rangkaian tersebut, dipasang empat buah sensor yaitu dua sensor tegangan *voltage divider* dan dua sensor arus ACS712 untuk membaca besar daya yang dihasilkan oleh modul *photovoltaic*. Sumber daya dari *photovoltaic* melewati sensor, kabel keluaran dari modul *photovoltaic* akan dihubungkan dengan pin tegangan Vin masukan *buck converter*. Daya yang dibaca oleh Teensy 3.2 akan diolah oleh logika fuzzy yang telah ditanamkan dalam Teensy 3.2. Keluaran logika fuzzy yang berupa pulsa PWM digunakan untuk melakukan trigger pada driver MOSFET IRF3710 yang terdapat di dalam *converter*. Pulsa PWM tersebut berfungsi untuk mengatur tegangan keluaran pada pin Vout *converter*. Keluaran dari *converter* akan dihubungkan langsung menuju baterai yang diteruskan menuju beban.

### 3.7 Algoritma Sistem

Penerapan akhir untuk algoritma sistem mengutamakan dari keamanan sistem. Beban daya instrumen di suplai dari *photovoltaic* langsung. Pada proses pengisian baterai dengan kondisi *bulk* dan *absorption* yaitu tegangan baterai  $\geq 13.5$  Volt, maka algoritma MPPT akan terus dijalankan. Kondisi algoritma MPPT dihentikan ketika tegangan *photovoltaic* kurang dari tegangan baterai. Algoritma MPPT seperti yang sudah dijelaskan pada sub-bab 3.41 menggunakan CVM berdasarkan perubahan *duty cycle* dari logika fuzzy. Batas aman dalam pengisian standar baterai dengan tegangan konstan adalah  $\pm 15\%$  dari kapasitas tertulis baterai (PANASONIC, 2005), tetapi desain *converter* yang digunakan hanya sampai 5 – 6 A. Diagram alir dari sistem dapat dilihat pada Gambar 3.20.



Gambar 3.20 Diagram alir algoritma sistem

### 3.8 Peninjauan Beban Pada *Buoy Weather Station*

Pada sub bab ini dijelaskan tentang perhitungan beban yang harus ditanggung oleh satu sistem *buoy weather* agar dapat bekerja

secara optimal. *Buoy weather station* merupakan suatu instrumen yang berperan dalam *monitoring* besaran-besaran cuaca seperti kecepatan angin, arah angin, tekanan udara dan lain-lain.

Komponen catu daya di *buoy* dibutuhkan untuk mensuplai komponen instrumen disaat malam hari ketika cahaya matahari tidak memproduksi energi untuk dikonversi *photovoltaic*. Untuk melihat beban elektrik yang dibutuhkan dapat di lihat pada Tabel 3.7.

**Tabel 3.7** Beban elektrik komponen instrumen

Komponen	Tegangan Kerja (Volt)	Arus Kerja (Ampere)	Daya (Watt)
<i>Microcontroller</i> ARM Cortex M4	3.3	1	3.3
2 Sensor Arus ACS712	3.3	0.2	0.66
SHT75	3.3	0.1	0.33
LCD	5	0.5	2.5
Rotary	5	1	10
Sensor Tegangan	0	0	0
<i>Microcontroller</i> Arduino Uno (ATMEGA 328)	5	1	5
<i>Microcontroller</i> Arduino Mega	5	1	5

Pada Tabel 3.7 dijelaskan bagaimana komponen instrumen membutuhkan daya yang besar.

Arus Kerja	: 4.8 Ampere
Tegangan	: 5 Volt
Daya	: 24 Watt
Waktu Pemakaian	: 24 hour
Energi	: Daya x Waktu Pemakaian

Total Energi : 576 Wh/hari

Dari perhitungan daya pada Tabel 3.7, dapat diketahui bahwa dalam satu hari penuh, sistem *buoy weather* membutuhkan energi sebesar 576 Wh untuk waktu pemakaian selama 24 jam penuh. Hal ini disebabkan karena sistem tersebut harus beroperasi satu hari selama 24 jam untuk mengambil data cuaca yang berada di sekitar *buoy weather*.



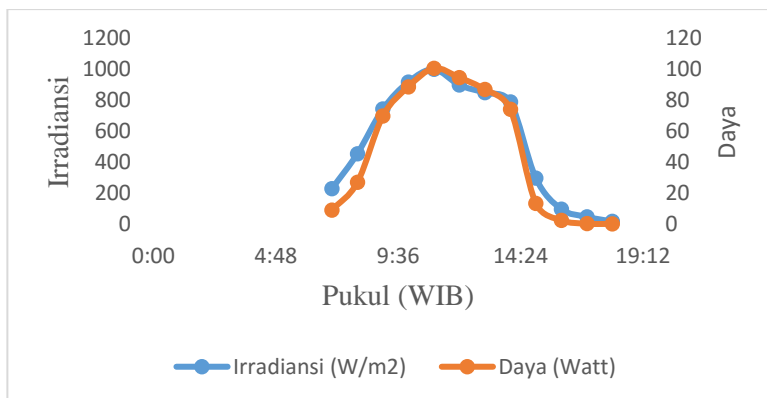
## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

### 4.1. *Irradiansi* dan Lama Penyinaran Matahari di Surabaya

Data *irradiansi* atau intensitas radiasi matahari di Teknik Fisika didapatkan dari data pengambilan langsung pada tanggal 30-06-2016 dengan rentang waktu pukul 07:00 – 18:00 WIB. Untuk data lama penyinaran matahari diambil rentang data dari BMKG Surabaya Perak pada tanggal 01-05-2016 sampai 31-05-2016 dan pada pukul 08:00 – 16:00 WIB.

**Tabel 4.1** Nilai *irradiansi* dan daya

Pukul (WIB)	<i>Irradiansi</i> (W/m <sup>2</sup> )	Arus (Ampere)	Tegangan (Voltage)	Daya (Watt)
7:00	231	0.64	14.6	9.34
8:00	457	1.32	20.6	27.19
9:00	744	2.07	33.8	69.96
10:00	919	2.56	34.7	88.83
11:00	1001	2.92	34.5	100.74
12:00	900	2.74	34.6	94.8
13:00	850	2.57	33.9	87.12
14:00	790	2.2	33.8	74.36
15:00	300	0.8	17.1	23.42
16:00	100	0.25	11.1	4.68
17:00	50	0.1	5.9	7.44
18:00	20	0.1	4.2	6.39



**Gambar 4.1** Grafik *irradiansi* dan daya terhadap waktu

Dari hasil data langsung, **Error! Reference source not found.** dapat menunjukkan bahwa *irradiansi* matahari di Teknik Fisika mengalami puncak pada pukul 11 siang dengan *irradiansi* sebesar 1001 W/m<sup>2</sup>. Pengukuran daya untuk **Error! Reference source not found.** menggunakan perkalian tegangan *open circuit* dengan arus *short circuit* yang diambil bersamaan saat pengukuran *irradiansi*. Grafik 4.1 menggambarkan *irradiansi* dan daya terhadap waktu bahwa *irradiansi* dan daya keluaran panel memiliki karakteristik yang nonlinear, dilihat dari nilai *irradiansi* dan daya panel yang semakin meningkat mulai pukul 7 hingga pukul 11 siang dan akan menurun setelah tengah hari. Secara teori, pengaruh *irradiansi* akan terlihat pada besar arus keluaran panel dimana arus akan semakin besar saat *irradiansi* semakin besar. Sebaliknya, arus keluaran panel akan semakin menurun saat *irradiansi* matahari semakin turun. Pengaruh *irradiansi* tersebut dapat dilihat lebih jelas pada **Error! Reference source not found.**

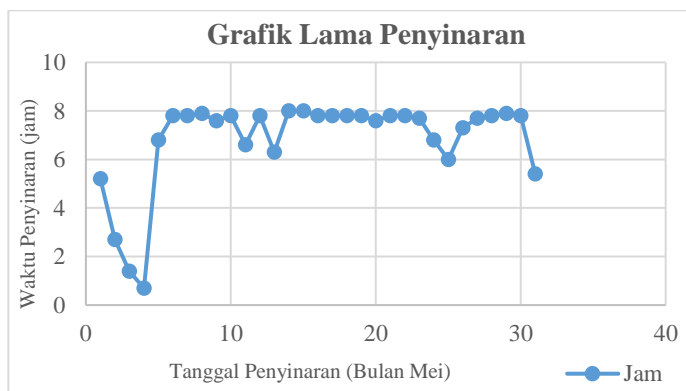
**Tabel 4.2** Tabel lama Penyinaran Matahari

Tgl	Mei	
	Jam	%
1	5.2	65



Tgl	Mei	
	Jam	%
2	2.7	34
3	1.4	18
4	0.7	9
5	6.8	85
6	7.8	98
7	7.8	98
8	7.9	99
9	7.6	95

\*untuk tabel lengkapnya dapat dilihat pada lampiran



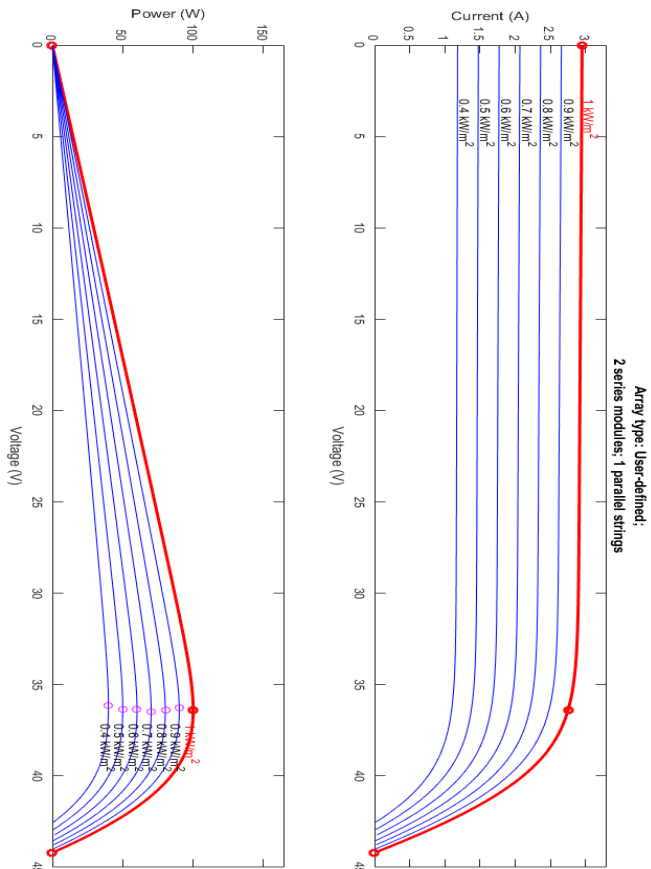
**Gambar 4.2** Grafik lama penyinaran matahari

Data pada **Error! Reference source not found.** dan **Error! Reference source not found.** berasal dari data sekunder yang diambil diperoleh dari data BMKG Perak Surabaya. Dari **Error! Reference source not found.**, lama penyinaran matahari di Kota Surabaya lebih sering mencapai maksimal. Untuk lebih jelasnya data bisa dilihat pada **Error! Reference source not found.**

Data tentang *irradiansi* dan lama penyinaran matahari digunakan sebagai acuan berapa lama *photovoltaic* bisa bekerja dan menjadi sumber bagi baterai saat posisi *charging*.

## 4.2. Permodelan Simulink *Photovoltaic*

Menggunakan permodelan matematis dari persamaan (2.1) dan (2.2) yang dimodelkan di simulink yang ditunjukkan pada lampiran b1, dengan perubahan *irradiansi* yang berubah dari 1000 W/m<sup>2</sup>, 900 W/m<sup>2</sup>, 800 W/m<sup>2</sup>, 700 W/m<sup>2</sup>, 600 W/m<sup>2</sup>, 500 W/m<sup>2</sup> dan 400 W/m<sup>2</sup>.



**Gambar 4.3** Grafik perubahan daya *photovoltaic* dengan perbedaan nilai *irradiansi*

Pada **Error! Reference source not found.** perubahan intensitas matahari menurun dari nilai  $1000 \text{ W/m}^2$ ,  $900 \text{ W/m}^2$ ,  $800 \text{ W/m}^2$ ,  $700 \text{ W/m}^2$ ,  $600 \text{ W/m}^2$ ,  $500 \text{ W/m}^2$  dan  $400 \text{ W/m}^2$  dengan nilai temperatur  $273^{\circ}\text{K}$ . Setiap penurunan intensitas matahari, maka akan terjadi penurunan besaran arus pada keluaran photovoltaic dan tegangan yang ditunjukkan pada kurva I-V. Selain mengalami penurunan keluaran besaran arus, terjadi penurunan daya dan tegangan yang ditunjukkan pada kurva P-V. Daerah kerja maksimum dari modul photovoltaic berada pada perpotongan pada kurva V-I dengan kurva P-V. Pada daerah tersebut, modul photovoltaic dapat menghasilkan tegangan dan arus keluaran maksimum sehingga daya maksimum dapat dihasilkan pula.

**Error! Reference source not found.** menjelaskan bagaimana keluaran daya dari modul *photovoltaic* yang telah terpilih secara simulasi. Modul *photovoltaic* bisa mengeluarkan keluaran maksimumnya pada *irradiansi*  $1000 \text{ W/m}^2$  dengan temperatur  $273^{\circ}\text{K}$ . Kebutuhan daya yang diperlukan untuk kebutuhan instrumen pada *prototype buoy weather type II* bisa terpenuhi jika pada kondisi *irradiansi* dengan nilai  $1000 \text{ W/m}^2$  dan temperatur  $273^{\circ}\text{K}$ . Keluaran modul *photovoltaic* yang mencapai 100 watt dan kebutuhan *buoy* yang hanya mencapai nilai 24 watt, maka jika kondisi siang hari dan pada saat intensitas tertinggi, instrumen yang terdapat pada *prototype buoy weather type II* dapat berjalan dengan baik.

Perubahan *irradiansi* sangat berpengaruh pada keluaran daya dari *photovoltaic*, hal tersebut dapat dilihat pada **Error! Reference source not found.** yang merupakan hasil simulasi dan **Error! Reference source not found.** yang merupakan data pengukuran langsung dari modul *photovoltaic* terpilih. Hasil simulasi dan pengukuran langsung tidak bisa sama dikarenakan ada beberapa factor yang mempengaruhi pengurangan tegangan dari modul *photovoltaic* saat dilakukan pengukuran. Faktro yang pertama yaitu permasalahan tentang panjang kabel, diameter kabel, bahan kabel dan medan elektromagnet yang dikeluarkan dari perlatan instrumen *prototype buoy weather type II*.

### 4.3. Pengujian Sensor

Pengujian sensor dilakukan untuk mengetahui data pengukuran sebagai masukan logika fuzzy dan pengaman bagi rangkaian.

#### 4.3.1 Pengujian Sensor Arus

Sensor arus digunakan untuk membaca arus keluaran dengan melihat tegangan keluaran sensor yang proporsional dengan arus yang dibaca. Pengujian dilakukan dengan menggunakan regulator DC untuk melakukan variasi arus yang dikeluarkan melewati sensor. Data hasil pengujian sensor arus ditunjukkan pada **Error! Reference source not found.**

**Tabel 4.3** Hasil pengujian sensor arus

No	Arus (Amp)	V out (Volt)
1	0	0
2	0.1	0.064
3	0.2	0.128
4	0.3	0.192
5	0.4	0.256
6	0.5	0.32
7	0.6	0.384
8	0.7	0.448
9	0.8	0.512
10	0.9	0.576

\*untuk tabel lengkapnya dapat dilihat pada lampiran

Berdasarkan data hasil pengujian diatas sensor arus yang digunakan dapat bekerja sesuai dengan prinsip kerja sensor, dimana tegangan keluaran pembacaan ADC sensor dikalikan terhadap arus yang mengalir. Modul *photovoltaic* memiliki spesifikasi arus maksimum sebesar 2.95 Ampere, hasil pengujian sensor arus menunjukkan bahwa sensor dapat digunakan untuk

modul *photovoltaic* tapi tidak bisa untuk mengukur arus yang lebih dari 5.2 A.

#### 4.3.2 Pengujian Sensor Tegangan

Sensor tegangan digunakan untuk membaca tegangan keluaran dari modul *photovoltaic*. Sensor yang digunakan terdiri dari dua buah resistor yang disusun secara seri dan dihubungkan dengan kutub positif dan kutub negatif *photovoltaic*. Sensor ini dirancang agar memiliki keluaran dengan range 0-3.3 Volt sehingga dapat menjadi masukan dari Teensy 3.2.

Sensor tegangan mempunyai karakteristik linier dimana tegangan keluaran sensor akan proporsional dengan tegangan masukan. Pengujian dilakukan dengan menggunakan regulator DC 24 Volt. Tegangan regulator yang menjadi masukan ( $V_{in}$ ) sensor diubah-ubah sehingga tegangan keluaran ( $V_{out}$ ) *voltage divider* dapat terlihat. Hasil pengujian sensor tegangan ditunjukkan pada **Error! Reference source not found.** ini:

**Tabel 4.4** Hasil pengujian sensor tegangan

No	$V_{in}$ (Volt)	$V_{out}$ (Volt)
1	2	0.19
2	4	0.36
3	6	0.53
4	8	0.71
5	10	0.87
6	12	1.04
7	14	1.22
8	16	1.39
9	18	1.57
10	20	1.73

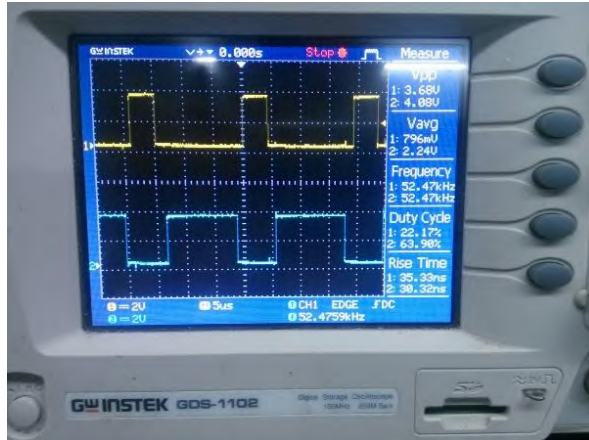
\*untuk tabel lengkapnya dapat dilihat pada lampiran

#### 4.4. Pengujian pulsa PWM dan Driver

Untuk melakukan pengujian pada pulsa PWM maka dibutuhkan komponen osiloskop dan Teensy 3.2 sebagai

pembangkit pulsa PWM. Dilihat dari grafik keluaran osiloskop besaran frekuensi, *duty cycle* dan tegangan puncak dari sinyal yang dibangkitkan.

Sistem *Synchronous Buck Converter* yang digunakan di rancangan untuk digunakan pada arus hingga 5A dengan tegangan input adalah 40.2 V menggunakan frekuensi switching untuk kedua MOSFET adalah 50KHz. Dengan menggunakan PWM komplementer, dihasilkan dua sinyal PWM dengan fasa yang berbeda  $180^\circ$  seperti ditunjukkan pada **Error! Reference source not found.** Sinyal keluaran *controller* dengan menggunakan PWM komplementer ditunjukkan pada **Error! Reference source not found.** yang diatur dengan *duty cycle* 22% dan frekuensi PWM adalah 50 KHz. Garis yang berwarna kuning menunjukkan sinyal PWM untuk MOSFET 1, sedangkan garis berwarna biru menunjukkan sinyal PWM untuk MOSFET 2. Saat MOSFET 1 bernilai 1, maka MOSFET 2 akan bernilai 0. Begitupun saat nilai MOSFET 1 bernilai 0 maka MOSFET 2 akan bernilai 1.

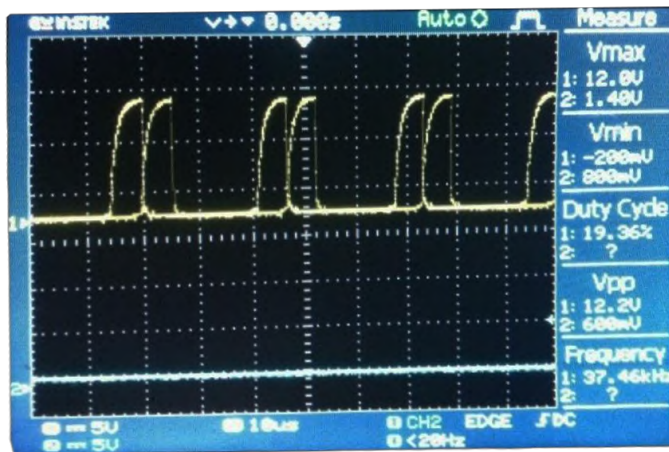


**Gambar 4.4** Tampilan Osiloskop Pulsa PWM 50 kHz

Untuk pengoperasian mendapatkan sinyal, osiloskop diatur dengan volt/div 5 Volt dan time/div sebesar 5µs. Artinya adalah tiap kotak ke atas bernilai 5 volt dan tiap kotak ke kanan bernilai 5 µs. Untuk satu bukit dan satu lembah, membutuhkan 5 kotak yang

berarti periode sinyal bernilai  $25 \mu\text{s}$ . Periode tersebut, dapat diperoleh nilai frekuensi sebesar  $50.000 \text{ Hz}$  ( $50\text{kHz}$ ).

Pengujian berikutnya adalah pulsa PWM frekuensi  $50 \text{ kHz}$ . Rangkaian yang digunakan adalah driver IR2110 yang dihubungkan dengan Teensy 3.2 dan osiloskop pada keluaran rangkaian pemisah dan pembangkit pulsa. Hasil pengujian dapat dilihat pada **Error! Reference source not found.**.



**Gambar 4.5** Hasil pengujian rangkaian driver IR2110

Hasil pengujian menunjukkan bahwa rangkaian berhasil membangkitkan pulsa PWM frekuensi  $50 \text{ kHz}$  dengan tegangan puncak  $12 \text{ Volt}$ . Pada puncak pulsa PWM tersebut, terdapat tegangan yang naik sehingga puncak pulsa tidak tepat pada  $12 \text{ Volt}$ . Hal ini dapat disebabkan oleh suplai tegangan yang kurang stabil dan rangkaian pemisah sinyal dan pembangkit tegangan yang kurang sempurna.

Pengujian *buck converter* berikutnya menggunakan beban berupa lampu DC sebesar maksimal  $30 \text{ Watt}$  dilakukan untuk mengetahui efisiensi dari *buck converter* yang dirancang dengan sumber tegangan masukan berasal dari *regulator DC power supply*

adalah 20 V. Hasilnya diperlihatkan dalam **Error! Reference source not found.**

**Tabel 4.5** Tabel Hasil Pengujian *Buck Converter*

Duty Cycle	I <sub>in</sub> (A)	V <sub>out</sub> (V)	I <sub>out</sub> (A)	Daya Masuk (W)	Daya Keluar (W)	Efisiensi (%)
0.1	1.19	11.84	2.17	23.8	20.95	88.02
0.2	1.17	12.11	1.91	23.4	21.43	91.58
0.3	1.23	12.41	2.15	24.6	22.58	91.78
0.4	1.07	12.82	2.11	21.4	15.51	72.47
0.5	1.43	13.11	2.18	28.6	27.26	95.31
0.6	1.22	13.47	2.26	24.4	23.7	97.13
0.7	1.28	13.8	2.28	25.6	22.63	88.39
0.8	1.33	14.2	2.24	26.6	25.84	97.14

#### 4.5. Pengujian Rangkaian Simulasi *Solar Charger Controller*

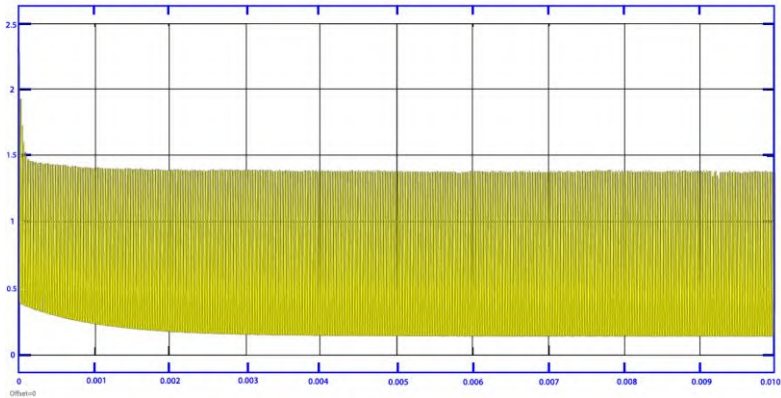
Pada uji simulasi ini, tujuannya untuk mencari grafik keluaran tegangan, arus dan grafik respon dari *synchronous buck converter*. Simulasi ini berjalan dengan memberikan nilai *irradiansi* yang berubah dari 1000 W/m<sup>2</sup> sampai 800 W/m<sup>2</sup> dengan acak.

##### 4.5.1 Keluaran Arus Induktor

Arus dari *photovoltaic* diperkuat setelah melewati rangkaian induktor. Arus yang melewati induktor secara perhitungan dengan persamaan (2.17) sampai persamaan (2.20) mempunyai nilai:

$$\begin{aligned}
 i_{\max} &= 8 \text{ A} \\
 i_{\min} &= 2.9 \text{ A} \\
 \Delta i_{L\max} &= 2.2 \text{ A} \\
 \Delta i_L &= 0.644 \text{ A}
 \end{aligned}$$





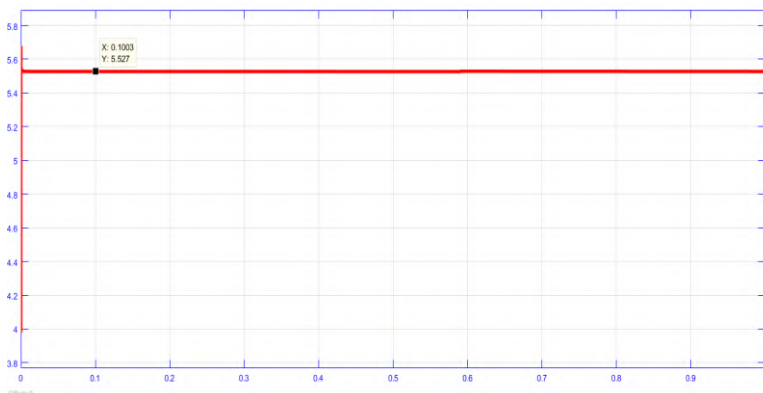
**Gambar 4.6** Arus *discharge* induktor simulasi

Simulasi untuk mendapatkan hasil keluaran arus induktor berlangsung selama 0.001 detik. Arus yang melewati induktor mempunyai nilai maksimum sebesar 2.4 A, arus rata rata 0.97 A, *ripple* maksimum 0.644 A.

Jika ditinjau dari perhitungan desain komponen, arus yang keluar masih belum mencapai maksimal, bahkan arus hasil simulasi tidak melebihi arus desain minimum. *Ripple* arus tidak lebih besar dari desain sebenarnya. Hasil simulasi dibuat ideal dengan meniadakan nilai dioda yang bisa menjadi faktor hambatan dalam komponen elektrik.

#### **4.5.2 Keluaran Arus Induktor dan Kapasitor**

Komponen induktor dan kapasitor merupakan komponen yang memanipulasi keluaran daya agar lebih efisien dari keluaran induktor.

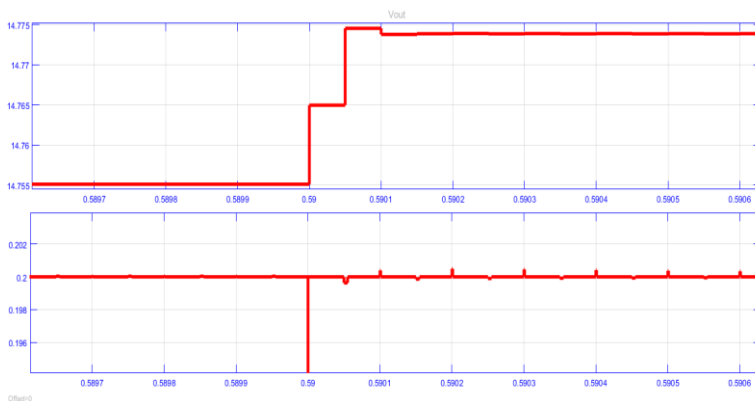


**Gambar 4.7** Arus *discharge* kapasitor simulasi

**Error! Reference source not found.** menunjukkan nilai arus sesungguhnya dengan nilai sumbu X = 0.1 detik dan arus 5.245 Ampere. **Error! Reference source not found.** menunjukkan keluaran dari *buck converter* dengan nilai *irradiansi* dan suhu yang acak.

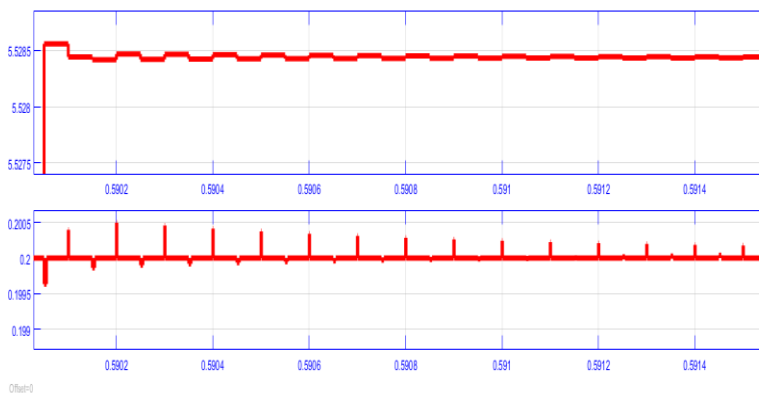
#### 4.5.3 Grafik Respon *Solar Charger Controller*

Respon dalam simulasi Simulink sudah mencakup perubahan *irradiansi* dan suhu secara fungsi ramp pada sumber *photovoltaic*, sudah memenuhi komponen yang di desain dengan hanya mengidealkan dioda, siklus beban dan baterai. Logika fuzzy sudah diterapkan dalam sistem *solar charger controller* ini untuk mendapatkan respon sistem yang sesuai.



**Gambar 4.8** Keluaran *discharge* tegangan dan *duty cycle*

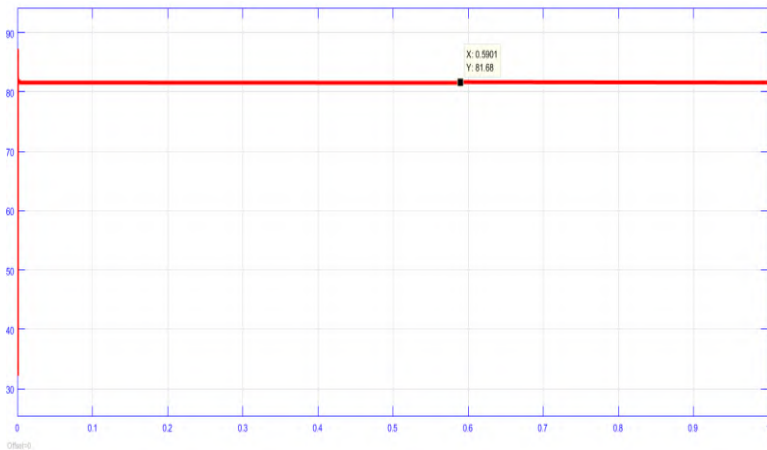
Hasil simulasi menunjukkan angka tegangan keluar sebesar 14.8 Volt. Ripple tegangan yang dihasilkan sangat kecil hanya mencapai 0.001 – 0.004 Volt. Untuk siklus arus sendiri bisa mencapai nilai 5.2 Ampere sesuai dengan pengaturan kapasitas SOC yang diatur pada simulasi. Hal ini menandakan *rule* fuzzy sudah mengikut sistem. Keluaran tegangan dengan *duty cycle* bisa ditunjukkan pada **Error! Reference source not found.** dan keluaran arus dengan *duty cycle* bisa ditunjukkan pada **Error! Reference source not found.**



**Gambar 4.9** *Duty cycle* logika fuzzy

Keluaran dari *duty cycle* hasil logika fuzzy terhadap *error* dan *delta error* berjalan dengan sesuai di sistem MPPT *Solar Charger Controller* ini. *Duty cycle* tidak lebih mencapai angka dari 0.4 yang merupakan angka nominal dari *duty cycle* sistem MPPT yang dirancang.

#### 4.5.4 Grafik Daya Keluaran



Gambar 4.10 Keluaran daya

**Error! Reference source not found.** menunjukkan keluaran daya dari simulasi dengan sumbu x sebagai waktu dan sumbu y sebagai daya. Simulasi dilakukan dengan memberikan nilai acak pada beban berupa baterai VRLA *rate C/20* rentang 1000 - 800 *irradiansi* dan suhu 25 -35°C. Hasil **Error! Reference source not found.** menunjukkan daya keluaran 81.68 Watt.

#### 4.6. Pengujian Rangkaian *Synchronous Buck Converter*

Pengujian rangkaian dilakukan dengan menguji *photovoltaic* tanpa rangkaian *converter*. Pengujian itu dinamakan *IC Regulated*. Setelah *IC Regulated* diuji selanjutnya dengan uji dengan beban menggunakan logika fuzzy, kemudian membandingkan data pengujian tanpa logika fuzzy dengan metode logika fuzzy untuk

bisa melihat berapa efisiensi yang terjadi di dalam rangkaian menuju baterai.

#### 4.6.1. Pengujian Sistem Tanpa MPPT

Pada pengujian sistem tanpa menggunakan MPPT dengan menggunakan IC LM7812 yang merupakan penurun tegangan ke 12 Volt, dilakukan untuk mengetahui daya keluaran panel *photovoltaic* jika langsung dihubungkan dan diregulasi tegangan pada beban. Beban yang digunakan adalah lampu 90 Watt. Pengujian data dilakukan pada tanggal 2 Juli 2016 pukul 13.00 – 14:00 WIB. Data hasil pengujian sistem tanpa MPPT dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

**Tabel 4.6** Data hasil pengujian IC *regulated* (Tanpa MPPT)

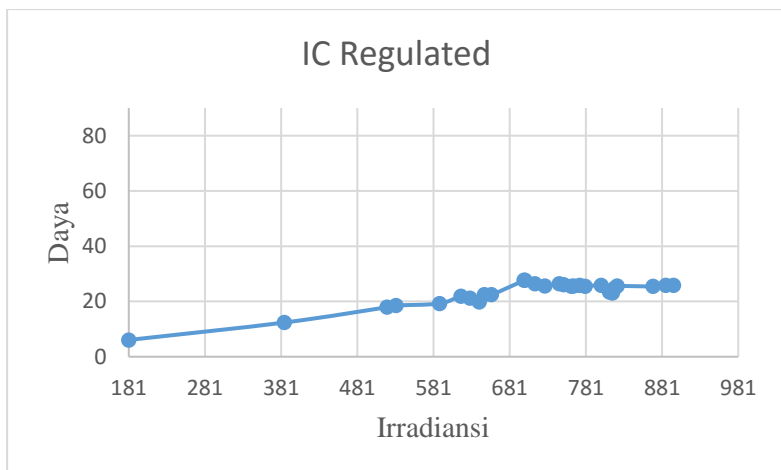
<b><i>Irradiansi</i></b> <b>(W/m<sup>2</sup>)</b>	<b><i>Vin</i></b> <b>(Volt)</b>	<b><i>Iin</i></b> <b>(Amp)</b>	<b><i>Vout</i></b> <b>(Volt)</b>	<b><i>Iout</i></b> <b>(Amp)</b>
181	12.42	0.5	12.12	0.5
385	17.26	1.02	12.12	1.02
520	27.06	1.5	12.11	1.48
532	27.15	1.55	12.12	1.53
589	27.29	1.59	12.1	1.59
617	30.63	1.85	12.12	1.81
629	30.88	1.81	12.11	1.75
641	28.81	1.66	12.12	1.63
648	31.48	1.91	12.12	1.85
657	31.47	1.92	12.12	1.85
700	32.22	2.38	12.12	2.28
701	32.22	2.38	12.12	2.28
714	32.33	2.2	12.1	2.18
727	32.82	2.14	12.11	2.11
746	32.88	2.2	12.11	2.18
752	32.82	2.2	12.11	2.15
762	33.8	2.22	12.11	2.1

<b><i>Irradiansi</i></b> <b>(W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Vin</b> <b>(Volt)</b>	<b>Iin</b> <b>(Amp)</b>	<b>Vout</b> <b>(Volt)</b>	<b>Iout</b> <b>(Amp)</b>
765	33.41	2.25	12.11	2.11
773	33.9	2.27	12.12	2.13
780	33.59	2.3	12.12	2.1
801	33.99	2.36	12.12	2.36
812	34.11	2.05	12.12	2.05
816	34.11	2.4	12.1	2.4
817	34.12	2.4	12.2	2.4
819	34.12	2.4	12.1	2.4
822	34.18	2.42	12.12	2.42
869	35.08	2.54	12.12	2.54
886	35.14	2.61	12.12	2.61
896	35.2	2.64	12.1	2.64

**Tabel 4.7** Data hasil pengujian IC *regulated* (Tanpa MPPT)

<b><i>Irradiansi</i></b> <b>(W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Pin</b> <b>(Watt)</b>	<b>Pout</b> <b>(Watt)</b>	<b>Efisiensi</b> <b>(%)</b>
181	6.21	6.06	6.73
385	17.60	12.36	13.73
520	40.59	17.92	19.91
532	42.08	18.54	20.60
589	43.39	19.23	21.37
617	56.66	21.93	24.37
629	55.89	21.19	23.54
641	47.82	19.75	21.95
648	60.12	22.42	24.91
657	60.42	22.42	24.91
700	76.68	27.63	30.70
701	76.68	27.63	30.70

<b><i>Irradiansi</i></b> <b>(W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Pin</b> <b>(Watt)</b>	<b>Pout</b> <b>(Watt)</b>	<b>Efisiensi</b> <b>(%)</b>
714	71.12	26.37	29.30
752	72.20	25.55	28.39
762	75.03	25.43	28.25
765	75.17	25.55	28.39
773	76.95	25.81	28.68
780	77.257	25.45	28.28
801	80.21	25.81	28.68
812	69.92	23.39	25.99
816	81.86	22.99	25.54
817	81.88	24.4	27.11
819	81.88	24.80	27.56
822	82.71	25.57	28.41
869	89.10	25.45	28.28
886	91.71	25.81	28.68
896	92.92	25.77	28.63



**Gambar 4.11** Grafik daya keluaran IC regulator terhadap keluaran beban

Menurut data pada **Error! Reference source not found.** dan **Error! Reference source not found.**, variasi *irradiansi* yang diberikan pada panel *photovoltaic* akan berakibat pada tegangan dan arus keluarannya. Keluaran dari *photovoltaic* tidak selalu memiliki potensi daya maksimal jika dihubungkan dengan beban dari perubahan variasi *irradiansi*. Keluaran tegangan *photovoltaic* yang telah teregulasi terhadap variasi *irradiansi* jika dihubungkan dengan beban akan mengalami *losses* daya yang sangat besar. *Loses* daya terjadi karena faktor diameter kabel, panjang kabel, *internal resistance* dan temperatur IC. Efisiensi daya yang dihasilkan terhadap beban dengan menggunakan metode IC *regulated* hanya mencapai maksimal 30.70% dan minimal 6.73%. Jarak nilai efisiensi daya yang begitu besar menjadi salah satu alasan mengapa membutuhkan algoritma MPPT dengan kontrol logika fuzzy.

#### 4.6.2. Pengujian Sistem Dengan MPPT

Pengujian sistem dengan MPPT menggunakan *synchronous buck converter* yang dilakukan dengan pengujian langsung di waktu dan tempat yang sama seperti pengujian tanpa MPPT. Variasi yang digunakan berupa variasi *irradiansi*. Pengujian ini untuk membuktikan bagaimana logika fuzzy bisa merubah tegangan dan arus yang diinginkan mencapai potensi daya maksimum dari kebutuhan beban.

**Tabel 4.8** Hasil pengujian sistem MPPT menggunakan Logika Fuzzy terhadap keluaran beban

<i>Irradiansi</i> (W/m <sup>2</sup> )	V <sub>in</sub> (Volt)	I <sub>in</sub> (Amp)	V <sub>out</sub> (Volt)	I <sub>out</sub> (Amp)	Duty Cycle (%)
181	12.42	0.5	0	0	0
385	17.26	1.02	13.5	5.82	44
520	27.06	1.5	13.5	5.76	33
532	27.15	1.55	13.5	5.76	33
589	27.29	1.59	13.5	5.76	33
629	30.88	1.81	13.5	5.76	31

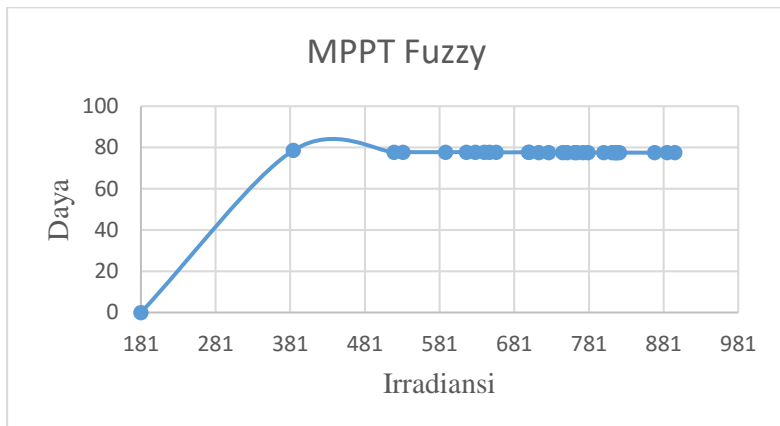


641	28.81	1.66	13.5	5.75	30
<i>Irradiansi</i> (W/m <sup>2</sup> )	<i>Vin</i> (Volt)	<i>Iin</i> (Amp)	<i>Vout</i> (Volt)	<i>Iout</i> (Amp)	<i>Duty</i> <i>Cycle</i> (%)
648	31.48	1.91	13.5	5.75	32
657	31.47	1.92	13.5	5.75	30
701	32.02	2.06	13.5	5.75	29
714	32.33	2.2	13.51	5.74	29
727	32.82	2.14	13.51	5.74	29
746	32.88	2.2	13.51	5.74	29
752	32.82	2.2	13.51	5.74	28
762	33.8	2.22	13.51	5.74	29
765	33.41	2.25	13.51	5.74	28
773	33.9	2.27	13.51	5.74	29
780	33.59	2.3	13.51	5.74	28
801	33.99	2.36	13.51	5.74	28
812	34.11	2.05	13.51	5.74	28
816	34.11	2.4	13.51	5.74	28
817	34.12	2.4	13.51	5.74	28
822	34.18	2.42	13.51	5.74	28
869	35.08	2.54	13.51	5.74	27
886	35.14	2.61	13.52	5.73	27

**Tabel 4.9** Hasil pengujian sistem MPPT menggunakan logika fuzzy

<i>Irradiansi</i> (W/m <sup>2</sup> )	<i>Pin</i> (Watt)	<i>Pout</i> (Watt)	<i>Efisiensi</i> (%)
181	6.21	0	0
385	17.60	78.57	87.3
520	40.59	77.76	86.4
532	42.08	77.76	86.4
589	43.39	77.76	86.4
617	56.66	77.76	86.4
629	55.89	77.62	86.25
641	47.82	77.62	86.25

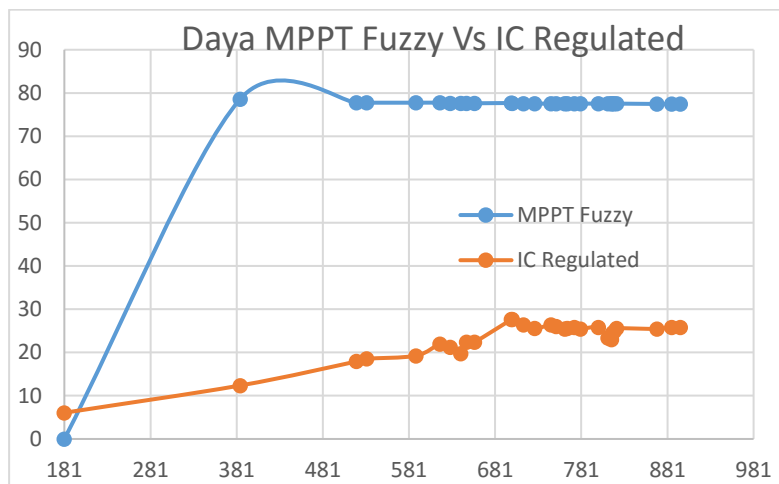
<i>Irradiansi</i> (W/m <sup>2</sup> )	<i>Pin</i> (Watt)	<i>Pout</i> (Watt)	<i>Efisiensi</i> (%)
648	60.12	77.62	86.25
657	60.42	77.62	86.25
714	71.12	77.68	86.31
727	70.23	77.62	86.25
746	72.33	77.54	86.16
752	72.20	77.54	86.16
762	75.03	77.54	86.16
765	75.17	77.54	86.16
773	76.95	77.54	86.16
801	80.21	77.54	86.16
812	69.92	77.54	86.16
816	81.86	77.54	86.16
817	81.88	77.54	86.16
819	81.88	77.54	86.16
822	82.71	77.54	86.16
869	89.10	77.54	86.16
886	91.71	77.54	86.16
896	92.92	77.54	86.16



**Gambar 4.12** Grafik daya keluaran panel menggunakan

### MPPT – Fuzzy terhadap keluaran beban

**Error! Reference source not found.** dan **Error! Reference source not found.** menunjukkan data *synchronous buck converter* dapat memaksimalkan daya yang masuk dari *photovoltaic* dengan berbagai variasi *irradiansi*. Pada tabel terdapat daya mencapai 0 dikarenakan, tegangan dari *photovoltaic* tidak dapat menggerakkan *switch driver* yang mengakibatkan MOSFET tidak dapat bekerja. *Switch driver* dapat bekerja ketika diberi tegangan minimal 15 volt. Dari tabel dapat dilihat perubahan maksimal dari *duty cycle* yaitu 44% dengan mengubah nilai 17.26 volt menjadi 13.5 volt. Sistem MPPT di penelitian ini mendesain arus dengan nilai maksimal yaitu 5.82. Perubahan arus yang terjadi diakibatkan fungsi dari kapasitor dan induktor untuk menyimpan, menyerap dan mengkosongkan tegangan yang membawa arus sementara. Fungsi penyerapan dan mengkosongkan tegangan dan arus merupakan fungsi dari *duty cycle*. Nilai daya yang dihasilkan mencapai 78.57 Watt dan efisiensi 87.3% secara stabil. Pada **Error! Reference source not found.** dapat dilihat perubahan respon sistem yang stabil dengan perubahan nilai *irradiansi* yang berbeda beda.



**Gambar 4.13** Perbandingan daya keluaran panel surya dengan MPPT & IC *Regulated* terhadap keluaran beban

Dari **Error! Reference source not found.**, dapat terlihat secara jelas perbedaan hasil daya keluaran antara kedua percobaan. Daya keluaran dari sistem yang menggunakan algoritma MPPT dilengkapi logika fuzzy dapat menghasilkan daya maksimum pada variasi *irradiansi* yang terukur, dengan terjadi perlonjakan grafik di posisi *irradiansi* paling rendah, yang menyebabkan perubahan *duty cycle* menjadi lebih besar dan lebih banyak membawa muatan. Terjadi beberapa keluaran daya maksimum pada **Error! Reference source not found.**, hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor antara lain, disipasi daya saat *synchronous buck converter* bekerja, induktor *converter* yang kurang baik dan rangkaian sensor yang masih dapat dikatakan sederhana sehingga pembacaan ADC pada Teensy 3.2 masih belum dapat menghasilkan efisiensi yang tinggi.

Untuk mengukur perubahan variabel kontrol berupa *duty cycle* dari *solar charger controller* dengan algoritma MPPT Fuzzy yang diterapkan, maka nilai efisiensi merupakan hal yang penting untuk dibahas. Efisiensi sistem dapat dihitung dari perbandingan daya keluaran *converter* dengan daya beban yang bersumber *photovoltaic*. Perhitungan efisiensi dilakukan pada tiap *irradiansi* yang diberikan kepada sistem secara keseluruhan. **Error! Reference source not found.** merupakan efisiensi sistem untuk tiap variasi *irradiansi*.

**Error! Reference source not found.** menjelaskan bahwa sistem mampu menghasilkan efisiensi dalam rentang nilai 86.16% hingga 87.3%. Efisiensi tertinggi tercapai pada saat *irradiansi* paling rendah dimana tegangan keluar PV sudah bisa mendrive, dengan nilai pengukuran beda potensial diatas 15 Volt. Rata-rata keluaran daya *synchronous buck converter* adalah sebesar 74.94 Watt. Keluaran daya dari *buck converter* lebih kecil dari hasil simulasi disebabkan oleh beberapa factor, yaitu salah satunya jenis komponen yang digunakan, kerapihan *wiring* dan *internal resistance* dari *Print Circuit Board* . Efisiensi sistem dengan rata-

rata 83.27% ini dikatakan sudah baik karena berhasil mencapai rentang tegangan yang diinginkan yaitu 13.5 Volt dengan kontrol fuzzy dan meningkatkan nilai arus secara pasif dengan komponen sebesar 5.82 Ampere.

Fungsi dari *solar charger controller* selain mengetahui efisiensi dari algoritma MPPT yang telah dirancang yaitu, untuk menjadi pengaman *supply* daya ke instrumen *buoy weather*, dapat ditinjau dari nilai tegangan yang tidak melebihi rentang nilai yang ditentukan. Perbandingan antara keluaran daya dari *photovoltaic* secara langsung dan dengan melewati *converter* sangat signifikan. Data peningkatan daya keluaran panel dapat dilihat pada **Error! Reference source not found.**

**Tabel 4.10** Tabel Peningkatan Daya Keluaran Panel  
*Photovoltaic*

<i>Irradiansi</i> (W/m <sup>2</sup> )	Daya Non MPPT (Watt)	Daya MPPT (Watt)	Kenaikan Daya (%)
181	6.06	0	0
385	12.36	78.57	535.67
520	17.92	77.76	333.92
532	18.54	77.76	319.41
589	19.23	77.76	304.36
617	21.93	77.76	254.58
629	21.19	77.62	266.30
641	19.75	77.62	293.01
648	22.42	77.62	246.20
657	22.42	77.62	246.20
714	27.63	77.68	181.14
727	27.63	77.62	180.92
746	26.37	77.54	194.04
752	25.55	77.54	203.48
762	26.39	77.54	193.82
765	26.03	77.54	197.88
773	25.43	77.54	204.91
801	25.55	77.54	203.48

812	25.81	77.54	200.42
816	25.45	77.54	204.67
817	25.81	77.54	200.42
819	23.39	77.54	231.50
<i>Irradiansi</i> (W/m <sup>2</sup> )	Daya Tanpa MPPT (Watt)	Daya MPPT (Watt)	Kenaikan Daya (%)
822	22.99	77.54	237.27
869	25.57	77.54	203.24
886	25.45	77.46	204.36
896	25.81	77.46	200.11
657	25.77	77.46	200.58
	<b>Rata-Rata</b>	23.02	74.94
	<b>Selisih</b>		51.92 Watt
	<b>Peningkatan</b>		225.43 %

**Error! Reference source not found.** dapat menjelaskan bahwa daya rata-rata dari metode IC *regulated* adalah 23.02 watt. Daya rata-rata yang dapat dihasilkan oleh MPPT dengan logika fuzzy adalah 74.94 watt untuk tiap variasi *irradiansi*. Jika kedua metode dibandingkan, metode MPPT dengan logika fuzzy mampu memberi selisih daya rata-rata keluaran dari *photovoltaic* dengan IC *regulated* sebesar 51.92 watt untuk tiap variasi *irradiansi*. Kenaikan efisiensi dengan perumusan perubahan daya non MPPT dikurangi dengan perubahan daya MPPT dibagi dengan perubahan daya non MPPT, didapat nilai perubahan efisiensi sebesar 225.43%.

#### 4.7. Analisa Beban Terhadap Catu Daya *Photovoltaic*

Pada tabel sebelumnya, telah dijelaskan bahwa daya maksimum *photovoltaic* yang dapat dihasilkan dengan menggunakan MPPT, dengan perumusan kenaikan daya dalam persen adalah:

$$\text{Kenaikan daya (\%)} = \frac{\text{Daya MPPT} - \text{Non MPPT}}{\text{Non MPPT}} \times 100\%$$

daya meningkat dengan 225.43% adalah sebesar 51.92 watt. Diasumsikan bahwa lama penyinaran efektif terjadi selama 7 jam sehari, dengan tegangan masuk maksimal ke baterai 13.5, maka didapatkan daya maksimal dengan nilai arus 5.82 adalah 78.57 watt dengan energi 550Wh. Baterai yang digunakan pada sistem ini memiliki rate C/20 dengan kapasitas 100Ah 12 V yang artinya dapat di *charge* dengan kondisi keluaran *converter* mencapai 5 A dan memiliki energi sebesar 1200 Wh. Keadaan *discharge* kondisi spesifikasi baterai DOD 80% mempunyai energi 960Wh, pada pemakain 4.8A dan 5V dengan ketahanan baterai mencapai 14 jam tanpa *charging*, didapat total energi yang mengalami *discharge* dari baterai adalah  $24 \text{ Watt} \times 14 \text{ Jam} = 336 \text{ Wh}$ . Perbandingan dengan energi yang dibutuhkan oleh *buoy weather* sebesar 336 Wh, maka energi yang dihasilkan dari *solar charger controller* menggunakan algoritma MPPT Fuzzy sebesar 550 Wh sudah mampu untuk mencukupi kebutuhan energi listrik sistem dalam sehari. Karena kebutuhan baterai yang bisa dilewati tegangan *maximal converter* 13.5 V, maka nilai MPPT mencapai daya 78.57 Watt dan melebihi nilai maksimum efisiensi sampai rata-rata 225.43% dari perbandingan tanpa memakai algoritma MPPT. Nilai energi yang tersisa dari baterai selama satu hari pemakain dengan asumsi tidak ada variabel *irradiansi*, tersisa mencapai 480 Wh. Nilai tersebut masih dapat bertahan untuk 14 jam berikutnya jika tidak ada proses *charging*. Pengisian baterai dapat dilakukan sesuai dengan spesifikasi baterai yang terpasang yaitu, VRLA 100Ah, karena posisi *charging* mencapai 13.5 V dan 5.82 A dengan kebutuhan arus minimum pengisian  $100/20 = 5\text{A}$ .

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## LAMPIRAN A

**Tabel 4.2** Tabel lama Penyinaran Matahari

TGL		Mei		Juni		Juli		Agustus		September		Oktober		November		Desember		Januari		Februari		Maret		April	
		%	Jam	%	Jam	%	Jam	%	Jam	%	Jam	%	Jam	%	Jam	%	Jam	%	Jam	%	Jam	%	Jam	%	Jam
1	65	5.2	98	7.8	98	7.8	81	6.5	96	7.7	100	8.0	100	8.0	91	7.3	50	4.0	46	3.7	68	5.4	16	1.3	
2	34	2.7	60	4.8	74	5.9	94	7.5	99	7.9	98	7.8	100	8.0	86	6.9	65	5.2	44	3.5	23	1.8	91	7.3	
3	18	1.4	100	8.0	80	6.4	99	7.9	98	7.8	100	8.0	99	7.9	55	4.4	39	4.7	13	1.0	73	5.8	79	6.3	
4	9	0.7	98	7.8	96	7.7	96	7.7	98	7.8	100	8.0	95	7.6	86	6.9	35	2.8	84	6.7	73	5.8	98	7.8	
5	85	6.8	96	7.7	98	7.8	98	7.8	100	8.0	100	8.0	100	8.0	69	5.5	36	2.9	8	0.6	38	3.0	75	6.0	
6	98	7.8	89	7.1	98	7.8	58	4.6	100	8.0	100	8.0	78	6.2	23	1.8	100	8.0	90	7.2	55	4.4	63	5.0	
7	98	7.8	84	6.7	98	7.8	89	7.1	100	8.0	100	8.0	78	6.2	90	7.2	100	8.0	13	1.0	73	5.8	44	3.5	
8	99	7.9	65	5.2	95	7.6	86	6.9	100	8.0	99	7.9	83	6.6	66	5.3	96	7.7	48	3.8	100	8.0	79	6.3	
9	95	7.6	75	6.0	15	1.2	71	5.7	100	8.0	100	8.0	89	7.1	90	7.2	100	8.0	36	2.9	91	7.3	13	1.0	
10	98	7.8	85	6.8	75	6.0	91	7.3	100	8.0	100	8.0	86	6.9	70	5.6	78	6.2	9	0.7	73	5.8	35	2.8	
11	83	6.6	98	7.8	71	5.7	100	8.0	100	8.0	100	8.0	99	7.9	66	5.3	28	2.2	3	0.2	46	3.7	50	4.0	
12	98	7.8	98	7.8	86	6.9	83	6.6	100	8.0	99	7.9	99	7.9	64	5.1	76	6.1	0	0.0	100	8.0	24	1.9	
13	79	6.3	99	7.9	95	7.6	96	7.7	100	8.0	95	7.6	100	8.0	88	7.0	93	7.4	23	1.8	90	7.2	40	3.2	
14	100	8.0	98	7.8	100	8.0	86	6.9	100	8.0	100	8.0	96	7.7	0	0.0	98	7.8	96	7.7	61	4.9	55	4.4	
15	100	8.0	98	7.8	98	7.8	95	7.4	100	8.0	100	8.0	98	7.8	0	0.0	100	8.0	0	0.0	100	8.0	0	0.0	
16	98	7.8	96	7.7	99	7.9	95	7.4	100	8.0	100	8.0	100	8.0	20	1.6	100	8.0	66	5.3	70	5.6	31	2.5	
17	98	7.8	98	7.8	98	7.8	90	7.2	100	8.0	100	8.0	98	7.8	0	0.0	65	5.0	100	8.0	91	7.3	33	2.6	
18	98	7.8	98	7.8	98	7.8	98	7.8	100	8.0	100	8.0	98	7.8	4	0.3	80	6.4	100	8.0	45	3.6	60	4.8	
19	98	7.8	95	7.4	96	7.7	94	7.5	99	7.9	100	8.0	98	7.8	36	2.9	100	8.0	100	8.0	79	6.3	95	7.6	
20	95	7.6	95	7.6	96	7.7	98	7.8	100	8.0	100	8.0	96	7.7	95	7.6	40	3.2	70	5.6	68	5.4	100	8.0	
21	98	7.8	78	6.2	98	7.8	95	7.6	100	8.0	100	8.0	100	8.0	35	2.8	1	0.1	28	2.2	83	6.6	78	6.2	
22	98	7.8	96	7.7	98	7.8	98	7.8	100	8.0	100	8.0	100	8.0	89	7.1	54	4.3	61	4.9	73	5.8	26	2.1	
23	96	7.7	96	7.7	98	7.8	98	7.8	100	8.0	100	8.0	100	8.0	81	6.5	24	1.9	89	7.1	74	5.9	90	7.2	
24	85	6.8	96	7.7	98	7.8	99	7.9	100	8.0	100	8.0	71	5.7	59	4.7	0	0.0	96	7.7	60	4.8	71	5.7	
25	75	6.0	96	7.7	98	7.8	99	7.9	100	8.0	100	8.0	100	8.0	40	3.2	54	4.3	96	7.7	74	5.9	74	5.9	
26	91	7.3	70	5.6	98	7.8	99	7.9	100	8.0	100	8.0	95	7.6	86	6.9	14	1.1	90	7.2	79	6.3	8	0.6	
27	96	7.7	79	6.3	95	7.6	99	7.9	100	8.0	100	8.0	75	6.0	73	5.8	56	4.5	40	3.2	90	7.2	94	7.5	
28	98	7.8	95	7.6	98	7.8	96	7.7	96	7.7	100	8.0	51	4.1	65	5.2	90	7.2	83	6.6	96	7.7	78	6.2	
29	99	7.9	98	7.8	98	7.8	98	7.8	100	8.0	100	8.0	69	5.5	79	6.3	86	6.9	74	5.9	26	2.1	99	7.9	
30	98	7.8	96	7.7	91	7.3	98	7.8	100	8.0	100	8.0	100	8.0	80	99	7.9	55	4.4	-	-	36	4.5	96	7.7
31	68	5.4	-	-	98	7.8	96	7.7	-	-	95	7.6	-	-	79	6.3	16	1.3	-	-	43	3.4	-	-	

Catatan : Lama Penyinaran Matahari dalam sehari (jam 08.00-16.00) selama 8 jam

Surabaya, 1 Juni 2016  
An Kasi Observasi & Informasi

Prasetio Umar Firdianto  
NIP.199602272016011001

**Tabel 4.3** Hasil pengujian sensor arus

No	Arus (Amp)	V out (Volt)
1	0	0
2	0.1	0.06
3	0.2	0.12
4	0.3	0.19
5	0.4	0.25
6	0.5	0.3
7	0.6	0.38
8	0.7	0.44
9	0.8	0.51
10	0.9	0.57
11	1	0.64
12	1.1	0.70
13	1.2	0.76
14	1.3	0.83
15	1.4	0.89
16	1.5	0.96
17	1.6	1.02
18	1.7	1.08
19	1.8	1.15
20	1.9	1.21
21	2	1.28
22	2.1	1.34
23	2.2	1.40
24	2.3	1.47
25	2.4	1.5
26	2.5	1.6

---

<b>No</b>	<b>Arus (Amp)</b>	<b>V out (Volt)</b>
27	2.6	1.66
28	2.7	1.72
29	2.8	1.79
30	2.9	1.85
31	3	1.92
32	3.1	1.98
33	3.2	2.04
34	3.3	2.11
35	3.4	2.17
36	3.5	2.24
37	3.6	2.30
38	3.7	2.36
39	3.8	2.43
40	3.9	2.49
41	4	2.56
42	4.1	2.62
43	4.2	2.68
44	4.3	2.75
45	4.4	2.81
46	4.5	2.88
47	4.6	2.94
48	4.7	3.00
49	4.8	3.07
50	4.9	3.13
51	5	3.2
52	5.1	3.26
53	5.2	3.32

---

**Tabel 4.4** Hasil pengujian sensor tegangan

<b>No</b>	<b>Vin (Volt)</b>	<b>Vout (Volt)</b>
1	1	0.105
2	2	0.19
3	3	0.275
4	4	0.36
5	5	0.445
6	6	0.53
7	7	0.615
8	8	0.71
9	9	0.795
10	10	0.87
11	11	0.955
12	12	1.04
13	13	1.125
14	14	1.22
15	15	1.305
16	16	1.39
17	17	1.475
18	18	1.57
19	19	1.665
20	20	1.73
21	21	1.815
22	22	1.9
23	23	1.985
24	24	2.07
25	25	2.155
26	26	2.24
27	27	2.325

<b>No</b>	<b>Vin (Volt)</b>	<b>Vout (Volt)</b>
28	28	2.41
29	29	2.495
30	30	2.58
31	31	2.665
32	32	2.75
33	33	2.835
34	34	2.92
35	35	3.005
36	36	3.09



Block Parameters: Battery

Battery (mask) (parameterized link)

Implements a generic battery that model most popular battery types. Temperature effects can be specified for Lithium-Ion battery type.

Parameters Discharge

Type:  
Lead-Acid

Nominal voltage (V)  
12

Rated capacity (Ah)  
100

Initial state-of-charge (%)  
99

Battery response time (s)  
0.0001

OK Cancel Help Apply

## B.2 Parameter baterai *Simulink*

Block Parameters: Battery

Determined from the nominal parameters of the battery

Maximum capacity (Ah)  
100

Cut-off Voltage (V)  
13.5

Fully charged voltage (V)  
16

Nominal discharge current (A)  
5

Internal resistance (Ohms)  
0.0045

Capacity (Ah) at nominal voltage  
100

Exponential zone [Voltage (V), Capacity (Ah)]  
[13.5 5]

Display characteristics

Discharge current [i1, i2, i3,...] (A)  
[10 55 90 100]

OK Cancel Help Apply

B.3 Parameter baterai *Simulink*



## LAMPIRAN C

```
mppt_fix
```

```
#include "fis_header.h"
```

```
#define analogPin_buck          A2  //R1 = 1k & R2 = 3k  Vout  
12.5v ==> 3.125v
```

```
#define analogPin_buck_module  A11 //R1 = 5.5k & R2 = 25k  
Vout 18v ==> 3v
```

```
#define analogPin_pv           A0   //10k 1k 40v ==>  
3.636363636363636v
```

```
#define analogPin_arus         A1
```

```
#define opto_Pin               7
```

```
#define durasi_serial          500 //ms
```

```
const int fis_gcI = 2; //jumlah input fuzzy
```

```
const int fis_gcO = 1; //jumlah output fuzzy
```

```
const int fis_gcR = 25; //jumlah aturan fuzzy
```

```
FIS_TYPE g_fisInput[fis_gcI];
```

```
FIS_TYPE g_fisOutput[fis_gcO];
```

```
unsigned long rekam=0;
```

```
void setup()
```

```
{  
  Serial.begin(115200);  
  Serial1.begin(9600);
```

```
  analogReadResolution(12);  
  fuzzy_input_init();  
  init_FTM0();
```

```
}
```

```

void loop()
{
  FTMO_run();    //jalankan PWM
  aruspv_run();  //membaca arus PV
  arusbat_run(); //membaca arus baaterai
  pv_run();      //membaca tegangan PV

  //if (millis() - rekam > 10){          //set perhitungan
  fuzzy setiap 10ms
    fuzzy_input(analogPin_pv,          analogPin_buck_module);
  //function untuk input Fuzzy ==> hitung.ino
    g_fisOutput[0] = 0;
    fis_evaluate();                    //operasi fuzzy

    // Set output value: output1
    fuzzy_output( g_fisOutput[0]);     //function keluaran
  fuzzy ==> hitung.ino

    //rekam = millis();                 //reset counter
  //}

  serial_debug(); //kirim serial ==> serial_debug.ino
  indikator_run(); //jalankan indikator ==> indikator.ino
}

```

fuzzy

```
FIS_TYPE fis_trapmf(FIS_TYPE x, FIS_TYPE* p)
{
    FIS_TYPE a = p[0], b = p[1], c = p[2], d = p[3];
    FIS_TYPE t1 = ((x <= c) ? 1 : ((d < x) ? 0 : ((c != d) ? ((d - x) /
(d - c)) : 0)));
    FIS_TYPE t2 = ((b <= x) ? 1 : ((x < a) ? 0 : ((a != b) ? ((x - a) /
(b - a)) : 0)));
    return (FIS_TYPE) min(t1, t2);
}
```

```
// Triangular Member Function
FIS_TYPE fis_trimf(FIS_TYPE x, FIS_TYPE* p)
{
    FIS_TYPE a = p[0], b = p[1], c = p[2];
    FIS_TYPE t1 = (x - a) / (b - a);
    FIS_TYPE t2 = (c - x) / (c - b);
    if ((a == b) && (b == c)) return (FIS_TYPE) (x == a);
    if (a == b) return (FIS_TYPE) (t2*(b <= x)*(x <= c));
    if (b == c) return (FIS_TYPE) (t1*(a <= x)*(x <= b));
    t1 = min(t1, t2);
    return (FIS_TYPE) max(t1, 0);
}
```

```
FIS_TYPE fis_min(FIS_TYPE a, FIS_TYPE b)
{
    return min(a, b);
}
```

```
FIS_TYPE fis_max(FIS_TYPE a, FIS_TYPE b)
{
    return max(a, b);
}
```

```

FIS_TYPE  fis_array_operation(FIS_TYPE  *array, int  size,
_FIS_ARR_OP pfnOp)
{
    int i;
    FIS_TYPE ret = 0;

    if (size == 0) return ret;
    if (size == 1) return array[0];

    ret = array[0];
    for (i = 1; i < size; i++)
    {
        ret = (*pfnOp)(ret, array[i]);
    }

    return ret;
}

```

```

//*****
*****

```

```

// Data for Fuzzy Inference System

```

```

//*****
*****

```

```

// Pointers to the implementations of member functions

```

```

_FIS_MF fis_gMF[] =

```

```

{
    fis_trapmf, fis_trimf
};

```

```

// Count of member function for each Input

```

```

int fis_gIMFCount[] = { 5, 5 };

```

```

// Count of member function for each Output

```

```

int fis_gOMFCount[] = { 5 };

```

```

// Coefficients for the Input Member Functions
FIS_TYPE fis_gMFI0Coeff1[] = { -15, -15, -7.125, -4.125 };
FIS_TYPE fis_gMFI0Coeff2[] = { -7.5, -3.75, 0 };
FIS_TYPE fis_gMFI0Coeff3[] = { -3.75, 0, 3.75 };
FIS_TYPE fis_gMFI0Coeff4[] = { 0, 3.75, 7.5 };
FIS_TYPE fis_gMFI0Coeff5[] = { 3.75, 7.5, 15, 15 };
FIS_TYPE* fis_gMFI0Coeff[] = { fis_gMFI0Coeff1,
fis_gMFI0Coeff2, fis_gMFI0Coeff3, fis_gMFI0Coeff4,
fis_gMFI0Coeff5 };
FIS_TYPE fis_gMFI1Coeff1[] = { -1, -1, -0.6, -0.2 };
FIS_TYPE fis_gMFI1Coeff2[] = { -0.4, -0.2, 0 };
FIS_TYPE fis_gMFI1Coeff3[] = { -0.2, 0, 0.2 };
FIS_TYPE fis_gMFI1Coeff4[] = { 0, 0.2, 0.4 };
FIS_TYPE fis_gMFI1Coeff5[] = { 0.2, 0.6, 1, 1 };
FIS_TYPE* fis_gMFI1Coeff[] = { fis_gMFI1Coeff1,
fis_gMFI1Coeff2, fis_gMFI1Coeff3, fis_gMFI1Coeff4,
fis_gMFI1Coeff5 };
FIS_TYPE** fis_gMFI0Coeff[] = { fis_gMFI0Coeff,
fis_gMFI1Coeff };

```

```

// Coefficients for the Input Member Functions
FIS_TYPE fis_gMFO0Coeff1[] = { -0.8, -0.8, -0.4, -0.2 };
FIS_TYPE fis_gMFO0Coeff2[] = { -0.4, -0.2, 0 };
FIS_TYPE fis_gMFO0Coeff3[] = { -0.2, 0, 0.2 };
FIS_TYPE fis_gMFO0Coeff4[] = { 0, 0.2, 0.4 };
FIS_TYPE fis_gMFO0Coeff5[] = { 0.2, 0.4, 0.8, 0.8 };
FIS_TYPE* fis_gMFO0Coeff[] = { fis_gMFO0Coeff1,
fis_gMFO0Coeff2, fis_gMFO0Coeff3, fis_gMFO0Coeff4,
fis_gMFO0Coeff5 };
FIS_TYPE** fis_gMFO0Coeff[] = { fis_gMFO0Coeff };

```

```

// Input membership function set
int fis_gMFI0[] = { 0, 1, 1, 1, 0 };
int fis_gMFI1[] = { 0, 1, 1, 1, 0 };
int* fis_gMFI[] = { fis_gMFI0, fis_gMFI1 };

```

```

// Output membership function set
int fis_gMFO0[] = { 0, 1, 1, 1, 0 };
int* fis_gMFO[] = { fis_gMFO0};

// Rule Weights
FIS_TYPE fis_gRWeight[] = { 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1 };

// Rule Type
int fis_gRType[] = { 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1 };

// Rule Inputs
int fis_gRI0[] = { 5, 2 };
int fis_gRI1[] = { 5, 1 };
int fis_gRI2[] = { 5, 3 };
int fis_gRI3[] = { 5, 4 };
int fis_gRI4[] = { 5, 5 };
int fis_gRI5[] = { 4, 2 };
int fis_gRI6[] = { 4, 1 };
int fis_gRI7[] = { 4, 3 };
int fis_gRI8[] = { 4, 4 };
int fis_gRI9[] = { 4, 5 };
int fis_gRI10[] = { 3, 2 };
int fis_gRI11[] = { 3, 1 };
int fis_gRI12[] = { 3, 3 };
int fis_gRI13[] = { 3, 4 };
int fis_gRI14[] = { 3, 5 };
int fis_gRI15[] = { 1, 2 };
int fis_gRI16[] = { 1, 1 };
int fis_gRI17[] = { 1, 3 };
int fis_gRI18[] = { 1, 4 };
int fis_gRI19[] = { 1, 5 };
int fis_gRI20[] = { 2, 2 };
int fis_gRI21[] = { 2, 1 };
int fis_gRI22[] = { 2, 3 };

```

```
int fis_gRI23[] = { 2, 4 };
int fis_gRI24[] = { 2, 5 };
int* fis_gRI[] = { fis_gRI0, fis_gRI1, fis_gRI2, fis_gRI3, fis_gRI4,
fis_gRI5, fis_gRI6, fis_gRI7, fis_gRI8, fis_gRI9, fis_gRI10,
fis_gRI11, fis_gRI12, fis_gRI13, fis_gRI14, fis_gRI15, fis_gRI16,
fis_gRI17, fis_gRI18, fis_gRI19, fis_gRI20, fis_gRI21, fis_gRI22,
fis_gRI23, fis_gRI24 };
```

```
// Rule Outputs
```

```
int fis_gRO0[] = { 3 };
int fis_gRO1[] = { 4 };
int fis_gRO2[] = { 4 };
int fis_gRO3[] = { 5 };
int fis_gRO4[] = { 5 };
int fis_gRO5[] = { 2 };
int fis_gRO6[] = { 3 };
int fis_gRO7[] = { 4 };
int fis_gRO8[] = { 4 };
int fis_gRO9[] = { 5 };
int fis_gRO10[] = { 2 };
int fis_gRO11[] = { 2 };
int fis_gRO12[] = { 3 };
int fis_gRO13[] = { 4 };
int fis_gRO14[] = { 4 };
int fis_gRO15[] = { 1 };
int fis_gRO16[] = { 2 };
int fis_gRO17[] = { 2 };
int fis_gRO18[] = { 3 };
int fis_gRO19[] = { 4 };
int fis_gRO20[] = { 1 };
int fis_gRO21[] = { 1 };
int fis_gRO22[] = { 2 };
int fis_gRO23[] = { 2 };
int fis_gRO24[] = { 3 };
int* fis_gRO[] = { fis_gRO0, fis_gRO1, fis_gRO2, fis_gRO3,
fis_gRO4, fis_gRO5, fis_gRO6, fis_gRO7, fis_gRO8, fis_gRO9,
```

```
fis_gRO10, fis_gRO11, fis_gRO12, fis_gRO13, fis_gRO14,  
fis_gRO15, fis_gRO16, fis_gRO17, fis_gRO18, fis_gRO19,  
fis_gRO20, fis_gRO21, fis_gRO22, fis_gRO23, fis_gRO24 };
```

```
// Input range Min  
FIS_TYPE fis_gIMin[] = { -15, -1 };
```

```
// Input range Max  
FIS_TYPE fis_gIMax[] = { 15, 1 };
```

```
// Output range Min  
FIS_TYPE fis_gOMin[] = { -0.8 };
```

```
// Output range Max  
FIS_TYPE fis_gOMax[] = { 0.8 };
```

```
/**  
**
```

```
// Data dependent support functions for Fuzzy Inference System  
/**  
**
```

```
FIS_TYPE fis_MF_out(FIS_TYPE** fuzzyRuleSet, FIS_TYPE x,  
int o)
```

```
{  
    FIS_TYPE mfOut;  
    int r;  
  
    for (r = 0; r < fis_gcR; ++r)  
    {  
        int index = fis_gRO[r][o];  
        if (index > 0)  
        {  
            index = index - 1;  
            mfOut = (fis_gMF[fis_gMFO[o]][index])(x,  
fis_gMFOCoeff[o][index]);  
        }  
    }  
}
```



```

        else if (index < 0)
        {
            index = -index - 1;
            mfOut = 1 - (fis_gMF[fis_gMFO[o][index]])(x,
fis_gMFOCoeff[o][index]);
        }
        else
        {
            mfOut = 0;
        }

        fuzzyRuleSet[0][r] = fis_min(mfOut, fuzzyRuleSet[1][r]);
    }
    return fis_array_operation(fuzzyRuleSet[0], fis_gcR, fis_max);
}

```

```

FIS_TYPE fis_defuzz_centroid(FIS_TYPE** fuzzyRuleSet, int o)
{
    FIS_TYPE step = (fis_gOMax[o] - fis_gOMin[o]) /
(FIS_RESOLUTION - 1);
    FIS_TYPE area = 0;
    FIS_TYPE momentum = 0;
    FIS_TYPE dist, slice;
    int i;

    // calculate the area under the curve formed by the MF outputs
    for (i = 0; i < FIS_RESOLUTION; ++i){
        dist = fis_gOMin[o] + (step * i);
        slice = step * fis_MF_out(fuzzyRuleSet, dist, o);
        area += slice;
        momentum += slice*dist;
    }

    return ((area == 0) ? ((fis_gOMax[o] + fis_gOMin[o]) / 2) :
(momentum / area));
}

```

```

//*****
*****
// Fuzzy Inference System
//*****
*****
void fis_evaluate()
{
    FIS_TYPE fuzzyInput0[] = { 0, 0, 0, 0, 0 };
    FIS_TYPE fuzzyInput1[] = { 0, 0, 0, 0, 0 };
    FIS_TYPE* fuzzyInput[fis_gcI] = { fuzzyInput0, fuzzyInput1,
};
    FIS_TYPE fuzzyOutput0[] = { 0, 0, 0, 0, 0 };
    FIS_TYPE* fuzzyOutput[fis_gcO] = { fuzzyOutput0, };
    FIS_TYPE fuzzyRules[fis_gcR] = { 0 };
    FIS_TYPE fuzzyFires[fis_gcR] = { 0 };
    FIS_TYPE* fuzzyRuleSet[] = { fuzzyRules, fuzzyFires };
    FIS_TYPE sW = 0;

    // Transforming input to fuzzy Input
    int i, j, r, o;
    for (i = 0; i < fis_gcI; ++i)
    {
        for (j = 0; j < fis_gIMFCount[i]; ++j)
        {
            fuzzyInput[i][j] =
                (fis_gMF[fis_gMFI[i][j]])(g_fisInput[i],
fis_gMFIcoeff[i][j]);
        }
    }

    int index = 0;
    for (r = 0; r < fis_gcR; ++r)
    {
        if (fis_gRType[r] == 1)
        {

```

```

    fuzzyFires[r] = FIS_MAX;
    for (i = 0; i < fis_gcI; ++i)
    {
        index = fis_gRI[r][i];
        if (index > 0)
            fuzzyFires[r] = fis_min(fuzzyFires[r],
fuzzyInput[i][index - 1]);
        else if (index < 0)
            fuzzyFires[r] = fis_min(fuzzyFires[r], 1 -
fuzzyInput[i][-index - 1]);
        else
            fuzzyFires[r] = fis_min(fuzzyFires[r], 1);
    }
}
else
{
    fuzzyFires[r] = FIS_MIN;
    for (i = 0; i < fis_gcI; ++i)
    {
        index = fis_gRI[r][i];
        if (index > 0)
            fuzzyFires[r] = fis_max(fuzzyFires[r],
fuzzyInput[i][index - 1]);
        else if (index < 0)
            fuzzyFires[r] = fis_max(fuzzyFires[r], 1 -
fuzzyInput[i][-index - 1]);
        else
            fuzzyFires[r] = fis_max(fuzzyFires[r], 0);
    }
}

    fuzzyFires[r] = fis_gRWeight[r] * fuzzyFires[r];
    sW += fuzzyFires[r];
}

if (sW == 0)

```

```
{
  for (o = 0; o < fis_gcO; ++o)
  {
    g_fisOutput[o] = ((fis_gOMax[o] + fis_gOMin[o]) / 2);
  }
}
else
{
  for (o = 0; o < fis_gcO; ++o)
  {
    g_fisOutput[o] = fis_defuzz_centroid(fuzzyRuleSet, o);
  }
}
}
```

arus

```
float aruspv=0;  
float arusbat=0;
```

```
void aruspv_run(){  
    float v1 = (analogRead(analogPin_arus)*3.3)/4096; //tegangan  
    dari ADC  
    float v2 = range(v1,0,3.226,0,5); //pengondisian dari  
    pembagi tegangan keluaran sensor arus dari 0-3.226v ==> 0-5v  
    aruspv = range(v2,2.45,4.5,0,5); //pembacaan arus 0A  
    = 2.45v 5A = 4.5v  
}  
void arusbat_run(){  
    float v1 = (analogRead(analogPin_arus)*3.3)/4096;  
    float v2 = range(v1,0,3.226,0,5);  
    arusbat = range(v2,2.45,4.5,0,5);  
}
```

complementaryPWM

```
const int ledPin = 13;
const int PWM_H = 9; // FTM0 - CH2
const int PWM_L = 10; // FTM0 - CH3

#define TPM_C 48000000 // core clock, for calculation only
#define PWM_FREQ 50000 // PWM frequency [Hz]
#define MODULO (TPM_C / PWM_FREQ) // calculation the
modulo for FTM0

int PWMvalue =0;
bool countDir =1;

void FTM0_run(){
  FTM0_C3V = PWMvalue;
  FTM0_SYNC |= 0x80;
}

void init_FTM0(){

  FTM0_POL = 0; // Positive Polarity
  FTM0_OUTMASK = 0xFF; // Use mask to disable outputs
  FTM0_SC = 0x08; // set system clock as source for FTM0
  FTM0_MOD = MODULO; // Period register
  FTM0_CNTIN = 0; // Counter initial value
  FTM0_COMBINE = 0x00003300; // COMBINE=1, COMP=1,
DTEN=1, SYNCEN=1
  FTM0_MODE = 0x01; // Enable FTM0
  FTM0_SYNC = 0x02; // PWM sync @ max loading point
enable
```

```

FTM0_DEADTIME = 0x80;           // DeadTimer prescale
systemClk/4
FTM0_DEADTIME |= 12;           // 1uS DeadTime, max of 63
counts of 48Mhz clock
FTM0_C2V = 0;                  // Combine mode, pulse-width controlled
by...
FTM0_C3V = MODULO/2;           // odd channel.
FTM0_SYNC |= 0x80;             // set PWM value update
FTM0_C2SC = 0x28;              // PWM output, edge aligned,
positive signal
FTM0_C3SC = 0x28;              // PWM output, edge aligned,
positive signal

CORE_PIN9_CONFIG = PORT_PCR_MUX(4) |
PORT_PCR_DSE | PORT_PCR_SRE; //config teensy output
port pins
CORE_PIN10_CONFIG = PORT_PCR_MUX(4) |
PORT_PCR_DSE | PORT_PCR_SRE; //config teensy output port
pins

FTM0_OUTMASK = 0x0;           // Turns on PWM output

}

```

hitung

```
float  adc_buck,adc_buck_module,  output_pwm,  volt_buck,  
vreal_buck,          volt_buck_module,vreal_buck_module1,  
vreal_buck_module, error1, error2, change_error;
```

```
void fuzzy_input_init()  
{  
  adc_buck = 0;  
  adc_buck_module = 0;  
  volt_buck = 0;  
  volt_buck_module = 0;  
  error1 = 0;  
  error2 = 0;  
  change_error = 0;  
  vreal_buck = 0;  
  vreal_buck_module = 0;  
}
```

```
void  fuzzy_input(unsigned  int  buck_pin,  unsigned  int  
buckmodule_pin)
```

```
{  
  //baca tegangan buck dan buck modul  
  adc_buck = analogRead(buck_pin);  
  adc_buck_module = analogRead(buckmodule_pin);  
  volt_buck = (adc_buck/4096)*3.3;  
  volt_buck_module = (adc_buck_module/4096)*3.3;  
  vreal_buck = range(volt_buck,0,3.125,0,12.5);  
  vreal_buck_module = range(volt_buck_module,0,3.2459,0,18);;
```

```
  //hitung error
```

```
  error1 = vreal_buck - vreal_buck_module;  
  change_error = error2 - error1; //lama - baru  
  error2=error1;
```



```
// memasukkan input fuzzy (error)
g_fisInput[0] = error1;
// memasukkan input fuzzy (changeerror)
g_fisInput[1] = change_error;
}
```

```
void fuzzy_output(float output_nilai)
{
    output_pwm = range(output_nilai,-0.8,0.8,0,512);
    PWMvalue = output_pwm;
}
```

```
float range(float x, float in_min, float in_max, float out_min, float
out_max)
{
    return (x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) +
out_min;
}
```

indicator

```
void indikator_init () {  
    pinMode(4, OUTPUT);  
    pinMode(5, OUTPUT);  
    pinMode(6, OUTPUT);  
}
```

```
void indikator_run() {
```

```
    if (vreal_buck >= 7){  
        if (vreal_buck < 13.2){  
            if (arusbat >=1.5){  
                if (arusbat <=1.99){  
                    digitalWrite(4, HIGH);  
                    digitalWrite(5, LOW);  
                    digitalWrite(6, LOW);  
                }  
            }  
        }  
    }
```

```
}
```

```
    if (vreal_buck >= 13.2){  
        if (vreal_buck < 14){  
            if(arusbat >=2){  
                if(arusbat <=2.49){  
                    digitalWrite(4, LOW);  
                    digitalWrite(5, HIGH);  
                    digitalWrite(6, LOW);  
                }  
            }  
        }  
    }  
}
```

```
if (vreal_buck >= 14 ){
  if (vreal_buck < 14.4){
    if (arusbat >=2.5){
      if (arusbat <=2.75){
        digitalWrite(4, LOW);
        digitalWrite(5, LOW);
        digitalWrite(6, HIGH);
      }
    }
  }
}

}
```

serial debug

unsigned long lastmilis=0;

```
void serial_debug(){
  if (millis() - lastmilis > durasi_serial){
    Serial.println("=====");
    Serial.println("=====Anggi MPPT=====");
    Serial.println("=====");
    Serial.print("Vin buck = "); Serial.print(volt_buck);
    Serial.print("V ("); Serial.print(vreal_buck); Serial.println("V)");
    Serial.print("Vin buck_module = ");
    Serial.print(volt_buck_module); Serial.print("V (");
    Serial.print(vreal_buck_module); Serial.println("V)");
    Serial.print("Arusbat = "); Serial.print(arusbat);
    Serial.print("A"); Serial.print(" | Aruspv = "); Serial.print(aruspv);
    Serial.println("A");
    Serial.print("Error = "); Serial.print(error1); Serial.print("V |
Change = "); Serial.print(change_error); Serial.println("V");
    Serial.print("Fuzzy Out = "); Serial.print(g_fisOutput[0]);
    Serial.print(" | PWM = "); Serial.println(output_pwm);
    Serial.println("=====");
    Serial.println();

    Serial1.print(vreal_buck_module);
    Serial1.print(";");
    Serial1.print(vreal_buck);
    Serial1.print(";");
    Serial1.print(arusbat);
    Serial1.print(";");
    Serial1.println(output_pwm);

    lastmilis = millis();
  }
}
```

```
vpv
float v_pv=0;
void pv_run(){
    float v1 = (analogRead(analogPin_pv)*3.3)/4096;
    float v2 = range(v1,0,3.636363636363636,0,40);
    v_pv = v2;

    if (v_pv >= 11){digitalWrite(opto_Pin, HIGH);}
    else {digitalWrite(opto_Pin, LOW);}
}
```

## LAMPIRAN D

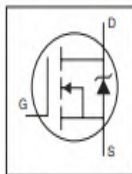
International  
**IR** Rectifier

PD - 91309C

# IRF3710

HEXFET® Power MOSFET

- Advanced Process Technology
- Ultra Low On-Resistance
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- Fully Avalanche Rated



$$V_{DSS} = 100V$$

$$R_{DS(on)} = 23m\Omega$$

$$I_D = 57A$$

### Description

Advanced HEXFET® Power MOSFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications.

The TO-220 package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 watts. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220 contribute to its wide acceptance throughout the industry.



### Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{DS} @ 10V$	57	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{DS} @ 10V$	40	
$I_{DM}$	Pulsed Drain Current (1)	230	
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Power Dissipation	200	W
	Linear Derating Factor	1.3	W/°C
$V_{GS}$	Gate-to-Source Voltage	$\pm 20$	V
$I_{AS}$	Avalanche Current(2)	28	A
$E_{AS}$	Repetitive Avalanche Energy(2)	20	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt (3)	5.8	V/ns
$T_J$	Operating Junction and Storage Temperature Range	-55 to +175	°C
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)	
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw	10 lbIn (1.1Nm)	

### Thermal Resistance

	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{JC}$	Junction-to-Case	—	0.75	°C/W
$R_{JCS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.50	—	
$R_{JA}$	Junction-to-Ambient	—	62	

www.irf.com

1

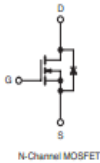
09/15/09

D1. IRF3710



## Power MOSFET

PRODUCT SUMMARY		
V <sub>GS</sub> (V)	500	
R <sub>DS(on)</sub> (Ω)	V <sub>GS</sub> = 10 V	0.27
Q <sub>g</sub> (Max.) (nC)	210	
Q <sub>gs</sub> (nC)	29	
Q <sub>gd</sub> (nC)	110	
Configuration	Single	



## FEATURES

- Dynamic dV/dt Rating
- Repetitive Avalanche Rated
- Isolated Central Mounting Hole
- Fast Switching
- Ease of Paralleling
- Simple Drive Requirements
- Lead (Pb)-free Available



## DESCRIPTION

Third generation Power MOSFETs from Vishay provide the designer with the best combination of fast switching, ruggedized device design, low on-resistance and cost-effectiveness. The TO-247 package is preferred for commercial-industrial applications where higher power levels preclude the use of TO-220 devices. The TO-247 is similar but superior to the earlier TO-218 package because its isolated mounting hole. It also provides greater creepage distances between pins to meet the requirements of most safety specifications.

ORDERING INFORMATION	
Package	TO-247
Lead (Pb)-free	IRFP460PbF SiHFP460-E3
SnPb	IRFP460 SiHFP460

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS T <sub>C</sub> = 25 °C, unless otherwise noted			
PARAMETER	SYMBOL	LIMIT	UNIT
Drain-Source Voltage	V <sub>DS</sub>	500	V
Gate-Source Voltage	V <sub>GS</sub>	± 20	
Continuous Drain Current	V <sub>GS</sub> at 10 V	T <sub>C</sub> = 25 °C	20
		T <sub>C</sub> = 100 °C	13
Pulsed Drain Current <sup>a</sup>	I <sub>DM</sub>	80	A
Linear Derating Factor		2.2	W/°C
Single Pulse Avalanche Energy <sup>b</sup>	E <sub>AS</sub>	960	mJ
Repetitive Avalanche Current <sup>b</sup>	I <sub>AR</sub>	20	A
Repetitive Avalanche Energy <sup>b</sup>	E <sub>AR</sub>	28	mJ
Maximum Power Dissipation	P <sub>D</sub>	280	W
Peak Diode Recovery dV/dt <sup>c</sup>	dV/dt	3.5	V/ns
Operating Junction and Storage Temperature Range	T <sub>J</sub> , T <sub>STG</sub>	-55 to + 150	°C
Soldering Recommendations (Peak Temperature)		300 <sup>d</sup>	
Mounting Torque	6-32 or M3 screw		10 lbf · in
			1.1 N · m

## Notes

- Repetitive rating; pulse width limited by maximum junction temperature (see fig. 11).
- V<sub>DS</sub> = 50 V, starting T<sub>J</sub> = 25 °C, L = 4.3 mH, R<sub>θJ</sub> = 25 Ω, I<sub>AS</sub> = 20 A (see fig. 12).
- I<sub>GD</sub> ≤ 20 A, di/dt ≤ 160 A/μs, V<sub>DD</sub> ≤ V<sub>DS</sub>, T<sub>J</sub> ≤ 150 °C.

## D2. IRFP460

**IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF**

**HIGH AND LOW SIDE DRIVER**

**Features**

- Floating channel designed for bootstrap operation  
Fully operational to +500V or +600V  
Tolerant to negative transient voltage  $dV/dt$  immune
- Gate drive supply range from 10 to 20V
- Undervoltage lockout for both channels
- 3.3V logic compatible  
Separate logic supply range from 3.3V to 20V  
Logic and power ground  $\pm 5V$  offset
- CMOS Schmitt-triggered inputs with pull-down
- Cycle by cycle edge-triggered shutdown logic
- Matched propagation delay for both channels
- Outputs in phase with inputs

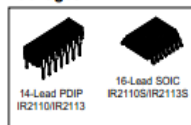
**Product Summary**

$V_{OFFSET}$ (IR2110)	500V max.
(IR2113)	600V max.
$I_{O+/-}$	2A / 2A
$V_{OUT}$	10 - 20V
$t_{on/off}$ (typ.)	120 & 94 ns
Delay Matching (IR2110)	10 ns max.
(IR2113)	20ns max.

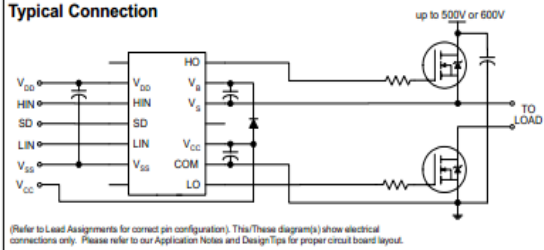
**Description**

The IR2110/IR2113 are high voltage, high speed power MOSFET and IGBT drivers with independent high and low side referenced output channels. Proprietary HVIC and latch immune CMOS technologies enable ruggedized monolithic construction. Logic inputs are compatible with standard CMOS or LSTTL output, down to 3.3V logic. The output drivers feature a high pulse current buffer stage designed for minimum driver cross-conduction. Propagation delays are matched to simplify use in high frequency applications. The floating channel can be used to drive an N-channel power MOSFET or IGBT in the high side configuration which operates up to 500 or 600 volts.

**Packages**



**Typical Connection**





## ACS712

### Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

#### Description (continued)

the device at up to 5<sup>x</sup> overcurrent conditions. The terminals of the conductive path are electrically isolated from the signal leads (pins 5 through 8). This allows the ACS712 to be used in applications requiring electrical isolation without the use of opto-isolators or other costly isolation techniques.

The ACS712 is provided in a small, surface mount SOIC8 package. The leadframe is plated with 100% matte tin, which is compatible with standard lead (Pb) free printed circuit board assembly processes. Internally, the device is Pb-free, except for flip-chip high-temperature Pb-based solder balls, currently exempt from RoHS. The device is fully calibrated prior to shipment from the factory.

#### Selection Guide

Part Number	Packing*	T <sub>A</sub> (°C)	Optimized Range, I <sub>P</sub> (A)	Sensitivity, Sens (Typ) (mV/A)
ACS712ELCTR-05B-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±5	185
ACS712ELCTR-20A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±20	100
ACS712ELCTR-30A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±30	66

\*Contact Allegro for additional packing options.

#### Absolute Maximum Ratings

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Supply Voltage	V <sub>CC</sub>		8	V
Reverse Supply Voltage	V <sub>RECC</sub>		-0.1	V
Output Voltage	V <sub>OUT</sub>		8	V
Reverse Output Voltage	V <sub>REOUT</sub>		-0.1	V
Output Current Source	I <sub>OUT(SOURCE)</sub>		3	mA
Output Current Sink	I <sub>OUT(SINK)</sub>		10	mA
Overcurrent Transient Tolerance	I <sub>P</sub>	1 pulse, 100 ms	100	A
Nominal Operating Ambient Temperature	T <sub>A</sub>	Range E	-40 to 85	°C
Maximum Junction Temperature	T <sub>J(max)</sub>		165	°C
Storage Temperature	T <sub>STG</sub>		-65 to 170	°C

#### Isolation Characteristics

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Unit
Dielectric Strength Test Voltage*	V <sub>ISO</sub>	Agency type-tested for 60 seconds per UL standard 60950-1, 1st Edition	2100	VAC
Working Voltage for Basic Isolation	V <sub>WFSI</sub>	For basic (single) isolation per UL standard 60950-1, 1st Edition	354	VDC or V <sub>pk</sub>
Working Voltage for Reinforced Isolation	V <sub>WFRS</sub>	For reinforced (double) isolation per UL standard 60950-1, 1st Edition	184	VDC or V <sub>pk</sub>

\* Allegro does not conduct 60-second testing. It is done only during the UL certification process.

Parameter	Specification
Fire and Electric Shock	CAN/CSA-C22.2 No. 60950-1-03 UL 60950-1:2003 EN 60950-1:2001

## D4. ACS7

## **BAB V**

### **KESIMPULAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Adapun kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Desain *solar charger controller* yang digunakan berdasarkan perumusan terancang, dengan nilai komponen yang dapat menghasilkan arus dan tegangan keluaran sebesar 13.5 V dan 5.82 A dan dapat melakukan pengisian baterai dengan total energi selama 7 jam yaitu 550 Wh. Baterai dengan kapasitas 100Ah dapat bertahan tanpa proses *charging* dan melakukan proses *discharge* pada komponen instrumen *buoy weather* selama 40 jam. Berat baterai 30Kg masih bisa ditampung oleh *prototype buoy weather type II* dengan beban maksimalnya 98Kg.
- Algoritma MPPT yang dilengkapi dengan logika fuzzy dapat menghasilkan daya maksimum rata-rata 78.57 watt dengan pengujian menggunakan beban maksimum 90 watt lebih tinggi dibandingkan dengan IC *regulated* yang hanya menghasilkan maksimum daya rata-rata 23.02 untuk masing-masing variasi *irradiansi*. Nilai peningkatan efisiensi mencapai rata-rata 225.43% dan kebutuhan energi komponen instrumen sebesar nilai 336 Wh dapat terpenuhi oleh sistem, dengan kemampuan *charging* energi yang dihasilkan *solar charger controller* sebesar 550 Wh dan mempertahankan *discharge* baterai sampai 14 jam.

#### **5.2 Saran**

Penelitian ini masih jauh dari sempurna, masih butuh pengembangan-pengembangan ke depan agar mendapatkan hasil yang lebih baik. Saran untuk pengembangan penelitian ini antara lain:

- *Converter* yang digunakan memiliki induktor dengan kualitas yang lebih tinggi dengan memperhatikan aspek lilitan kawat, jenis kawat yang digunakan dan efek lain yang terjadi saat induktor bekerja.

- *Buck converter* perlu ditingkatkan lagi untuk kebutuhan beban yang dibutuhkan, agar bisa mencapai nilai maksimum efisiensi 100%.
- Pemilihan komponen dan perhitungan awal desain harus diperhatikan agar tidak terjadi kesalahan saat proses penelitian

## DAFTAR RUJUKAN

- Aji, A. G. (2013). Perancangan Sistem Akuisisi Data Maritime Buoy Weather Station. *Jurnal Teknik ITS*, II(1), 83-88.
- Alsayid, B. A., Alsadi, S. Y., Jallad, J. S., & Dradi, M. H. (2013). Partial Shading of PV System Simulation with Experimental Results. *Scientific Reasearch*, 429-435.
- Arifin, H. A. (2015). Rancang Bangun Sistem Monitoring Kinerja Buoyhull Sebagai Wahana Apung Maritime Buoy Weather Station.
- Buchmann, I. (2016, Mei 17). *Battery University*. (Battery) Retrieved Mei 20, 2016, from [http://batteryuniversity.com/learn/article/charging\\_the\\_lead\\_acid\\_battery](http://batteryuniversity.com/learn/article/charging_the_lead_acid_battery)
- C&D Technologies. (2013). Chargin Valve Regulated Lead Acid Batteries. C&D Technologies Technical Bulletin.
- Dolara, A., Faranda, R., & S.Keva. (2009). Energy Comparison of Seven MPPT Techniques for PV Systems. *Journal of Electromagnetci Analysis and Applications*.
- Ghosh, S. K., Shawon, M. H., & Rahman, A. (2013). Modeling of PV Array and Analysis of Different Parameters. *International Journal of Advancements in Research & Technology*, 358 -363.
- Jaw-Kuen Shiau, Y.-C. W.-C. (2015). A Study on the Fuzzy-Logic-Based Solar Power MPPT . *Algorithms*, IIX, 100-127.
- Kaziemierczuk, M. K. (2008). *Pulse-width Modulated DC-DC Power Converters*. Ohio: A John Wiley and Sons.
- Letting, L. K. (2008). Design And Implementation of a Fuzzy Logic Based Maximum Power Point Tracker For A Photovoltaic System.
- M.A.S.Masoum, & M.Sarvi. (2005). *A New Fuzzy-Based Maximum Power Point Tracker for Photovoltaic Applications*. Tehran: Iranian Journal of Electrical and Electronic Engineering Vol.1.

- M.K. (214). Fuzzy Logic Controller Based Single Buck Boost Converter for Solar PV Cell. *International Journal of Applied Power Engineering*, III(1), 1-8.
- Mishra, B., & Kar, B. P. (2012). Matlab Based Modeling of Photovoltaic Array Characteristics.
- National Marine Weather Guide. (2014). Sea State. In *National Marine Weather Guide* (p. 48). Canada: Government of Canada's.
- Nguyen, X. H. (2015). Matlab/Simulink Based Modeling to Study Effect of Partial Shadow on Solar Photovoltaic Array. *Environmental System Research*, 4:20.
- Panasonic. (2005, August). CHARGING METHODS. *Methods of Charging the Valve -Regulated Lead-Acid Battery*.
- Pitartianti, M. (2015). Rancang Bangun Akuisis Data Prototype Buoy Weather Type II Berbasis Mikrokontroler.
- Preetham Goli, W. S. (2015). Control and Management of PV Integrated Charging Facilities for PEVs. *Springer*, 23-52.
- Putra, B. P. (2013). Rancang Bangun Maximum Power Point Tracking pada Panel Photovoltaic Berbasis Logika Fuzzy di Buoy Weather Station . *Jurnal Teknik ITS*, II(2), 299-304.
- Rajitha Reddy, A. V. (2015). Design and Implementation of Maximum Power Point Tracking Using Fuzzy Logic Controller for Photovoltaic for Cloudy Weather Conditions. *IJRREEE*, II(2), 130 - 135.
- Rashid, M. H. (1993). *Circuit, Devices, and Application*. Prentice-Hall International, Inc.
- Said, S., Massoud, A., Benammar, M., & Ahmed, S. (2012). A Matlab/Simulink-Based Photovoltaic Array Model Employing SimPowerSystem Toolbox. *Journal of Energy and Power Engineering*(6), 1965-1975.
- Samer Saud, A. M. (2012). A Matlab/Simulink-Based Photovoltaic Array Model Employing SimPowerSystem Toolbox. *Journal of Energy and Power Engineering* 6, 1965-1975.

- Samosir, A. S., & Yatim, A. H. (2010). Dynamic evolution control for synchronous buck DC–DC. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 663-676.
- Shiau, J.-K., & Chen, Y.-C. W.-C. (2015). A Study on the Fuzzy-Logic-Based Solar Power MPPT Algorithm Using Different Fuzzy Input Variables. *Algorithm*, 100-127.
- Solar Surya Indonesia. (2012, November 20). *VRLA Baterai*. (Renewable Energy) Retrieved Mei 20, 2016, from <http://solarsuryaindonesia.com/info/vrla-baterai>
- Upadhyay, P., Kumar, V., & Vairagi, B. D. (2014). Fuzzy Logic Based Maximum Power Point Tracking System for Solar Energy Conversion System. *IJERT*, III(7), 1436 -1441.
- Yongchang, Y., & Chuanan, Y. (2012). *Implementation of a MPPT Controller Based on AVR Mega 16 for Photovoltaic Systems*. Zhengzhou: International Conference on Future Electrical Power and Energy Systems .
- Zobaa, A. F., & Bansal, R. (2011). Maximum Power Point Tracking Charge Controllers. In *Handbook of Renewable Energy Technology* (pp. 247 - 265). World Scientific.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BIODATA PENULIS**



Penulis dilahirkan pada hari Kamis tanggal 23 Desember 1993 di Cilegon. Riwayat pendidikan formal penulis dimulai di SD YPWKS II Cilegon, yang kemudian dilanjutkan di SMP Negeri 1 Cilegon, lalu lanjut berpindah kota ke Bandung di SMA Negeri 1 Bandung. Kemudian penulis pindah ke Surabaya untuk melanjutkan studi semasa perkuliahan di Teknik Fisika ITS pada tahun 2012. Semasa waktu kuliah, penulis aktif sebagai administrator dari Laboratorium Simulasi dan Komputasi E205 dan kepengurusan organisasi intra kampus maupun intra laboratorium di Jurusan Teknik Fisika. Melalui buku ini, penulis berharap penelitian ini berguna untuk penelitian selanjutnya dan berdampak positif pada perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi bagi bangsa dan negara.