



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - EE184801

**DESAIN DAN IMPLEMENTASI SOLAR CHARGE
CONTROLLER DILENGKAPI MPPT P&O UNTUK
APLIKASI NELAYAN BAGAN TANCAP DI UJUNG
PANGKAH, GRESIK**

Wahyu Ardi Santosa
NRP 0711154000020

Dosen Pembimbing
Ir. Sjamsjul Anam, M.T.
Feby Agung Pamuji, S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - EE184801

**DESAIN DAN IMPLEMENTASI SOLAR CHARGE
CONTROLLER DILENGKAPI MPPT P&O UNTUK
APLIKASI NELAYAN BAGAN TANCAP DI UJUNG
PANGKAH, GRESIK**

Wahyu Ardi Santosa
NRP 0711154000020

Dosen Pembimbing
Ir. Sjamsjul Anam, M.T.
Feby Agung Pamuji, S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



FINAL PROJECT - EE184801

**DESIGN AND IMPLEMENTATION OF SOLAR
CHARGE CONTROLLER WITH P&O MPPT FOR
LIGHT-FISHING IN UJUNG PANGKAH, GRESIK**

Wahyu Ardi Santosa
NRP 0711154000020

Supervisors
Ir. Sjamsjul Anam, M.T.
Feby Agung Pamuji, S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

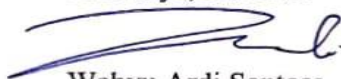
**PERNYATAAN KEASLIAN
TUGAS AKHIR**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**DESAIN DAN IMPLEMENTASI *SOLAR CHARGE CONTROLLER* DILENGKAPI *MPPT P&O* UNTUK APLIKASI NELAYAN BAGAN TANCAP DI UJUNG PANGKAH, GRESIK**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2019



Wahyu Ardi Santosa

0711154000020

Halaman ini sengaja dikosongkan

**DESAIN DAN IMPLEMENTASI SOLAR CHARGE
CONTROLLER DILENGKAPI MPPT P&O UNTUK APLIKASI
NELAYAN BAGAN TANCAP DI UJUNG PANGKAH, GRESIK**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I



Ir. Sjamsjul Anam, M.T.
NIP. 196307251990031002

Dosen Pembimbing II



Feby Agung Pamuji, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 198702062012121002



DESAIN DAN IMPLEMENTASI SOLAR CHARGE CONTROLLER DILENGKAPI MPPT P&O UNTUK APLIKASI NELAYAN BAGAN TANCAP DI UJUNG PANGKAH, GRESIK

Wahyu Ardi Santosa
0711154000020

Dosen Pembimbing 1 : Ir. Sjamsjul Anam, M.T.

Dosen Pembimbing 2 : Feby Agung Pamuji, S.T., M.T., Ph.D.

ABSTRAK

Bagan tancap merupakan metode penangkapan ikan konvensional dengan bantuan cahaya lampu (*light-fishing*) menggunakan diesel. Metode konvensional ini perlu diganti dengan sistem yang ramah lingkungan dan mudah digunakan yaitu panel surya. Daya yang dihasilkan panel surya terbatas oleh waktu sehingga kestabilan sistem kurang terjaga. Perlu adanya baterai sebagai penyimpan energi untuk memperbaiki kestabilan sistem. Bagaimanapun, daya yang tidak maksimal menyebabkan pengisian baterai memerlukan waktu lebih lama dan tidak konstan dengan periode cuaca dan penyinaran matahari. Pada pengisian baterai tanpa MPPT cenderung tidak maksimal dikarenakan sel surya tidak beroperasi pada nilai maksimalnya. MPPT dengan algoritma *perturb and observe* dapat memaksimalkan daya pada sel surya dengan kecepatan *tracking* yang bergantung pada kecepatan respon dari konverter. Sedangkan konverter *boost* memiliki kemampuan menjaga beda potensial yang disesuaikan dengan spesifikasi baterai serta menjaga nilai ripple arus dan tegangan yang relatif kecil. Untuk itu, pada tugas akhir ini akan dirancang dan implementasi *solar charge controller* dilengkapi MPPT P&O (*Perturb and Observe*) dan konverter *boost*, metode ini dapat memaksimalkan daya pada solar panel sebesar 97,84% dengan waktu pengisian baterai lebih cepat selama 27 menit.

Kata kunci: Konverter *Boost*, *Light Fishing*, *MPPT*, *Perturb and Observe*, *Solar Charge Controller*

Halaman ini sengaja dikosongkan

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF SOLAR CHARGE CONTROLLER WITH P&O MPPT FOR LIGHT-FISHING IN UJUNG PANGKAH, GRESIK

Wahyu Ardi Santosa
0711154000020

1st Advisor : Ir. Sjamsjul Anam, M.T.
2nd Advisor : Feby Agung Pamuji, S.T., M.T., Ph.D.

ABSTRACT

Bagan tancap is a conventional fishing using diesel as its main source. This conventional method needs to be replaced with an eco-friendly and easy to use system, namely solar panels. The solar panels power is just limited by time so the stability of the system is poorly maintained that needs to be a battery as a storage of energy to improve system stability. However, the power that is not optimal causes the charging battery to take longer and not be constant with periods of weather and irradiation conditions. The charging battery without MPPT it tends not to be optimal because the solar panel does not operate at its maximum value. MPPT with perturb and observe algorithms can maximize power on solar cells with tracking speeds that depend on the response speed of the converter. While boost coverter has the ability to maintain potential differences that are tailored to the battery specifications and keep the current and voltage ripple values relatively small. For this reason, this final project will design and implement solar charge controller equipped with MPPT P & O (Perturb and Observe) and boost converter, this method can maximize the power of the solar panel by 97.84% with a faster charging time for 27 minutes.

Key Word: Light Fishing, MPPT, Perturb and Observe, Solar Charge Controller

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur senantiasa penulis haturkan kehadirat Allah SWT. Karena atas limpahan rahmat, nikmat, serta hidayah-Nya, sehingga penulis diberikan kesehatan, kemudahan, serta kelancaran dalam menyelesaikan buku penelitian ini dengan judul: **Desain dan Implementasi Solar Charge Controller Dilengkapi MPPT P&O Untuk Aplikasi Nelayan Bagan Tancap di Ujung Pangkah, Gresik**. Besar harapan penulis, penelitian ini dapat dijadikan referensi penelitian selanjutnya dan penulis dedikasikan khususnya untuk keluarga penulis.

Proses penelitian ini dapat diselesaikan tidak terlepas dari bantuan banyak pihak yang telah memberikan masukan dan bimbingan kepada penulis. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Orang tua yang senantiasa memberikan motivasi dan doa kepada penulis selama menempuh pendidikan.
2. Bapak Ir. Sjamsjul Anam, M.T. dan Bapak Feby Agung Pamuji, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan masukan dan bimbingan sehingga buku penelitian ini dapat diselesaikan dengan sebaik mungkin.
3. Teman-teman asisten Laboratorium Konversi Energi Listrik yang selalu memberikan dukungan.
4. Teman-teman e55 yang telah berjuang bersama semenjak awal masuk perkuliahan.
5. Dan semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Penulis mengucapkan terima kasih atas segala doa dan dukungan yang telah diberikan kepada penulis selama ini. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penyusunan buku penelitian ini. Semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi mahasiswa Teknik Elektro ITS pada khususnya dan seluruh pembaca pada umumnya.

Surabaya, Juli 2019

Wahyu Ardi Santosa

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	i
HALAMAN PENGESAHAN	iii
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xix
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Metodologi	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
1.7 Relevansi	5
BAB 2 SOLAR CHARGE CONTROLLER DILENGKAPI MPPT P&O UNTUK APLIKASI NELAYAN BAGAN TANCAP DI UJUNG PANGKAH, GRESIK	7
2.1 <i>Solar Charge Controller</i>	7
2.1.1 <i>Bulk Charging Stage (Constant Current Charging)</i>	9
2.1.2 <i>Absorption Charge Stage (Constant Voltage Charging)</i>	9
2.1.3 <i>Float Charge Stage (Constant Voltage Charging)</i>	10
2.2 Panel Surya	10
2.2.1 Permodelan Panel Surya.....	11
2.2.2 Kurva I-V.....	12
2.2.3 Pengaruh Iradian dan Temperatur.....	13
2.3 MPPT (<i>Maximum Power Point Tracking</i>)	14
2.3.1 Arsitektur dan Metode MPPT.....	15
2.3.2 Metode <i>Perturb and Observe</i>	16
2.4 Konverter <i>Boost</i>	17
2.4.1 Hubungan Arus dan Tegangan	19
2.4.2 <i>Ripple</i> Tegangan Output.....	23
2.5 Bagan Tancap	24
2.5.1 Gambaran Umum Bagan Tancap	24
2.5.2 Musim Penangkapan	25
2.5.3 Hasil Tangkapan	26

2.6 Baterai	27
2.6.1 Tipe – Tipe Baterai	27
2.6.2 Sistem Baterai Panel Surya	29
2.6.3 Baterai <i>Lead-Acid</i>	29
2.6.4 Parameter Baterai	31
BAB 3 DESAIN, SIMULASI, DAN IMPLEMENTASI	35
3.1 Permodelan Blok Sistem	35
3.2 Diagram Alir	35
3.3 Desain Konverter <i>Boost</i>	37
3.3.1 Penentuan <i>Duty Cycle</i>	38
3.3.2 Penentuan Nilai Resistansi Beban	39
3.3.3 Penentuan Nilai Induktor	39
3.3.4 Penentuan Nilai Kapasitor	42
3.3.5 Penentuan MOSFET	43
3.3.6 Penentuan Dioda	44
3.4 Desain PLTS pada Sistem Bagan Tancap	45
3.4.1 Kebutuhan Panel Surya	45
3.4.2 Parameter Baterai	46
3.4.3 Parameter Panel Surya	47
3.5 Desain <i>Solar Charge Controller</i>	48
3.6 Simulasi dan Implementasi Sistem	51
3.6.1 Simulasi Konverter dalam Keadaan <i>Steady State</i>	51
3.6.2 Simulasi Sistem <i>Solar Charge Controller</i> dengan MPPT	54
3.6.3 Implementasi Sistem <i>Solar Charge Controller</i>	57
BAB 4 PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA	61
4.1 Kurva Karakteristik Panel Surya	61
4.2 Pengujian Sensor	64
4.2.1 Sensor Arus dan Tegangan	64
4.3 Pengujian Konverter <i>Boost</i>	65
4.3.1 Alat Pengujian Konverter	65
4.3.2 Pengujian Sinyal dari Tiap Komponen	66
4.3.3 Pengujian Efisiensi	70
4.4 Pengujian MPPT pada <i>Solar Charge Controller</i>	71
4.4.1 Kurva Daya <i>Tracking</i> MPPT	72
4.5 Perbandingan <i>Solar Charge Controller</i> dengan dan tanpa MPPT	74
4.5.1 Perbandingan Kapasitas Pengisian Baterai	74
4.5.2 Perbandingan Daya Baterai	77

4.6 Biaya Pemeliharaan dan Operasional	78
4.7 Perhitungan Generator Bensin (Konvensional)	80
4.7.1 <i>Specific Fuel Consumption</i> (SFC).....	80
4.7.2 Berat Jenis Bahan Bakar.....	80
4.8 Analisa Ekonomi Penggunaan PLTS Bagan Tancap.....	82
4.8.1 <i>Pay Back Period</i> (PBP)	83
BAB 5 PENUTUP	85
5.1 Kesimpulan.....	85
5.2 Saran.....	85
DAFTAR PUSTAKA	87
LAMPIRAN	89
BIODATA PENULIS.....	109

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Arsitektur sistem kelistrikan solar charge controller	8
Gambar 2.2	Metode <i>three-stage battery charger</i>	9
Gambar 2.3	Skema rangkaian listirk panel surya	11
Gambar 2.4	Kurva I-V dan daya <i>output</i> pada panel surya	13
Gambar 2.5	Efek perubahan iradian dan suhu sell pada karakteristik panel surya (a) pengaruh perubahan iradian (b) pengaruh suhu sell ..	13
Gambar 2.6	Kurva kerja panel surya saat beban berubah	15
Gambar 2.7	Arsitektur <i>MPPT</i> secara keseluruhan	15
Gambar 2.8	Algoritma <i>Perturb and Observe</i>	16
Gambar 2.9	Rangkaian konverter <i>boost</i>	18
Gambar 2.10	Bentuk gelombang tegangan dan arus pada masing-masing komponen	18
Gambar 2.11	Rangkaian konverter <i>boost</i> saat mode I	19
Gambar 2.12	Bentuk gelombang konverter <i>boost</i> , (a) tegangan induktor, (b) arus induktor, (c) arus dioda, (d) arus kapasitor.....	20
Gambar 2.13	Rangkaian konverter <i>boost</i> saat mode II.....	21
Gambar 2.14	Bagan Tancap Nelayan Ujung Pangkah, Gresik	25
Gambar 2.15	Bagian – bagian baterai <i>lead-acid</i>	30
Gambar 2.16	Pengaruh DOD terhadap jumlah <i>cycle</i> pada baterai <i>lead-acid deep-cycle</i>	32
Gambar 2.17	Tegangan terminal dan SOC baterai <i>lead-acid</i> 12V untuk tingkat <i>charging</i> dan <i>discharging</i> bervariasi	33
Gambar 3.1	<i>Solar Charge Controller</i> dengan <i>MPPT</i>	35
Gambar 3.2	Diagram Alir Metode Penelitian.....	36
Gambar 3.3	Inti induktor TDK Core B66387	41
Gambar 3.4	MOSFET IRFP4332	44
Gambar 3.5	Dioda MUR1560	45
Gambar 3.6	Desain <i>Solar Charge Controller</i>	49
Gambar 3.7	Sensor arus ACS712	49
Gambar 3.8	Sensor tegangan.....	49
Gambar 3.9	<i>Flowchart</i> sistem <i>solar charge controller</i>	50
Gambar 3.10	Simulasi konverter kondisi <i>steady state</i>	51
Gambar 3.11	Bentuk gelombang tegangan V_{GS} dan I_{DS}	52

Gambar 3.12 Bentuk gelombang tegangan MOSFET V_{GS} dan dioda V_D	52
Gambar 3.13 Bentuk gelombang tegangan MOSFET V_{GS} dan kapasitor V_{Co}	53
Gambar 3.14 Bentuk gelombang tegangan MOSFET V_{GS} dan gelombang arus induktor I_L	53
Gambar 3.15 Bentuk gelombang tegangan input dan output pada konverter <i>boost</i>	54
Gambar 3.16 Simulasi <i>solar charge controller</i> dengan <i>MPPT</i>	55
Gambar 3.17 Gelombang <i>PMPP</i> , gelombang <i>VMPP</i> , dan gelombang <i>IMPP</i> pada <i>MPPT</i> sistem <i>Solar Charge Controller</i> dengan konverter <i>boost</i>	56
Gambar 3.18 Gelombang <i>State Of Charge (SOC)</i> , gelombang arus baterai, dan gelombang tegangan baterai pada sistem <i>Solar Charge Controller</i>	57
Gambar 3.19 Implementasi sistem <i>solar charge controller</i>	59
Gambar 4.1 Kurva karakteristik arus dan tegangan pada cuaca cerah	61
Gambar 4.2 Kurva karakteristik arus dan tegangan pada cuaca mendung	62
Gambar 4.3 Kurva karakteristik daya dan tegangan pada saat cuaca cerah	63
Gambar 4.4 Kurva karakteristik daya dan tegangan pada saat cuaca mendung	63
Gambar 4.5 Pengujian konverter <i>boost</i>	66
Gambar 4.6 Sinyal <i>switching</i> pada MOSFET	67
Gambar 4.7 Sinyal pada MOSFET V_{GS} dan arus induktor I_L	68
Gambar 4.8 Sinyal <i>switching</i> MOSFET V_{GS} dan sinyal tegangan dioda V_D	69
Gambar 4.9 Sinyal tegangan pada sisi input dan output	70
Gambar 4.10 Pengujian efisiensi konverter <i>boost</i>	71
Gambar 4.11 Perubahan iradian terhadap waktu	72
Gambar 4.12 Tracking daya <i>MPPT</i> pada kondisi cuaca cerah	73
Gambar 4.13 Tracking daya <i>MPPT</i> pada kondisi cuaca mendung	73
Gambar 4.14 Hasil pengujian <i>solar charge controller</i> dilengkapi <i>MPPT P&O</i>	75

Gambar 4.15 Hasil pengujian <i>solar charge controller</i> tanpa MPPT P&O	76
Gambar 4.16 Perbandingan daya pada sistem <i>solar charge controller</i> dengan dan tanpa MPPT	77

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Data musim penangkapan ikan berdasarkan periode bulan	25
Tabel 3.1 Parameter Konverter <i>Boost</i>	37
Tabel 3.2 Parameter komponen pada konverter <i>boost</i>	45
Tabel 3.3 Spesifikasi Baterai SMT-POWER SMT1218.....	46
Tabel 3.4 <i>Datasheet</i> solar panel rayden solar.....	47
Tabel 3.5 Komponen sistem <i>solar charge controller</i>	58
Tabel 4.1 Pengujian sensor tegangan dan arus	64
Tabel 4.2 Perhitungan biaya energi PLTS	79
Tabel 4.3 Standar dan mutu bahan bakar minyak jenis bensin 90	80
Tabel 4.4 Perbandingan pengeluaran metode PLTS dan PLTD.....	83

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bagan tancap merupakan bagan yang dipasang secara menetap di perairan, terdiri dari rangkaian bambu yang dipasang secara membujur dan melintang. Bagan tancap dibuat dari bambu karena bahan ini tahan terhadap resapan air laut sehingga dapat bertahan lama. Bagan tancap dilengkapi jaring angkat sebagai penangkap ikan dengan bantuan cahaya lampu (*light-fishing*) sebagai penarik perhatian ikan. Metode bagan tancap telah diterapkan oleh para nelayan di beberapa daerah pesisir Indonesia yang mana pada bagan tancap tersebut, bahan bakar bensin digunakan untuk menghidupkan diesel yang mana energi listrik dari diesel digunakan untuk menyalakan lampu. Namun, metode ini dinilai kurang optimal. Pertama, ditinjau dari biaya operasional, tiap kali melaut dapat menghabiskan biaya bahan bakar Rp 50.000,00. Kedua, metode *light-fishing* konvensional yang digunakan terdapat potensi polusi suara (bising) yang berasal dari diesel.

Oleh karena itu diperlukan solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut, salah satunya dengan pemanfaatan sumber energi terbarukan matahari yang dikonversi menjadi energi listrik dengan menggunakan panel surya. Potensi pemanfaatan panel surya di Indonesia cukup besar tetapi masih memiliki efisiensi yang rendah. Untuk memanfaatkan nilai daya maksimum panel surya, tegangan dari panel surya harus dikondisikan karena panel surya memiliki grafik karakteristik antara tegangan, daya dan arus. Pengondisian pada umumnya menggunakan konverter yang dikontrol algoritma yang disebut *Maximum Power Point Tracking* (MPPT). Sehingga perlu dilakukan perancangan MPPT dengan metode algoritma tertentu, salah satunya disebut *Perturb and Observe* (P&O) dan diimplementasikan dengan menggunakan konverter DC-DC yaitu jenis konverter *boost*.

Algoritma P&O bekerja dengan gangguan secara periodik yaitu dengan menaikkan atau menurunkan tegangan terminal dan membandingkan daya output panel surya dengan siklus gangguan sebelumnya. Metode ini sederhana, mudah untuk diterapkan dan

ekonomis, tetapi pada waktu yang sama memiliki kekurangan karena setiap saat harus mengganggu tegangan terminal pada titik maksimum, yang mana dapat menghasilkan osilasi lebih banyak[1]. Transfer daya maksimal dari panel surya ke beban selalu menjadi masalah karena adaptasi impedansi yang buruk. Umumnya, beban tidak memiliki impedansi yang memperbolehkan adanya transfer daya maksimum. Untuk lebih lanjut, nilai impedansi dapat diubah-ubah. Akibatnya hanya sebagian kecil dapat dihantarkan ke beban. Untuk mengatasi masalah ini digunakanlah konverter *boost*.

Implementasi panel surya pada bagan tancap diperlukan *solar charge controller* sebagai peralatan pengontrol pengisian baterai. Saat ini *solar charge controller* yang beredar di pasaran merupakan jenis PWM *charge controller*, yang mana efisiensi masih rendah. Maka dari itu, pada penelitian ini akan dilakukan perancangan dan implementasi konverter *boost* dengan rangkaian dasar konverter *boost* serta menggunakan *solar charge controller* dilengkapi MPPT dengan algoritma *Perturb and Observe* yang mampu mengoptimalkan daya sehingga diharapkan efisiensi akan lebih baik dibandingkan PWM *charge controller* dan mampu menyediakan energi listrik pada sistem bagan tancap setiap kali beroperasi.

1.2 Perumusan Masalah

Solar charge controller adalah sistem pengontrol untuk pengisian baterai dengan menggunakan panel surya sebagai sumber dayanya. Pada saat beroperasi, banyaknya energi yang dapat disimpan pada baterai sebanding dengan daya yang diambil dari sel surya. Sehingga untuk memaksimalkan sistem *solar charge controller* maka diperlukan MPPT (*Maximum Power Point Tracking*). Salah satu algoritma yang sering digunakan pada MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) adalah *Perturb and Observe* (P&O), algoritma ini dapat menyesuaikan perubahan iradian dan perubahan beban secara adaptif dengan cara mengubah *duty cycle* dari konverter.

Pada saat ini *solar charge controller* yang banyak beredar di pasaran terdiri dari rangkaian PWM *charge controller*. Sehingga pada penelitian ini akan mendesain dan mengimplementasikan *solar charge controller* ini dilengkapi MPPT P&O dengan konverter *boost*.

1.3 Tujuan

Penelitian tugas akhir ini bertujuan untuk:

1. Memberikan alternatif pemanfaatan *green technology* untuk aplikasi Nelayan Bagan Tancap.
2. Mendesain dan mengimplementasikan MPPT P&O pada *Solar Charge Controller* untuk aplikasi Nelayan Bagan Tancap.
3. Membandingkan dan menganalisis hasil implementasi *solar charge controller* dengan dan tanpa MPPT P&O.

1.4 Batasan Masalah

1. Implementasi konverter *boost* untuk aplikasi *Solar Charge Controller* menggunakan komponen – komponen yang terdapat di pasaran.
2. Pengujian dilakukan di lingkungan Departemen Teknik Elektro dengan menggunakan peralatan yang terdapat di Laboratorium Konversi Energi Listrik.
3. Beban pada sistem *Solar Charge Controller* menggunakan baterai Lead-Acid 12V 18Ah.
4. Analisis dan perhitungan dilakukan pada kondisi ideal.

1.5 Metodologi

Penelitian ini akan dilakukan dalam beberapa langkah yaitu sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Mempelajari prinsip kerja *MPPT* dengan algoritma *Perturb and Observe*. Perlu mempelajari konverter *boost* yang diusulkan beserta karakteristik *switching* konverternya. Selain itu, perlu diperhatikan spesifikasi tegangan dan arus *rating* dari baterai Lead-Acid 12V 18Ah sebagai bagian akhir dari sistem *Solar Charge Controller*.

2. Pengimplementasian Alat

Pada proses ini akan dilakukan pembuatan *MPPT* yang terdiri dari dua bagian utama, yaitu *hardware* yang diwakilkan oleh konverter *boost* dan *software* yang diwakilkan oleh program algoritma *MPPT Perturb and Observe*. Selanjutnya *MPPT* akan direalisasikan berdasarkan spesifikasi dari panel surya dan baterai yang sudah ditentukan.

3. Pengujian Alat

Tahap ini akan dilakukan pengujian tentang kinerja alat yang sudah di buat. Selain itu, peralatan yang dibuat akan dibandingkan. Perbandingan dilakukan antara sistem *Solar Charge Controller* yang dilengkapi MPPT dan tanpa MPPT.

4. Analisis Data

Setelah pengujian selesai dilakukan, maka akan dilakukan analisis terhadap data yang telah didapatkan. Nilai-nilai parameter yang telah didapatkan akan dibandingkan antara hasil pengujian dengan hasil simulasi. Serta dianalisis pula kinerja dari *MPPT P&O* terhadap pengaruh dari intensitas cahaya.

5. Kesimpulan

Pada akhir penelitian akan ditarik kesimpulan berdasarkan analisa yang telah dilakukan.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam tugas akhir ini terdiri atas lima bab dengan uraian sebagai berikut :

Bab 1 : Pendahuluan

Berisi penjelasan tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan, batasan masalah, metodologi, sistematika penulisan, dan relevansi terhadap Tugas Akhir ini.

Bab 2 : *Solar Charge Controller* Dilengkapi MPPT P&O Untuk Aplikasi Nelayan Bagan Tancap di Ujung Pangkah, Gresik
Bab ini berisi teori penunjang yang membahas tentang *solar charge controller*, karakteristik panel surya, *MPPT Perturb and Observe* (P&O), konverter *boost*, bagan tancap dan baterai Lead-Acid.

Bab 3 : Desain, Simulasi dan Implementasi

Bab ini membahas permodelan blok sistem, diagram alir, konverter *boost*, PLTS pada Bagan Tancap, dan sistem *Solar Charge Controller*, simulasi dengan perangkat lunak dan implementasi.

Bab 4 : Pengujian dan Analisis Data

Bab ini berisi pengujian dan analisis data terhadap hasil pengujian rangkaian dari konverter *boost*, pengujian performa

dari MPPT *Perturb and Observe*, serta pengujian *solar charge controller* pada baterai lead-acid 12V 18Ah.

Bab 5 : Penutup

Bab ini berisi kesimpulan dari analisis yang dilakukan dan berisi tentang saran untuk pengembangan selanjutnya.

1.7 Relevansi

Penelitian diharapkan dapat memberikan manfaat, yaitu:

1. Menjadi referensi untuk penelitian dan pengembangan bagi mahasiswa yang hendak mengambil topik masalah yang serupa dalam pengaplikasian panel surya.
2. Menjadi referensi bagi mahasiswa yang akan mengerjakan penelitian dengan topik energi terbarukan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2

SOLAR CHARGE CONTROLLER DILENGKAPI MPPT P&O UNTUK APLIKASI NELAYAN BAGAN TANCAP DI UJUNG PANGKAH, GRESIK

2.1 Solar Charge Controller

Penggunaan lampu sebagai alat bantu penangkapan ikan berkembang pesat setelah ditemukannya lampu listrik. Inovasi lampu *Light Emitting Diode* (LED) sebagai lampu hemat energi berpeluang besar untuk digunakan pada aktivitas penangkapan ikan. Lampu LED membutuhkan tegangan dan arus yang rendah sehingga dapat dikombinasikan dengan sumber energi terbarukan untuk mendorong terwujudnya perikanan tangkap yang lebih ramah lingkungan.

Salah satu energi terbarukan yang melimpah dan mudah dimanfaatkan adalah matahari. Energi matahari memiliki kelebihan yaitu perawatan yang minimum dan bebas polusi, namun saat ini harga panel surya sebagai alat untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik masih relatif mahal dan efisiensi konversi energinya masih rendah.

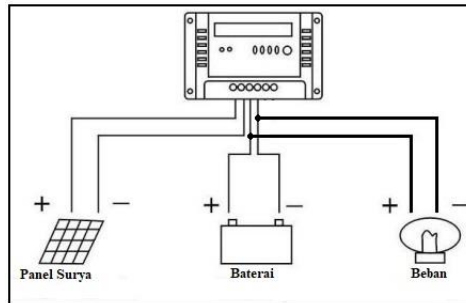
Perlu adanya *storage* atau baterai untuk menyimpan energi listrik yang berasal dari energi terbarukan matahari, sehingga kestabilan sistem lebih terjaga terutama pada saat iradian matahari yang tidak menentu. Energi listrik dari panel surya ke baterai dapat dimaksimalkan dan dikontrol dengan menggunakan *solar charge controller*. Sistem kontrol pengisian baterai bertenaga matahari (*Solar Charge Controller*) merupakan teknologi yang dapat diandalkan untuk mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi listrik yang dihasilkan dari diesel.

Pada sistem konversi energi matahari, *solar charge controller* menjadi fungsi utama dalam sistem yang mana didesain untuk melindungi baterai pada saat proses pengisian ulang. *Solar Charge Controller* memiliki arsitektur sistem kelistrikan seperti pada gambar 2.1.

Solar Charge Controller menggunakan beberapa komponen seperti suplai daya, sensor tegangan dan arus panel surya, proteksi arus

atau tegangan balik panel surya, relai, sensor arus dan tegangan untuk baterai, dan indikator LED untuk pengoperasian yang efektif[2].

Fungsi utama *charge controller* pada sistem panel surya *stand-alone* untuk menjaga baterai pada *state of charge* (SOC) yang paling tinggi serta melindungi *overcharging* dari suplai panel surya. Idealnya, *charge controller* secara langsung mengendalikan SOC baterai.



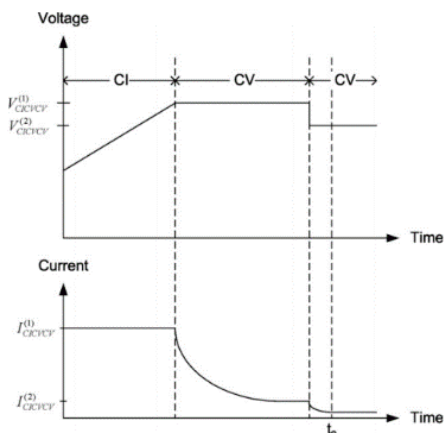
Gambar 2.1 Arsitektur sistem kelistrikan solar charge controller

Tanpa menggunakan *charge controller*, arus dari panel surya akan mengalir ke baterai bergantung pada iradian, baik pada saat baterai membutuhkan untuk melakukan *charging* atau tidak. Jika baterai sudah dalam kondisi terisi penuh, *charging* dengan tanpa pengendalian akan menyebabkan tegangan baterai berlebih (*overcharging*), sehingga dapat menyebabkan efek *gassing*, rugi – rugi elektrolit, panas internal, dan percepatan korosi grid. Efek *gassing* dapat terjadi karena material aktif pada baterai memiliki muatan yang berlebih, sehingga akan terbentuk gas dan menurunkan efisiensi *charging* pada baterai. Pada kenyataannya *charge controller* menjaga kondisi baterai “sehat” dan memperpanjang umur baterai. Kondisi-kondisi yang tidak diinginkan tersebut dapat dicegah dengan pemakaian *solar charge controller*.

Sebagian besar jenis baterai lithium-ion tidak bisa menerima kondisi *overcharge* tanpa merusak atau permasalahan keamanan, dan biasanya digunakan BMS (*Battery Management System*) yang menjaga baterai ini secara mandiri dari *charge controller* ini.

Pada penelitian ini menggunakan metode *three stage charging* untuk menjaga keamanan baterai, *charging* cepat, dan *charging* penuh

tanpa terjadi *overcharging*. Metode *charge controller* tersebut dapat dilihat seperti pada gambar 2.2 serta dipaparkan uraian sebagai berikut:



Gambar 2.2 Metode *three-stage battery charger*

2.1.1 Bulk Charging Stage (Constant Current Charging)

Pada tahap *bulk charging* meliputi pengisian kembali baterai mulai dari 20% SOC sampai dengan 80% SOC, yang mana arus yang digunakan untuk charging dibuat konstan dan tegangan baterai akan meningkat. Pada tahapan ini baterai diisi dengan arus bernilai tinggi yang mana secara mendasar merupakan arus *rating* untuk *charging* baterai. *Charger* pada penelitian ini akan memberikan arus *rating* sampai kapasitas *charging* (10% kapasitas baterai dalam Ah). Sehingga MPPT diaktifkan pada tahap *charging* ini.

2.1.2 Absorption Charge Stage (Constant Voltage Charging)

Pada tahap metode *charging* ini berdasarkan pada tetapan tegangan baterai untuk mencapai nilai aman batas atasnya, V_{abs} . Arus baterai secara berangsur – angsur akan berkurang ketika resistansi internal meningkat selama proses *charging*. Tahap *absorption* berakhir ketika *state of charge* (SOC) mencapai 90 – 95%. Hal ini dapat dideteksi ketika arus menurun sampai kira – kira 20% dari arus maksimum *charging*.

2.1.3 Float Charge Stage (Constant Voltage Charging)

Setelah baterai sudah mencapai kondisi terisi penuh (*fully charged*), tegangan dikurangi sampai pada level kondisi *standby* yaitu besar tegangan diantara 13,5V – 13,8V, V_f atau secara teori arus baterai telah mencapai $C/100$ – nol, untuk memperpanjang umur baterai dan mengurangi efek *gassing*. Tegangan *floating* menjaga baterai dalam kondisi *standby used* serta untuk mencegah rugi – rugi pada fenomena *self-discharge*.

2.2 Panel Surya

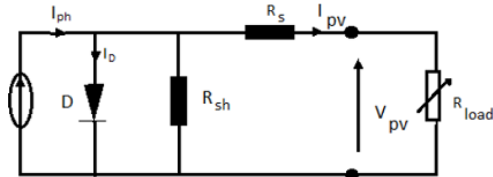
Panel surya menjadi sebuah solusi yang meyakinkan dan menjanjikan karena dapat menghasilkan energi listrik tanpa menimbulkan efek polusi lingkungan, dengan mengubah secara langsung radiasi matahari mejadi energi listrik. Sistem panel surya dapat dibagi menjadi dua kategori: sistem stand-alone dan terhubung grid. Pada sistem stand-alone panel surya memberi suplai langsung ke beban tanpa terhubung ke sistem peralatan listrik PLN dan memiliki keuntungan dalam hal konfigurasi sistem dan skema kontrol yang sederhana[3].

Sel surya (*photovoltaic*) merupakan sebuah peralatan elektronik yang terbuat dari material semikonduktor. Material ini memiliki karakteristik yang unik dikarenakan dapat menghasilkan arus listrik dengan cara melepaskan elektron terluar dari sebuah atom dengan menggunakan energi yang diambil dari foton yang memiliki panjang gelombang tidak lebih dari 1,11 μm [4]. Di sisi lain sumber energi primer penghasil foton paling besar adalah energi matahari, dengan frekuensi penyinaran di daerah tropis terjadi hampir setiap tahun.

Pada aplikasinya sel surya tidak pernah bekerja hanya dengan menggunakan satu sell saja akan tetapi minimal dalam bentuk modul satu panel. Dalam satu modul panel surya terdapat 36 sel yang disusun secara seri, sehingga dapat meningkatkan energi yang dihasilkan dari sel surya tersebut [5].

2.2.1 Permodelan Panel Surya

Panel surya dapat dimodelkan dengan rangkain listrik yang tersusun dari dioda yang memiliki arus saturasi I_D , sedangkan untuk *losses*nya dimodelkan dengan resistansi seri (R_s) dan paralel (R_{sh}). Nilai R_{sh} pada umumnya memiliki nilai besar sedangkan R_s kecil. Pada kondisi tertentu kedua parameter ini dapat diabaikan. Skema rangkaian listrik panel surya seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Skema rangkaian listrik panel surya

Dari rangkaian ekuivalen, I_{panel} surya dapat dihitung menggunakan persamaan

$$I_{pv} = [I_{sc} + K_i(T - 298)] \frac{\beta}{1000} \quad (2.1)$$

I_{sc} = Arus *short circuit* (A)

K_i = Konstanta temperature (0.0017A/°C)

T = Temperatur lingkungan (K)

β = Iradiasai (W/m^2)

Nilai arus output akan dipengaruhi oleh nilai I_D dan I_{sh} sehingga nilai arus output bisa dihitung dengan menggunakan hukum Kirchoff:

$$I = I_{ph} - I_D - I_{sh} \quad (2.2)$$

Nilai arus yang mengalir pada diode (I_D) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan

$$I_D = I_0 \left[\exp\left(\frac{V + R_s I}{N_s \frac{kT}{q} a}\right) - 1 \right] \quad (2.3)$$

dengan

- I_o = Arus saturasi dioda (A)
- V = Tegangan panel surya (V)
- R_s = Resistansi seri (Ω)
- N_s = Jumlah sel terpasang
- k = Konstanta Boltzman (1.3805×10^{-23} J/K)
- q = Muatan elektron (1.6×10^{-19} C)
- a = Konstanta diode ($1 \leq a \leq 2$)

Sehingga didapatkan persamaan yang menghubungkan nilai arus dan tegangan yang keluar dari panel surya adalah

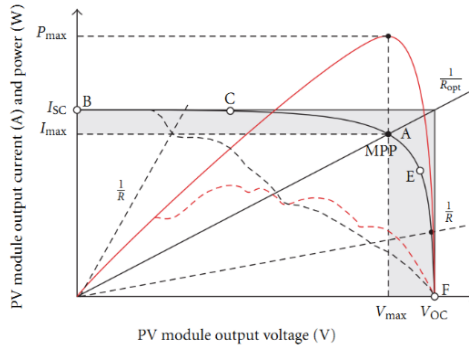
$$I = I_{ph} - I_o \left[\exp\left(\frac{V+IR_s}{nkT}\right) - 1 \right] - \frac{V+IR_s}{R_{sh}} \quad (2.4)$$

Dengan persamaan di atas operasi dari panel surya akan membentuk kurva karakteristik I-V. Pada iradian dan temperatur yang konstan titik operasi dari panel surya merupakan perpotongan antara kurva karakteristik I-V dan karakteristik beban. Titik operasi dari panel surya bergerak dari resistansi nol yang menyebabkan Isc ke resistansi tak hingga yang menyebabkan muncul Voc.

2.2.2 Kurva I-V

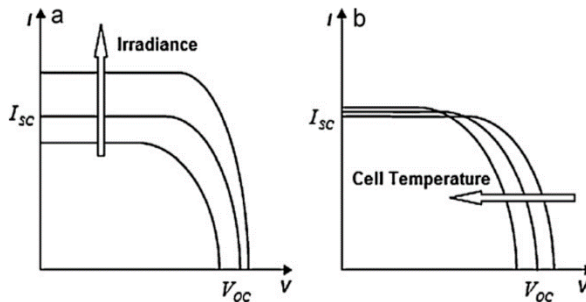
Iradian matahari dan suhu lingkungan merupakan dua parameter kunci utama yang bertanggung jawab selama proses pembangkitan listrik dengan memanfaatkan potensi iradian matahari. Gambar 2.4 menunjukkan kurva karakteristik arus-tegangan (I-V) dan juga kurva karakteristik daya dan tegangan panel surya pada saat kondisi suhu dan iradian matahari tertentu. Kurva I-V terdiri dari dua daerah bagian: sisi kanan kurva dapat disebut sebagai daerah sumber tegangan, dimana merupakan titik akhir tegangan saat *open circuit* (Voc) dan sisi kiri kurva dapat disebut daerah sumber arus, dimana merupakan titik akhir arus saat *short circuit* (Isc) dari panel surya. Titik daya maksimal (MPP) ditempatkan pada puncak kurva ini. Berdasarkan teori transfer daya maksimal, ketika beban (beban sistem off-grid panel surya adalah baterai) terhubung dengan panel surya, daya maksimal akan dihasilkan dari modul ke beban ketika batas beban melewati titik ini. Tegangan

pada titik yang sama disebut dengan tegangan titik daya maksimal (V_{mp}) dan arus titik daya maksimal (I_{mp})[6].



Gambar 2.4 Kurva I-V dan daya *output* pada panel surya

2.2.3 Pengaruh Iradian dan Temperatur



Gambar 2.5 Efek perubahan iradian dan suhu sell pada karakteristik panel surya (a) pengaruh perubahan iradian (b) pengaruh suhu sell

Kurva karakteristik I-V pada panel surya dipengaruhi oleh dua hal, yaitu iradian dan temperatur yang berakibat bergesernya kurva I-V pada panel surya. Pergeseran kurva I-V dapat dilihat pada gambar 2.5.

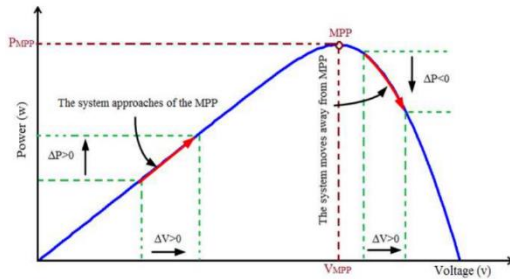
Perlu diperhatikan bahwa arus sebanding dengan suhu, peningkatan suhu yang lambat diikuti dengan meningkatnya arus, dan sebaliknya suhu memiliki dampak negatif pada arus *open-circuit* dan daya maksimalnya, kenyataannya suhu yang meningkat menyebabkan

menurunnya nilai kedua paramater tersebut[7]. Sehingga untuk selalu mendapatkan nilai daya maksimum dari panel surya, harus diperhatikan pula kedua parameter tersebut.

2.3 MPPT (*Maximum Power Point Tracking*)

Efisiensi sistem panel surya bervariasi sesuai dengan tingkat iradian. Efisiensi sel panel surya rendah ketika tingkat iradiannya rendah. Rata-rata efisiensinya sebesar 12%, yang mana penggunaan sel silikon *monocrystalline* dapat mencapai efisiensi sampai 15% [8]. Sehingga sistem panel surya perlu diatur pengoperasiannya pada titik daya maksimum atau MPP (*Maximum Power Point*) selama iradian berlangsung. Pada penelitian ini digunakan MPPT untuk menjaga titik MPP agar tetap konstan untuk tingkat iradian yang bervariasi.

Sistem panel surya mempunyai karakteristik yang tidak linier serta sangat tergantung pada suhu dan intensitas radiasi matahari, sehingga pada sistem panel surya terdapat titik tertentu yang dapat menghasilkan keluaran daya maksimal. Titik tersebut adalah *Maximum Power Point* (MPP), letak titik tidak diketahui tetapi dapat dicari dengan menggunakan perhitungan atau algoritma *tracking*. *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) digunakan untuk mendapatkan daya maksimum dari sistem panel surya tanpa tergantung pada suhu dan iradian matahari serta menjaga agar titik kerja panel surya tetap pada titik MPP saat terjadi perubahan kondisi lingkungan. MPPT sangat penting untuk meningkatkan efisiensi. Kontrol tegangan MPPT menggunakan PWM (*Pulse Width Modulation*) atau lebar pulsa (*duty cycle*) melalui rangkaian konverter DC-DC. Prinsip kerja MPPT adalah menaikkan dan atau menurunkan tegangan kerja panel surya. Apabila dalam suatu sistem panel surya, tegangan kerja panel surya lebih kecil dari tegangan V_{mpp} maka tegangan kerja panel surya akan dinaikkan sampai mendekati tegangan V_{mpp} . Sebaliknya, apabila tegangan kerja panel surya lebih besar dari tegangan kerja V_{mpp} maka tegangan kerja panel surya akan diturunkan mendekati tegangan V_{mpp} [9].

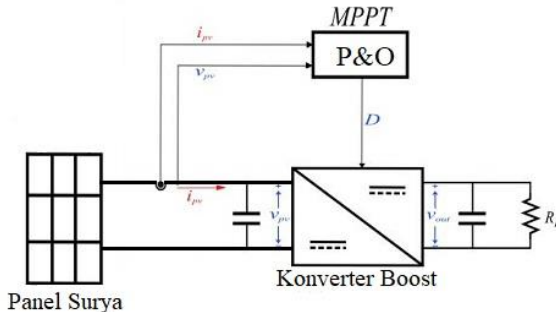


Gambar 2.6 Kurva kerja panel surya saat beban berubah

Gambar 2.6 menunjukkan kurva karakteristik panel surya saat diberi beban. Agar panel surya dapat memaksimalkan daya keluarannya maka MPPT harus mampu bekerja untuk menjaga tetap beroperasi pada titik MPPnya.

2.3.1 Arsitektur dan Metode MPPT

MPPT secara otomatis dapat menemukan tegangan kerja (V_{ref}) pada saat daya keluaran panel surya maksimal dan menjaga operasi sistem pada titik iradian yang berbeda-beda, suhu, dan arus beban. Arsitektur MPPT secara keseluruhan ditunjukkan pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Arsitektur MPPT secara keseluruhan

Pada MPPT sebagai kontroler akan dilakukan pengukuran arus dan tegangan dari panel surya yang nantinya akan digunakan untuk mencari daya maksimum pada suatu nilai *duty ratio*, yang mana arus dan

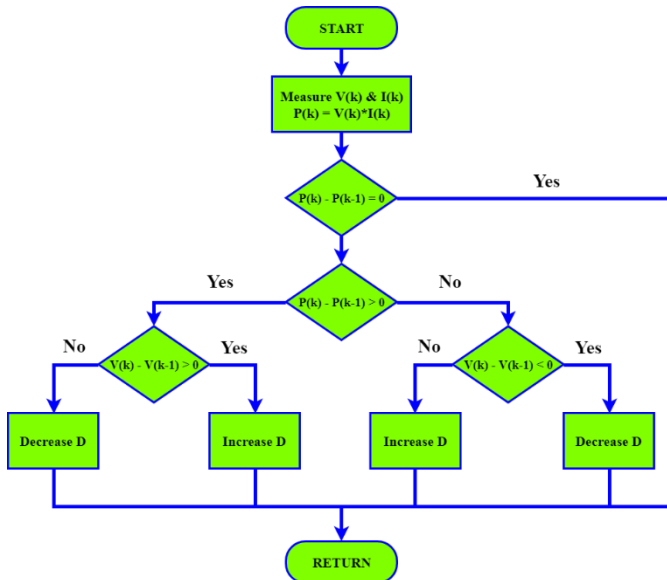
tegangan akan diolah pada algoritma P&O dan menghasilkan sebuah *duty ratio*. *Duty ratio* tersebut akan digunakan untuk penyaklaran pada konverter *boost*.

Beberapa algoritma MPPT sudah dikembangkan dan diimplementasikan seperti misalnya *hill climbing (HC)*, *perturb and observe (P&O)*, *incremental conductance (IncCond)*, dan *fuzzy logic control (FLC)*[10].

Perbedaan antara masing - masing metode di atas adalah efisiensi, kemudahan dalam penerapannya, jumlah sensor, kecepatan respon serta sistem *tracking*nya.

2.3.2 Metode *Perturb and Observe*

Pada penelitian ini digunakan metode P&O dikarenakan metode ini sederhana dan memiliki teknik *tracking* yang efisien dengan komputasi yang tidak terlalu rumit[11]. Flowchart dari algoritma P&O dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Algoritma *Perturb and Observe*

Prinsip kerja metode P&O ini bekerja dengan cara mengatur *duty cycle* dari konverter, yang mana secara tidak langsung mengganggu daya keluaran panel surya. Kemudian sistem membandingkan perhitungan daya saat ini dengan daya sebelum untuk menentukan pengaturan atau penyesuaian *duty cycle* selanjutnya. Apabila dalam suatu sistem panel surya tegangan kerja panel surya lebih kecil dari tegangan V_{mpp} maka tegangan kerja panel surya akan dinaikkan sampai mendekati tegangan V_{mpp} . Sebaliknya, apabila tegangan kerja panel surya lebih besar dari tegangan kerja V_{mpp} maka tegangan kerja panel surya akan diturunkan mendekati tegangan V_{mpp} .

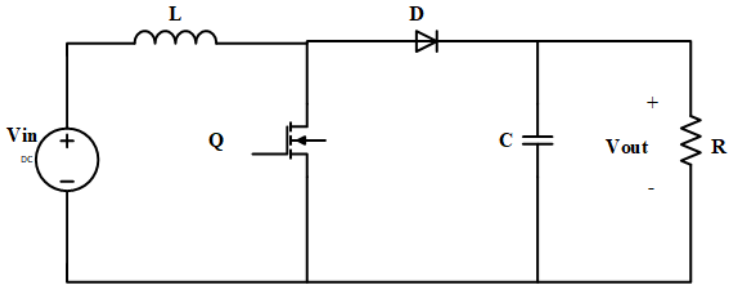
2.4 Konverter *Boost*

Konverter *boost* beroperasi pada dua mode. Perbedaan yang mendasar pada kedua mode ini adalah aliran arus induktornya. Pada mode pertama, arus mengalir pada induktor secara berkelanjutan dimana saat mode kedua arus mengalir pada induktor menjadi nol dalam jangka waktu tertentu sebelum mode saklar ON berikutnya. Seperti pada gambar 2.10 yang mewakili uraian di atas.

Begitu pula, mode CCM beroperasi dalam dua cara yaitu mode TURN OFF (Mode 1) dan TURN OFF (Mode 2). Selama mode 1, saklar daya dibuat ON. Sehingga dengan kondisi saklar ON, input arus suplai mengalir melalui induktor yang terhubung seri dengan saklar daya. Pada mode ini, energi akan tersimpan dalam konduktor yang mana beban resistif disuplai dengan arus kapasitor.

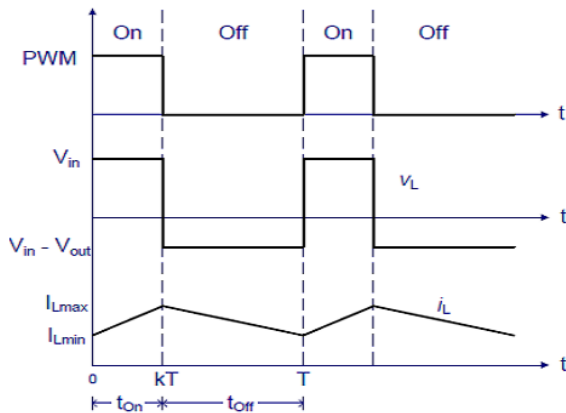
Operasi mode 2 dimulai dengan saklar daya dalam kondisi OFF. Pada mode ini, saklar OFF sehingga tidak ada arus yang akan mengalir melalui saklar, yang mana arus akan mengalir melalui induktor, dioda, kapasitor, dan beban resistif. Gambar 2.13 menunjukkan rangkaian aliran arus selama proses saklar dalam kondisi OFF.

Selama periode ini energi yang tersimpan di induktor dalam waktu tertentu akan ter-*discharge* ke beban resistif. Maka dari itu, tegangan output menjadi lebih tinggi dibandingkan dengan tegangan suplai [12]. Berikut merupakan rangkaian konverter *boost* ditunjukkan pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Rangkaian konverter *boost*

Konverter ini terdiri dari beberapa komponen, antara lain induktor L, kapasitor C, dioda D, dan kapasitor *filter* C_o . Analisis rangkaian pada kondisi *steady state* pada kondisi CCM (*Continuous Conduction Mode*) terdapat dua mode, mode I saat keadaan *switch on* sedangkan mode II pada keadaan *switch off*. Bentuk gelombang tegangan dan arus pada masing-masing mode dari konverter *boost* pada saat dioperasikan ditunjukkan pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 Bentuk gelombang tegangan dan arus pada masing-masing komponen

2.4.1 Hubungan Arus dan Tegangan

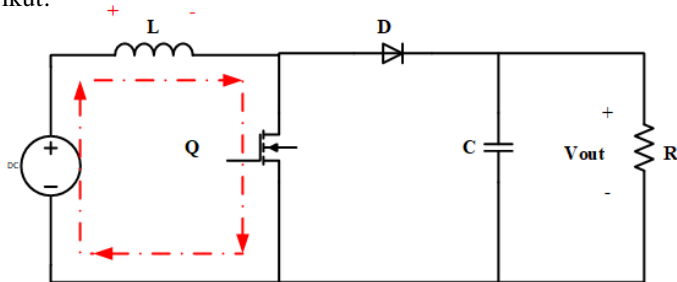
Analisis diasumsikan sebagai berikut:

1. Pada kondisi *steady state*.
2. Periode *switching* yaitu T, dan *switch* tertutup dalam waktu DT dan terbuka dalam waktu (1-D)T.
3. Arus induktor bersifat kontinu (selalu positif).
4. Kapasitor bernilai sangat besar, dan tegangan *output* dijaga konstan.
5. Komponen yang digunakan bersifat ideal.

Analisis didapatkan dengan menguji arus dan tegangan induktor dalam kondisi *switch* tertutup dan juga *switch* dalam kondisi terbuka.

A. Mode I (analisis ketika *switch* tertutup)

Ketika *switch* tertutup, dioda dalam kondisi *reverse-biased*. Gambar 2.11 menunjukkan rangkaian ekuivalen saat konverter mengalami mode I. Hukum Kirchoff tegangan berlaku pada rangkaian berikut:



Gambar 2.11 Rangkaian konverter *boost* saat mode I

Sehingga persamaan dari mode ini yaitu:

$$V_L = V_S = L \frac{di}{dt}$$

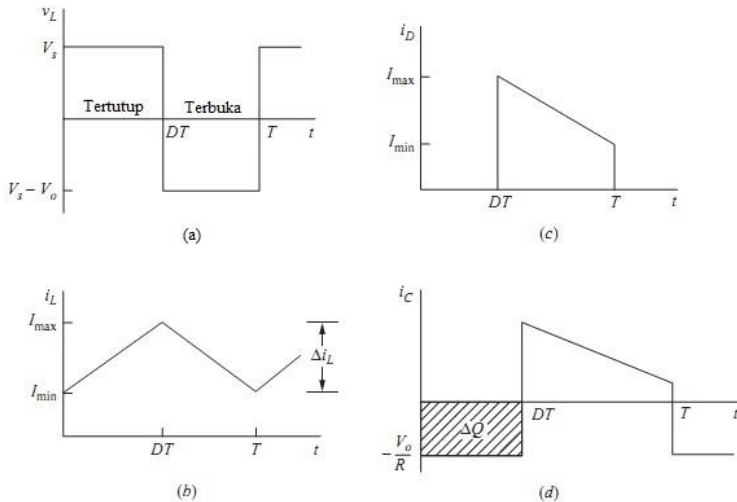
$$\frac{diL}{dt} = \frac{V_S}{L} \quad (2.1)$$

Perubahan arus bersifat konstan, sehingga arus meningkat secara linier ketika *switch* dalam kondisi tertutup, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.12. Perubahan arus pada induktor dapat dihitung dari:

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_S}{L} \quad (2.2)$$

Penghitungan Δi_L pada saat *switch* tertutup,

$$(\Delta i_L)_{closed} = \frac{V_S DT}{L} \quad (2.3)$$



Gambar 2.12 Bentuk gelombang konverter *boost*, (a) tegangan induktor, (b) arus induktor, (c) arus dioda, (d) arus kapasitor

B. Mode II (analisis ketika *switch* terbuka)

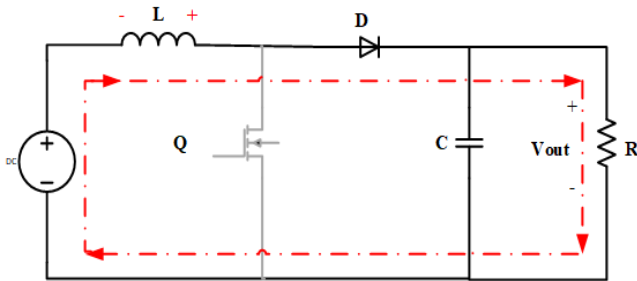
Analisis ketika *switch* terbuka, arus induktor tidak bisa berubah dengan cepat, sehingga dioda menjadi *forward-biased* untuk memberikan jalur untuk arus induktor. Aliran arus saat mode operasi *switch* terbuka dapat dilihat pada gambar 2.13. Diasumsikan bahwa tegangan *output* V_o bersifat konstan, tegangan melewati induktor dapat diketahui,

$$v_L = V_S - V_o = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.4)$$

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

Tingkat perubahan arus induktor bersifat konstan, sehingga arus berubah secara linier ketika *switch* pada kondisi terbuka. Perubahan arus induktor ketika *switch* kondisi terbuka sebagai berikut,

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{(1-D)T} = \frac{V_S - V_o}{L} \quad (2.6)$$



Gambar 2.13 Rangkaian konverter *boost* saat mode II

Sehingga untuk Δi_L pada kondisi *switch* terbuka,

$$\Delta i_{L_{open}} = \frac{(V_S - V_o)(1-D)T}{L} \quad (2.7)$$

Pada saat kondisi *steady-state*, perubahan arus induktor menjadi nol, dengan menggunakan persamaan (2.3) dan (2.4) maka,

$$\Delta i_{L_{closed}} + \Delta i_{L_{open}} = 0$$

$$\frac{V_S D T}{L} + \frac{(V_S - V_o)(1-D)T}{L} = 0$$

Sehingga nilai V_o ,

$$V_S(D + 1 - D) - V_o(1 - D) = 0$$

$$V_o = \frac{V_S}{1-D} \quad (2.8)$$

Begitu juga, tegangan rata – rata induktor menjadi nol selama beroperasi periodik. Berikut persamaan tegangan rata-rata selama satu periode *switching*,

$$V_L = V_s D + (V_s - V_o)(1 - D) = 0$$

Persamaan (2.8) menunjukkan bahwa jika *switch* selalu terbuka dan D bernilai nol, tegangan output sama dengan tegangan input. Ketika rasio D meningkat, maka nilai *denominator* menjadi lebih kecil, sehingga menghasilkan tegangan output yang lebih besar. Konverter *boost* menghasilkan tegangan output lebih besar dan atau sama dengan tegangan input. Bagaimanapun, tegangan output tidak dapat lebih kecil dari tegangan inputnya, seperti pada konverter *buck*.

Ketika rasio D daripada *switching* mendekati 1, tegangan output akan menuju nilai *infinity* mengacu pada persamaan (2.8). Bagaimanapun, persamaan (2.8) didasarkan pada komponen ideal. Sedangkan pada penggunaan komponen yang sebenarnya memiliki rugi-rugi yang akan menimbulkan efek tertentu pada output daripada konverter *boost*.

Arus rata-rata pada induktor ditentukan dengan mengenali daya rata-rata yang disuplai oleh sumber harus sama dengan daya rata-rata yang diserap oleh resistor beban. Sehingga daya output,

$$P_o = \frac{V_o^2}{R} = V_o I_o \quad (2.9)$$

dan daya input adalah $V_s I_s = V_s I_L$, persamaan daya output dan input menggunakan persamaan (2.8),

$$V_s I_L = \frac{V_o^2}{R} = \frac{\left(\frac{V_s}{1-D}\right)^2}{R} = \frac{V_s^2}{(1-D)^2} R$$

Sehingga didapatkan persamaan I_L ,

$$I_L = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} = \frac{V_o^2}{V_s R} = \frac{V_o I_o}{V_s} \quad (2.10)$$

Arus maksimum dan minimum induktor dapat ditentukan dengan menggunakan nilai rata-rata dan perubahan arus dari persamaan (2.3).

$$I_{max} = I_L + \frac{\Delta I_L}{2} = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} + \frac{V_s D T}{2L} \quad (2.11)$$

$$I_{min} = I_L - \frac{\Delta I_L}{2} = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} - \frac{V_s D T}{2L} \quad (2.12)$$

Persamaan (2.8) dikembangkan dengan asumsi bahwa arus induktor merupakan kontinyu, berarti arus induktor selalu memiliki nilai positif. Kondisi ini diperlukan selama arus induktor kontinyu untuk I_{min} menjadi positif. Maka dari itu batas antara arus induktor kontinyu dan diskontinyu ditentukan dari,

$$I_{min} = 0 = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} - \frac{V_s D T}{2L}$$

atau

$$\frac{V_s}{(1-D)^2 R} = \frac{V_s D T}{2L} = \frac{V_s D}{2L f}$$

Nilai minimum induktor dan frekuensi *switching* selama arus kontinyu pada konverter *boost* sebagai berikut,

$$(L f)_{min} = \frac{D(1-D)^2 R}{2} \quad (2.13)$$

atau

$$L_{min} = \frac{D(1-D)^2 R}{2f} \quad (2.14)$$

Konverter *boost* didesain untuk bekerja pada arus kontinyu akan memiliki nilai induktor yang lebih besar daripada L_{min} . Dari segi desain, digunakan untuk menyatakan L sesuai dengan nilai ΔI_L yang diinginkan.

$$L = \frac{V_s D T}{\Delta I_L} = \frac{V_s D}{\Delta I_L f} \quad (2.15)$$

2.4.2 Ripple Tegangan Output

Persamaan yang telah dikembmbangkan sebelumnya merupakan asumsi bahwa tegangan output konstan, yang termasuk kapasitansi

infinite. Pada prakteknya, kapasitansi infinite akan menghasilkan tegangan output yang fluktuatif, atau *ripple*.

Ripple tegangan output peak-to-peak dapat dihitung dari gelombang arus kapasitor yang ditunjukkan pada gambar 2.12. Perubahan *charge* kapasitor dapat dihitung dari

$$|\Delta Q| = \left(\frac{V_o}{R}\right)DT = C\Delta V_o$$

Kemudian untuk persamaan *ripple* tegangan output

$$\Delta V_o = \frac{V_oDT}{RC} = \frac{V_oD}{RCf}$$

atau

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{D}{RCf} \quad (2.15)$$

Dimana f merupakan frekuensi *switching*. Sebagai alternatif lain, kapasitansi yang sesuai dengan *ripple* tegangan output

$$C = \frac{D}{R\left(\frac{\Delta V_o}{V_o}\right)f} \quad (2.16)$$

2.5 Bagan Tancap

2.5.1 Gambaran Umum Bagan Tancap

Bagan tancap merupakan rangkaian atau susunan bambu berbentuk persegi empat yang ditancapkan sehingga berdiri kokoh di atas perairan, dimana pada tengah dari bangunan tersebut dipasang jaring. Dengan kata lain alat tangkap ini sifatnya *immobile*. Hal ini karena alat tersebut ditancapkan ke dasar perairan, yang berarti kedalaman laut tempat beroperasinya alat ini menjadi sangat terbatas yaitu pada perairan dangkal. Gambaran mengenai bagan tancap nelayan Ujung Pangkah, Gresik dapat dilihat pada gambar 2.14.

Pada dasarnya alat tangkap ini terdiri dari bangunan bagan yang terbuat dari bambu, jaring yang berbentuk segi empat yang diikatkan pada bingkai yang terbuat dari bambu. Pada keempat sisinya terdapat bambu – bambu menyilang dan melintang yang dimaksudkan untuk

memperkuat berdirinya bagan. Di atas bangunan bagan di bagian tengah terdapat bangunan rumah yang berfungsi sebagai tempat istirahat, pelindung lampu dari hujan dan tempat untuk melihat ikan[13].



Gambar 2.14 Bagan Tancap Nelayan Ujung Pangkah, Gresik

2.5.2 Musim Penangkapan

Penentuan musim penangkapan sangat mempengaruhi hasil tangkapan, termasuk jenis dan berat hasil tangkapan. Berikut merupakan data musim penangkapan ikan berdasarkan periode bulan dapat ditunjukkan pada tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1 Data musim penangkapan ikan berdasarkan periode bulan

No.	Musim	Bulan	Keterangan
1	Angin Barat	Desember – Februari	Cuaca buruk, hasil tangkapan menurun. Panen kerang hijau (<i>Perna viridis</i>)
2	Ikan Pengkah (<i>Esculosa elongata</i>)	Maret, April, Mei, Agustus, dan September.	Awal Maret masih masa peralihan 1 sampai pertengahan April

Tabel 2.1 Data musim penangkapan ikan berdasarkan periode bulan (lanjutan)

3	Ikan Ekor Kuning (<i>Caesio cuning</i>)	Juni dan Juli	Pertengahan musim angin timur
4	Ikan Teri (<i>Stolephorus sp.</i>)	Oktober dan November	Musim angin timur, masuk peralihan 2

Namun pada kenyataan di lapangan terkadang tidak seperti itu. Ternyata yang terjadi masih musim peralihan 1, dengan kondisi perairan masih membingungkan. Terkadang terjadi angin kencang dan gelombang tinggi serta belum terjadi musim ikan pengkah (*Esculosa elongata*). Sehingga hasil tangkapan yang didapatkan tidak sesuai dengan yang diharapkan. Biasa ketika musim ikan, nelayan minimal mendapatkan ikan dengan berat 3 Kw per harinya.

2.5.3 Hasil Tangkapan

Hasil tangkapan bagan tancap di Desa Ngemboh cukup beragam. Tetapi mereka tetap mempunyai target tangkapan utama yang mempunyai harga jual lebih tinggi daripada yang lainnya. Menurut nelayan setempat, hasil tangkapan utama nelayan bagan tancap di Desa Ngemboh, Ujung Pangkah, Gresik adalah sejenis ikan pelagis kecil seperti teri (*Stolephorus sp.*), pengkah (*Esculosa elongata*), ekor kuning (*Caesio cuning*), bilis (*Mystacoleucus padangensis*), krasak (*Thryssa sp.*).

Hasil tangkapan yang dominan adalah ikan belanak (*Mugil cephalus*) sebanyak 119,5 Kg dengan prosentase sebesar 30,50% dan ikan teri (*Spratelloides gracilis*) sebanyak 116,2 Kg dengan prosentase sebesar 29,66%. Hasil tangkapan yang tertinggi menggunakan lampu berwarna biru 125 Kg dengan prosentase sebesar 31,90%, lampu warna kuning mendapatkan hasil sebanyak 117,5 Kg dengan prosentase sebesar 29,99%, lampu warna putih mendapatkan hasil sebanyak 93 Kg dengan prosentase sebesar 23,74%, dan yang mendapatkan hasil tangkapan terendah adalah lampu warna merah 56,3 Kg dengan

presentase sebesar 14,37%. Perlakuan terbaik dihasilkan oleh lampu warna biru. Lampu warna biru lebih mengoptimalkan hasil tangkapan dibandingkan dengan warna lainnya[14].

2.6 Baterai

Terbatasnya ketersediaan akan energi matahari yang tidak sepanjang hari dapat diserap oleh panel surya oleh karena itu digunakanlah baterai sebagai alat media penyimpan energi. Baterai merupakan alat yang terdiri dari 2 atau lebih sel elektrokimia yang mengubah energi kimia yang tersimpan menjadi energi listrik. Tiap sel memiliki kutub positif (katoda) dan kutub negatif (anoda). Kutub yang bertanda positif menandakan bahwa memiliki energi potensial yang lebih tinggi daripada kutub bertanda negatif. Kutub bertanda negatif adalah sumber elektron yang ketika disambungkan dengan rangkaian eksternal akan mengalir dan memberikan energi ke peralatan eksternal. Ketika baterai dihubungkan dengan rangkaian eksternal, elektrolit dapat berpindah sebagai ion di dalamnya, sehingga terjadi reaksi kimia pada kedua kutubnya. Perpindahan ion dalam baterai akan mengalirkan arus listrik keluar dari baterai sehingga menghasilkan kerja.

2.6.1 Tipe – Tipe Baterai

Berikut merupakan tipe – tipe baterai yang sudah banyak digunakan pada umumnya dan merupakan tipe baterai yang dapat diisi ulang[15]:

2.6.1.1 Baterai Lead-Acid

Baterai *lead-acid* merupakan peralatan yang digunakan untuk menyimpan energi secara umum untuk sistem panel surya. Baterai *lead-acid* terdapat tipe 6V atau 12V yang ditempatkan pada wadah plastik. Baterai ini memiliki tipe *flooded cell* atau tipe *sealed/gel*.

2.6.1.2 Baterai Nickel –Cadmium (Ni - Cd)

Elektroda positif baterai Ni-Cd dibuat dari *cadmium* dan elektroda negatif dibuat *Nickel hydroxide* yang dipisahkan oleh pemisah *Nylon* yang dicelupkan dalam elektrolit *Potassium hydroxide* yang ditempatkan dalam selubung baja *stainless*. Itu memiliki siklus usia

yang lama dan suhu dapat ditoleransi dibandingkan dengan baterai *lead-acid*. *Cadmium* diganti dengan *metal hydride*, hal ini berkaitan dengan hukum peraturan lingkungan. Pengaruh memori dapat menurunkan kapasitas baterai ketika baterai tidak terpakai selama beberapa waktu.

Pengaruh memori merupakan proses mengetahui kapasitas *discharge* pada waktu lalu. Jika baterai *discharge* sampai 25% secara berulang, sehingga akan dapat diketahui dan jika *discharge* lebih besar daripada 25%, tegangan sel akan drop. Untuk memperoleh kapasitas penuh baterai, sebaiknya dikondisikan terlebih dahulu dengan *discharging* penuh yang kemudian dilakukan *charging* penuh dalam beberapa bulan.

2.6.1.3 Baterai Nickel – Metal hydride (Ni MH)

Tipe baterai ini merupakan pengembangan baterai NiCd dengan kerapatan energi tinggi. Anoda terbuat dari *metal hydride* sebagai ganti NiCd. Baterai jenis ini memiliki kapasitas lebih tinggi dan memiliki kemampuan menghantarkan daya puncak tinggi. Faktanya baterai NiMH memiliki siklus hidup lebih panjang dibandingkan baterai NiCd dan memiliki perlindungan terhadap *overcharge* dan *overdischarge*..

2.6.1.4 Baterai Lithium-ion (Li-ion)

Kerapatan energi baterai *Li-ion* paling tinggi dibandingkan dengan baterai NiMH. *Li-ion* memiliki efisiensi *volumetric* lebih tinggi dibandingkan dengan baterai berbasis *nickel*. Jenis baterai ini juga tidak memiliki efek memori dan ramah lingkungan. Baterai *Li-ion* harus *dicharge* penuh sebelum digunakan pertama kali.

2.6.1.5 Baterai Lithium-Polymer (Li-Po)

Baterai *lithium-polymer* menggunakan elektrolit *polymer* padat tidak seperti baterai *lithium* pada umumnya yang mana menggunakan elektrolit cair dan atau elektrolit gel *lithium-ion*. Lapisan elektrolit padat secara fisik berhimpit antara elektroda, lembaran tipis anoda dan katoda, kemudian sell terkandung dalam kertas terlamniasi dan tersegel pada tepi untuk membentuk baterai menyeluruh.

Sehingga sell menjadi sangat tipis dan fleksibel, tahan banting, lebih ulet di bawah tekanan, dan cocok dibuat menjadi beberapa bentuk. Maka dari itu, baterai *lithium-polymer* lebih ringan, fleksibel, dan tahan bocor.

2.6.2 Sistem Baterai Panel Surya

Baterai pada sistem panel surya sering diperlukan untuk proses *charging* dan *discharging*. Baterai *Lead Acid* dengan *discharge* tinggi biasanya digunakan untuk aplikasi pada panel surya. Baterai *Lead Acid* tipe gel digunakan untuk aplikasi *remote* yang mana pengoerasian perawatan dibutuhkan.

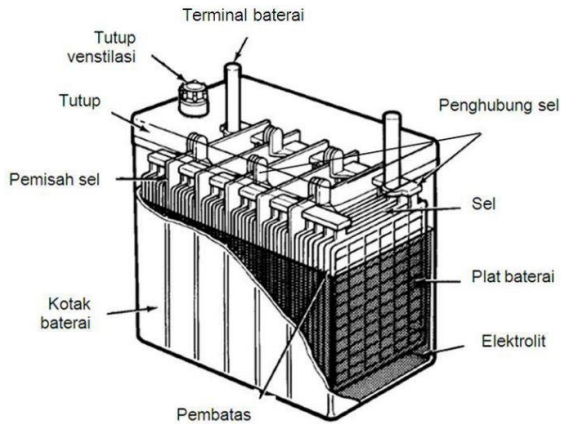
Untuk aplikasi baterai yang mudah dibawa kemana-mana biasanya digunakan jenis baterai *Nickel-Cadmium* atau *Ni-Metal*. Usia baterai bervariasi berkisar antara 3 sampai 5 tahun. Usia baterai bergantung pada siklus *charging/discharging*, suhu dan parameter lainnya.

Baterai untuk aplikasi panel surya didesain untuk memenuhi karakteristik sebagai berikut [16]:

1. Harga murah
2. Efisiensi enegi tinggi
3. Usia baterai lama
4. Perawatan mudah
5. Keandalan yang baik

2.6.3 Baterai *Lead-Acid*

Baterai *lead-acid* dibuat menggunakan timbal berbasis elektroda dan kisi. Kalsium mungkin ditambahkan sebagai bahan adiktif untuk memberikan kekuatan mekanik. Rumusan bahan aktif adalah beberapa timbal oksida. Untuk performa yang optimal, pabrik baterai memiliki rumusan milik mereka sendiri. Elektrolit merupakan larutan cair asam sulfur (H_2SO_4). Bahan aktif yang termasuk *electrochemical* merupakan elektrolit, elektroda positif dan negatif. Elektroda negatif pada baterai berisi *sponge-lead* (Pb) dan elektroda positif adalah *lead-oxide* (PbO_2). Terdapat bagian – bagian dari baterai *lead-acid* yang dapat dilihat pada gambar 2.15.



Gambar 2.15 Bagian – bagian baterai *lead-acid*

Ada beberapa tipe baterai *lead-acid* yang akan dibahas sebagai berikut[11]:

1. *Flood*: tipe *flooded* adalah jenis baterai basah dan baterai untuk *starting* mesin tradisional yang terdiri dari larutan yang terbuat dari elektrolit. Ketika habis, pengguna dapat dengan mudah menambahkan air suling.
2. *Sealed*: berbeda dari tipe *flooded*, baterai *sealed* tidak diperbolehkan pengguna untuk masuk dalam sel baterai melalui struktur internal, sama halnya seperti baterai *flooded* dan hanya saja sejumlah susunan dengan sedikit modifikasi. Pabrik harus cukup meyakinkan sejumlah asam di dalam ruang sel baterai sehingga baterai memungkinkan tahan terhadap reaksi kimia di bawah penggunaan normal.
3. VRLA (*Valve Regulated Lead Acid*): baterai VRLA memberikan keutamaan pengaturan katup, melepas gas hidrogen dan oksigen selama *charging*.
4. AGM (*Absorbed Glass Matte*): Elektrolit ditutup sangat rapat dengan piringan bahan aktif dalam baterai tipe AGM, secara teori dapat meningkatkan efisiensi *charge* dan *discharge*. Baterai ini, sebenarnya jenis baterai *sealed* VRLA, yang sudah menjadi sangat populer pada *starting* mesin.

5. GEL: Baterai sell gel dianggap lebih kering dibandingkan baterai AGM tetapi memiliki model yang sama karena, keduanya terdiri dari elektrolit tertutup. Elektrolit dalam sel GEL memiliki aditif silika yang menyebabkan pengerasan. Tegangan *charging* ulang pada tipe sell ini lebih rendah dibandingkan bentuk lain dari baterai lead-acid. Ini memungkinkan sell sangat sensitif terhadap *charging* yang berlebih.

2.6.4 Parameter Baterai

Beberapa parameter penting dalam baterai antara lain[17]:

- a. Kapasitas Baterai (Ah)

Total Ah ada ketika baterai *didischarge* pada arus *discharge* tertentu dari 100% SOC sampai dengan tegangan *cut-off*. Kapasitas dihitung dengan mengalikan arus *discharge* (dalam Ampere) dengan waktu *discharge* (dalam jam).
- b. Tegangan Baterai

Tegangan nominal atau tegangan referensi baterai juga kadang – kadang disebut dengan tegangan “normal” baterai. Tegangan ini biasanya bernilai 3V, 6V, 12V, dan 24V.
- c. *State of Charge* (SOC)(%)

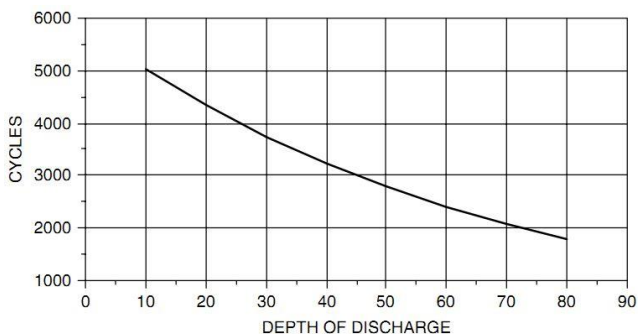
Keadaan kapasitas baterai yang sudah *dicharge* dinyatakan dalam presentase kapasitas maksimum atau kapasitas yang tersimpan. SOC pada umumnya dihitung dengan menggunakan beberapa metode integrasi arus ataupun tegangan untuk menentukan perubahan kapasitas baterai secara *real time*.
- d. *Depth of Discharge* (DOD) (%)

Presentase kapasitas baterai yang sudah *didischarge* dinyatakan sebagai presentase kapasitas maksimum atau DOD menyatakan kapasitas baterai yang sudah digunakan. Kapasitas *discharge* maksimal DOD adalah 80%. Pemilihan nilai DOD yang digunakan akan sangat penting untuk

menentukan jumlah siklus atau umur baterai yang diinginkan.

e. Siklus Hidup (*Cycle Life*)

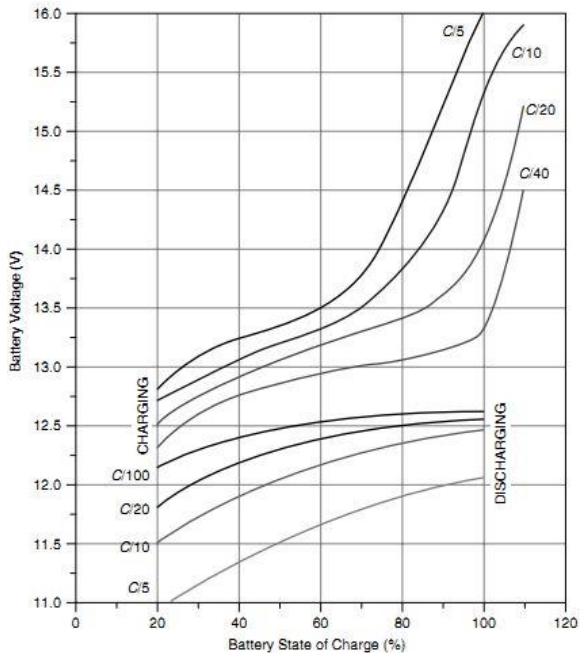
Siklus hidup baterai merupakan perkiraan kondisi *charge* dan *discharge* secara spesifik. Kondisi operasi yang sebenarnya dipengaruhi oleh tingkat siklus dan kondisi lainnya seperti misalnya suhu dan kelembapan. Semakin tinggi DOD, maka siklus hidup baterai semakin rendah. Misalnya, DOD sebesar 80% baterai akan memiliki siklus sekitar 1800 kali, angka ini setara dengan 5 tahun. Gambar 2.16 merupakan grafik yang mewakili pengaruh DOD terhadap jumlah *cycle* pada baterai *lead-acid*.



Gambar 2.16 Pengaruh DOD terhadap jumlah *cycle* pada baterai *lead-acid deep-cycle* [4]

f. Tingkat Pengisian dan Pengosongan (*C-rating*)

Dalam deskripsi baterai, arus *discharge* sering dinyatakan sebagai tingkat C-nya supaya untuk menormalkan kapasitas baterai, yang mana sangat berbeda antara baterai – baterai. Tingkat C-nya untuk mengukur kapasitas maksimum *discharge* baterai. 1C artinya bahwa arus *discharge* akan mendischarge baterai dalam 1 jam. Untuk baterai kapasitas 100Ah, setara dengan arus *discharge* 100A selama 1 jam, 5C untuk baterai adalah 500A, dan C/2 adalah 50A.



Gambar 2.17 Tegangan terminal dan SOC baterai *lead-acid* 12V untuk tingkat *charging* dan *discharging* bervariasi

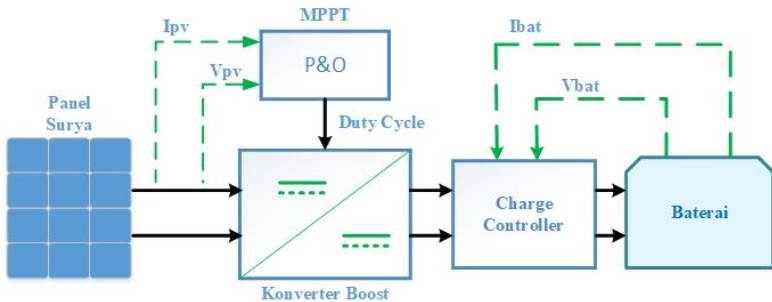
Dalam penerapannya terdapat perbedaan nilai tegangan baterai saat proses *charging* dan proses *discharging*. Baterai akan cenderung memiliki nilai tegangan yang lebih rendah saat mengalami proses *discharging*. Pada gambar 2.17 dijelaskan tentang grafik hubungan antara nilai tegangan baterai, nilai SOC baterai dan dengan nilai kapasitas pengisian dan pengosongan yang berbeda baik dalam keadaan *charging* dan *discharging*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3 DESAIN, SIMULASI, DAN IMPLEMENTASI

3.1 Permodelan Blok Sistem

Pada penelitian ini, simulasi dari sistem *Solar Charge Controller* secara keseluruhan menggunakan aplikasi SIMULINK yang ada pada *software* MATLAB 2015b. Simulasi sistem secara keseluruhan meliputi panel surya, konverter *boost*, *charge controller* dan baterai seperti ditunjukkan pada gambar 3.1.



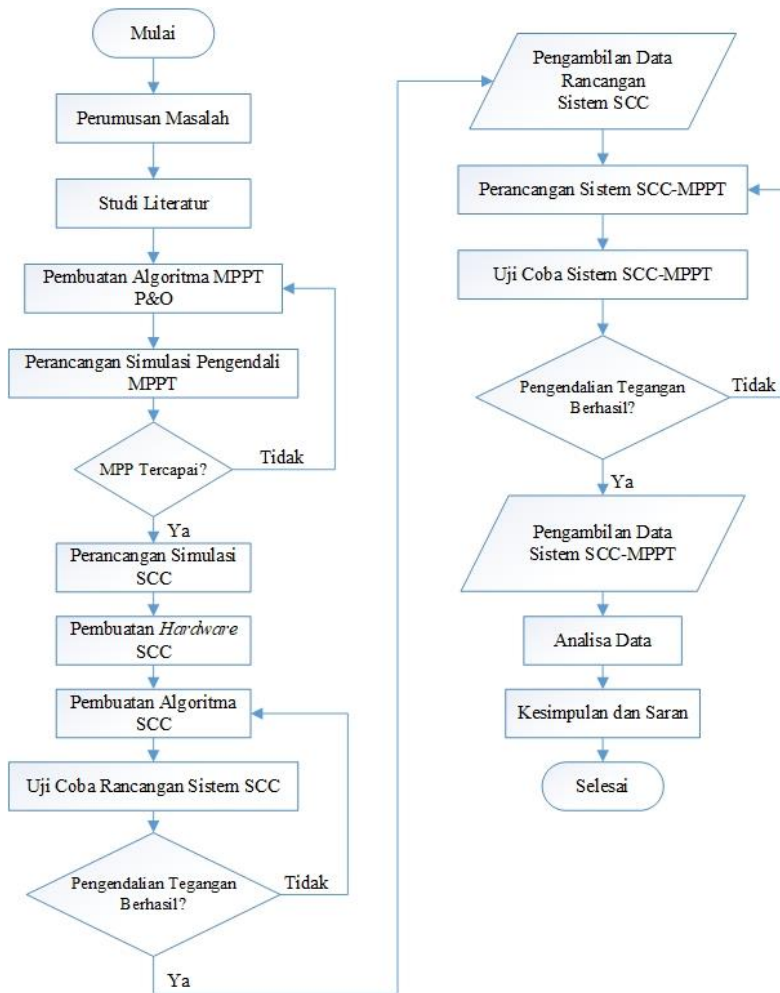
Gambar 3.1 *Solar Charge Controller* dengan MPPT

Sedangkan untuk konverter *boost* akan dioperasikan sebagai aktuator dari sistem MPPT dengan menggunakan algoritma *perturb and observe*.

Pada pemodelan tersebut hanya ditunjukkan blok diagram dari sistem *solar charge controller* berupa subsistem yang di dalamnya terdapat beberapa rangkaian. Tujuan pemodelan tersebut berguna untuk mempermudah pembaca melihat sistem secara keseluruhan.

3.2 Diagram Alir

Pada bab ini diuraikan langkah-langkah alur penelitian perancangan *solar charge controller* (SCC) pada sistem panel surya. Berikut diagram alir penelitian dalam mengerjakan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3.2 Diagram Alir Metode Penelitian

Berikut adalah rincian metodologi penelitian seperti gambar 3.2 yang akan dilaksanakan pada penelitian ini:

- a. Perumusan masalah untuk menentukan cakupan bahasan penelitian yang sudah dijabarkan pada bab I.
- b. Studi literatur tentang panel surya serta materi yang terkait konverter *boost*, *solar charge controller* (SCC), dan algoritma MPPT P&O yang sudah dicantumkan pada bab II.
- c. Merancang simulasi pada software MATLAB, perancangan sistem hardware SCC, dan melakukan pengambilan data tanpa MPPT.
- d. Merancang konverter *boost* dan membuat pemrograman algoritma MPPT *Perturb and Observe* (P&O) pada modul arduino sebagai elemen pengendali untuk mengendalikan daya keluaran pada konverter yang telah dirancang.
- e. Merancang sistem *solar charger controller* pada bagan tancap untuk pengujian rancangan terhadap pengendalian tegangan dan arus saat *charging*.
- f. Merancang sistem *solar charger controller* pada bagan tancap dengan algoritma P&O serta pengambilan data sistem SCC yang sudah dilengkapi MPPT.
- g. Melakukan analisis data dan membuat kesimpulan.

3.3 Desain Konverter *Boost*

Desain konverter dimulai dengan penentuan range tegangan kerja dari sistem serta besarnya beban maksimal. parameter ini akan berpengaruh pada besarnya nilai induktor, kapasitor serta komponen lainnya. Desain juga berpatokan pada peralatan pendukung yang tersedia di Laboratorium Konversi Energi Listrik ITS.

Tabel 3.1 Parameter Konverter *Boost*

Parameter	Nilai
Tegangan Input (V_{in})	17,5 V
Tegangan Output (V_{out})	20 V
Daya Output (P_{out})	80 W
Frekuensi switching	50 kHz
Ripple Arus induktor (ΔI_L)	5%
Ripple tegangan kapasitor (ΔV_o)	0,5%

Konverter didesain dengan spesifikasi tegangan output 20V untuk menyesuaikan arus *charging* pada baterai sebesar 4A. Hal ini mengacu pada spesifikasi baterai yang digunakan yang mana arus *charging* maksimal yang diperbolehkan adalah 4,5A. Frekuensi *switching* dari mosfet dipilih 50kHz dikarenakan diharapkan induktor memiliki dimensi sekecil mungkin sehingga diperlukan induktor dengan nilai induktansi rendah namun dapat melakukan *charging* dengan optimal.

Nilai ripple tegangan pada kapasitor menyesuaikan dengan komponen yang terdapat di pasaran. Dengan tegangan output 20V dan daya rating 80W, maka dapat diperoleh nilai arus yang mengalir pada sisi output adalah

$$P = \frac{V}{I} \quad (3.1)$$

$$I = \frac{P}{V} \quad (3.2)$$

$$I = \frac{80W}{20V} \quad (3.3)$$

$$I = 4 A \quad (3.4)$$

Nilai arus ini akan berpengaruh pada pemilihan belitan pada induktor. Nilai ripple arus induktor didesain 5% supaya sistem dapat bekerja secara CCM pada saat dibebani kondisi *rating* maupun pada saat beban kurang dari *rating*.

3.3.1 Penentuan *Duty Cycle*

Berdasarkan persamaan (2.8) yang diperoleh dari analisis mode *steady state*, maka besar nilai *duty cycle* adalah:

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

$$20 = \frac{17,5}{(1-D)}$$

$$20 - 20D = 17,5$$

$$20D = 2,5$$

$$D = 0,125$$

Nilai *duty cycle* yang digunakan adalah 12,5% dengan frekuensi *switching* yang digunakan 50 kHz. Kedua nilai tersebut digunakan sebagai acuan dalam pembuatan program di mikrokontroler arduino untuk membangkitkan sinyal PWM. Sinyal PWM ini akan digunakan sebagai masukan pada MOSFET.

3.3.2 Penentuan Nilai Resistansi Beban

Penentuan resistansi beban pada konverter mempertimbangkan nilai daya *output* dan tegangan *output* yang dapat dioperasikan oleh konverter, yaitu sebesar 80 Watt pada tegangan 20 Volt. Dengan menggunakan persamaan (2.9), nilai resistansi beban dapat ditentukan sebesar:

$$P_o = \frac{V_o^2}{R}$$

$$R = \frac{V_o^2}{P_o}$$

$$R = \frac{20^2}{80}$$

$$R = 5\Omega$$

3.3.3 Penentuan Nilai Induktor

Penentuan nilai induktor pada saat desain dapat ditentukan berdasarkan persamaan (2.15) saat konverter beroperasi dalam mode CCM (*Continuous Conduction Mode*), yaitu kondisi saat arus yang mengalir pada induktor tidak pernah bernilai nol.

Sebelum menentukan nilai induktor, maka perlu mengetahui nilai arus induktor terlebih dahulu. Besarnya arus yang melewati induktor dapat dicari berdasarkan persamaan (3.1). Berdasarkan persamaan tersebut, maka nilai arus induktor dipengaruhi oleh besarnya *duty cycle* dan arus *output*. Berikut perhitungan untuk mencari nilai arus yang melewati induktor :

$$L = \frac{V_s DT}{\Delta I_L}$$

$$L = \frac{V_s D}{\Delta I_L f}$$

$$L = \frac{17,5 \times 0,125}{0,2 \times 50000}$$

$$L = \frac{2,1875}{10000}$$

$$L = 219 \mu H$$

Perancangan dan implementasi induktor dimulai dengan penentuan kawat email yang digunakan sebagai belitan induktor. Penentuan jenis kawat email berdasarkan dua parameter, yaitu frekuensi *switching* dari konverter dan arus maksimal yang melewati induktor. Nilai frekuensi *switching* yang digunakan adalah 50 kHz sedangkan untuk arus pada tiap-tiap induktor dapat dicari menggunakan arus input dan arus output.

Berdasarkan parameter frekuensi *switching*, kawat yang digunakan untuk induktor harus mampu bekerja pada frekuensi 50kHz sehingga dipilih kawat AWG25 yang memiliki diameter 0,45mm dengan resistansi 0,106Ω/m, kapasitas hantar arus maksimum sebesar 0,457A. Kawat tersebut dapat digunakan untuk frekuensi *switching* maksimum sebesar 85kHz[18].

Berdasarkan parameter arus, kawat induktor harus mampu menahan arus sebesar 4A. Nilai tersebut merupakan nilai arus yang mengalir pada induktor dengan mempertimbangkan ΔI_L . Dalam implementasinya, nilai arus yang melewati induktor bisa lebih besar daripada nilai yang ada di perhitungan. Hal ini bisa terjadi karena komponen yang terdapat di pasaran tidak dalam kondisi ideal. Maka dari itu, induktor didesain dapat dilewati arus melebihi nilai 4A. Untuk faktor keamanan maka dipilih kawat AWG11 yang memiliki kapasitas arus lebih besar yaitu memiliki diameter 2,303mm dengan resistansi 0,004Ω/m, kapasitas daya hantar arus maksimum 12A dan frekuensi maksimal 3,2kHz. Maka dengan kawat yang tersedia harus dilakukan pemilihan pada kawat AWG agar sesuai dengan spesifikasi pada desain.

Selanjutnya dilakukan pemilihan untuk menambah kapasitas daya hantar arus dari kawat AWG tersebut. Selain itu pemilihan juga dapat mengurangi *skin effect*, mengurangi resistansi dan meningkatkan elastisitas konduktor yang digunakan. Penentuan jumlah pilinan didapatkan dari hasil pembagian antara diameter kawat kapasitas arus

besar dengan kawat kapasitas arus kecil. Perhitungan jumlah pilinan pada masing masing induktor sebagai berikut:

$$n_{kawat} = \frac{d_{AWG\ 11}}{d_{AWG\ 25}} = \frac{2,303}{0,45} = 5,18 \approx 6$$

Sehingga kawat email yang dipilin pada induktor L sejumlah 6 kawat email jenis AWG25.

Selanjutnya dalam mendesain pembuatan induktor dilakukan pemilihan berdasarkan kapasitas frekuensi dari inti. Maka dipilih inti ferrite dengan merk TDK Core B66387 dengan nilai AL sebesar 1214 nH. Gambar 3.3 merupakan bentuk inti induktor dengan tipe TDK Core B66387. Sehingga untuk mendapatkan nilai induktansi yang di inginkan diperlukan perhitungan jumlah belitan N pada masing-masing induktor sebagai berikut:

$$N = \sqrt{\frac{L}{A_L}}$$

$$N = \sqrt{\frac{219\ \mu H}{1,214\ \mu H}} = 13,43 \approx 14$$

Keterangan :

N : jumlah belitan

L : nilai induktansi induktor (dalam nH)

AL : faktor induktansi



Gambar 3.3 Inti induktor TDK Core B66387

3.3.4 Penentuan Nilai Kapasitor

Dalam menentukan kapasitor, perlu diketahui besar tegangan pada kapasitor. Penentuan nilai tegangan kapasitor pada konverter didasarkan pada persamaan (2.8) :

$$V_{C_o} = V_O = \frac{V_s}{(1-D)}$$

$$V_{C_o} = \frac{17,5}{(1-0,125)}$$

$$V_{C_o} = 20V$$

Penentuan nilai kapasitor dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.16) dengan memperhitungkan parameter yang telah ditentukan pada tabel 3.2. Besarnya nilai kapasitansi kapasitor adalah sebagai berikut :

$$C = \frac{D}{R\left(\frac{\Delta V_o}{V_o}\right)f}$$

$$C = \frac{0,125}{5 \times \left(\frac{0,1}{20}\right) \times 50000}$$

$$C = \frac{0,125}{1250}$$

$$C = 100\mu F$$

Dalam implementasi, nilai kapasitor yang digunakan untuk rangkaian konverter disesuaikan dengan yang terdapat di pasaran. Maka dari itu, digunakan kapasitor dengan nilai 470 μ F 35 Volt. Jadi nilai ripple tegangan pada kapasitor menjadi :

$$C = \frac{D}{R\left(\frac{\Delta V_o}{V_o}\right)f}$$

$$\Delta V_o = \frac{D}{R\left(\frac{C}{V_o}\right)f}$$

$$\Delta V_o = \frac{0,125}{5 \times \left(\frac{470 \times 0,000001}{35}\right) \times 50000}$$

$$\Delta V_o = \frac{0,125}{3,35}$$

$$\Delta V_o = 0,029 = 0,00145\%$$

Berdasarkan persamaan (2.8), tegangan maksimal kapasitor adalah setengah dari tegangan output, yakni 10 V. Namun untuk lebih amannya karena dalam implementasi terdapat tegangan spike pada tegangan output maka dipilih tegangan kapasitor sebesar 35 V.

3.3.5 Penentuan MOSFET

Rangkaian konverter *boost* pada sistem *solar charge controller* menggunakan MOSFET sebagai sakelar elektronik. Pemilihan jenis MOSFET yang akan digunakan berdasarkan kapasitas arus yang mengalir pada Drain ke Source (I_{ds}), tegangan Drain ke Source (V_{ds}), serta frekuensi *switching* MOSFET. Besarnya V_{ds} dapat dihitung berdasarkan analisis ketika kondisi sakelar terbuka yang terdapat pada gambar 2.10. Tegangan V_{ds} sama dengan V_{C_o} , yaitu :

$$V_{ds} = V_{C_o} = 20V$$

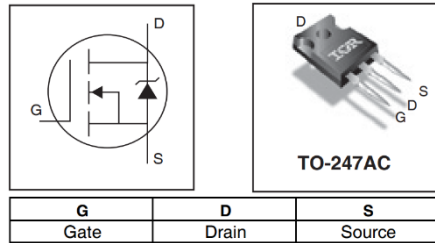
Untuk arus yang melewati sakelar MOSFET setara dengan arus pada induktor L_1 saat mode *charge* sehingga dapat ditentukan dengan persamaan (2.10):

$$I_{ds} = I_L = \frac{V_o I_o}{V_s}$$

$$I_{ds} = \frac{20 \times 4}{17,5}$$

$$I_{ds} = 4,57A$$

Parameter terakhir adalah frekuensi *switching* yang didesain 50 kHz. Sehingga dipilih MOSFET IRFP4332 dengan tegangan pada *gate-source* sebesar $\pm 30V$. Dan mampu menahan tegangan V_{ds} sebesar 250V, sedangkan arus maksimum yang dapat mengalir pada *drain-source* I_{DS} sebesar 40A. MOSFET ini memiliki frekuensi *switching* maksimumnya dapat mencapai 3,45MHz. IRFP4332 yang digunakan ditunjukkan pada gambar 3.4 berikut.



Gambar 3.4 MOSFET IRFP4332

3.3.6 Penentuan Dioda

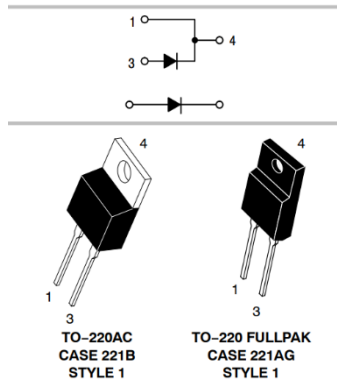
Dioda pada konverter *boost* berfungsi sebagai penentu arah aliran arus pada mode sakelar tertutup dan sakelar terbuka. Penentuan dioda saat implementasi sama halnya seperti penentuan MOSFET yaitu berdasarkan pada parameter tegangan, arus dan frekuensi *switching*. Berikut nilai kapasitas arus dioda :

$$I_D = \left(\frac{1}{1-D}\right) I_{out}$$

$$I_D = \left(\frac{1}{1-0,125}\right) \times 4$$

$$I_D = 4,57A$$

Untuk parameter frekuensi mengikuti desain dari frekuensi *switching*, yaitu sebesar 50kHz. Sehingga dengan mempertimbangkan ketiga parameter, maka dipilih dioda MUR1560. Dioda ini memiliki kapasitas arus maksimum sebesar 15A dengan DC *blocking voltage* sebesar 600V. Dioda ini merupakan dioda *ultrafast switching* dikarenakan memiliki waktu *recovery time* yang sangat cepat yaitu sebesar 60ns atau setara dengan frekuensi *switching* sebesar 16,7MHz. MUR1560 yang digunakan ditunjukkan pada gambar 3.5 berikut.



Gambar 3.5 Dioda MUR1560

Berdasarkan perhitungan desain yang telah dilakukan dan juga memperhatikan ketersediaan nilai dari komponen dipasaran, maka komponen yang dibutuhkan dalam implementasi konverter *boost* dapat dilihat pada tabel 3.2 sebagai berikut :

Tabel 3.2 Parameter komponen pada konverter *boost*

Komponen	Nilai
Resistansi beban R_O	5 Ω
Induktor	219 μH
Kapasitor	470 $\mu\text{F}/35\text{V}$
MOSFET	IRFP 4332
Dioda	MUR 1560

3.4 Desain PLTS pada Sistem Bagan Tancap

3.4.1 Kebutuhan Panel Surya

Perencanaan PLTS yang dikembangkan pada sistem bagan tancap yang direncanakan menyuplai energi listrik dengan kapasitas sebesar 50% dari kebutuhan energi (beban puncak di malam hari). Untuk sistem bagan tancap di Ujung Pangkah, Gresik dengan beban puncak di malam hari 50W. Panel surya yang digunakan sebagai bahan analisa ini adalah panel surya monokristalin 80 Wp, 17.5 Vmp. Dari spesifikasi panel surya tersebut maka jumlah panel surya yang dibutuhkan pada sistem adalah:

$$\begin{aligned}
& \text{Jumlah panel surya} \\
&= \frac{\text{Daya Total PLTS}}{\text{Daya Panel Surya}} \\
&= \frac{80Wp}{80 Wp} \\
&= 1 \text{ panel surya}
\end{aligned} \tag{3.5}$$

3.4.2 Parameter Baterai

Jenis baterai yang digunakan pada penelitian ini adalah baterai SMT-POWER SMT1218, baterai ini termasuk jenis baterai *lead-acid* yang mana banyak digunakan dalam aplikasi panel surya. Pemilihan baterai tipe ini untuk memenuhi kebutuhan beban lampu DC pada sistem kelistrikan bagan tancap:

$$\begin{aligned}
\text{a. Jumlah energi} \\
&= \text{beban} \times \text{lama pemakaian} \\
&= 50W \times 4 \text{ jam} \\
&= 200 Wh
\end{aligned} \tag{3.6}$$

$$\begin{aligned}
\text{b. Kapasitas (Ah)} \\
&= \frac{\text{jumlah energi}}{\text{spesifikasi tegangan baterai}} \\
&= \frac{200Wh}{12V} \\
&= 16,66Ah
\end{aligned} \tag{3.7}$$

Dari perhitungan kebutuhan beban sistem bagan tancap tersebut didapatkan kapasitas baterai yang dibutuhkan adalah sebesar 16,66Ah. Namun dengan menyesuaikan besar kapasitas baterai yang beredar di pasaran maka dipilih baterai dengan kapasitas sebesar 18Ah.

Baterai yang digunakan pada penelitian ini memiliki spesifikasi seperti ditunjukkan pada tabel 3.3 sebagai berikut :

Tabel 3.3 Spesifikasi Baterai SMT-POWER SMT1218

Parameter	Nilai
Cell per unit	6
Nominal Voltage	12 V
Nominal Capacity	18 Ah

Tabel 3.3 Spesifikasi Baterai SMT-POWER SMT1218 (lanjutan)

Weight	Approx. 5,27 Kg
Internal Resistance	Approx 12,42 m Ω
Recommended Maximum Charging Current Limit	4,5 A
Float Charging Voltage	14,5 – 14,9 V
Equalization and Cycle Service	13,5 – 13,9 V

3.4.3 Parameter Panel Surya

Sumber daya utama dari sistem *solar charge controller* pada penelitian ini menggunakan panel surya. Beban yang digunakan pada implementasi sistem *solar charge controller* ini adalah baterai. Spesifikasi baterai pada sub bab sebelumnya telah dibahas yang memiliki rating pengoperasian sebagai berikut :

Nominal Voltage	12 V
Nominal Capacity	18 Ah
Recommended Maximum Charging Current Limit	4,5 A

Dengan mempertimbangkan rating dari baterai tersebut maka digunakan panel surya yang memiliki kapasitas daya sebesar 80W dengan mengasumsikan rugi-rugi daya pada konverter dianggap nol.

Sehingga dipilihlah panel surya dengan merk “Rayden Solar” dengan spesifikasi bahan semikonduktor pada panel surya menggunakan tipe “*monocrystalline*”. Panel surya tersebut nantinya akan digunakan sebagai sumber daya utama pada sistem *solar charge controller* yang dirancang dengan *datasheet* ditunjukkan pada tabel 3.4 berikut.

Tabel 3.4 *Datasheet* solar panel rayden solar

Parameter	Nilai
Model	Rayden Solar RD80P-18
Daya maksimum (Pmax)	80 Watt
Tegangan saat daya maksimum (Vmp)	17,5 Volt
Arus saat daya maksimum (Imp)	4,57 Ampere

Tabel 3.4 *Datasheet* solar panel rayden solar (lanjutan)

Tegangan buka (V_{oc})	20,6 Volt
Arus hubung singkat (I_{sc})	4,88 Ampere
Temperatur normal (NOCT)	$47 \pm 2^{\circ}C$
Tegangan maksimum sistem	1000VDC
Rating fuse maksimum	10A
Temperatur operasi	$-40^{\circ}C$ to $+85^{\circ}C$
<i>Application Class</i>	Class A
<i>Cell Technology</i>	Poly-si
Berat	6.8kg
Dimensi	860*670*30mm

3.5 Desain Solar Charge Controller

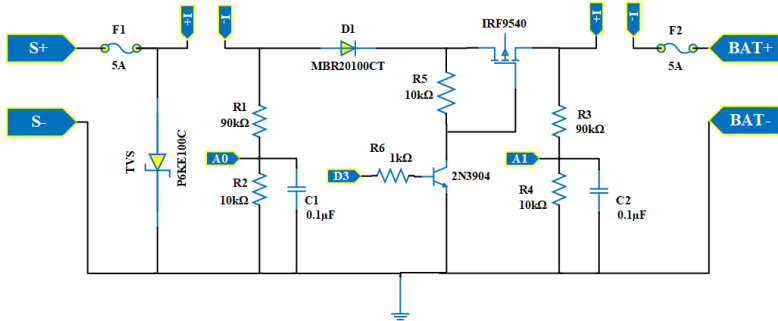
Charge controller sudah dianggap sebagai salah satu alat penting dalam sistem panel surya *stand-alone* untuk melindungi baterai dari kerusakan dalam hal ini salah satunya adalah *overcharging*. *Charge controller* mengatur daya masukan dan dengan demikian mencegah *overcharging*. Hal ini dapat dilakukan dengan membatasi arus dan atau tegangan masukan sesuai dengan algoritma yang dibuat. Desain *solar charge controller* dapat dilihat pada gambar 3.6.

Pada desain rangkaian *solar charge controller* terdiri dari rangkaian proteksi, sensor tegangan, sensor arus, dan rangkaian kontrol. Rangkaian proteksi terdiri fuse dan dioda. Fuse digunakan untuk melindungi *charge controller* jika terjadi *over current* yang nantinya diimplementasikan pada sisi panel surya dan sisi baterai. Fuse yang digunakan sebesar 5A.

Terkadang gangguan *overvoltage* dapat terjadi pada sistem suplai daya untuk bermacam-macam alasan, pada desain *solar charge controller* ini menggunakan dioda tipe TVS P6KE100CA yang mampu menahan gangguan *overvoltage* hingga 105V terkhusus pada terminal panel surya. Untuk proteksi aliran arus balik dan polaritas balik digunakan *power diode* dengan tipe MBR20100CT. Jenis dioda ini memiliki kemampuan untuk menahan tegangan balik sebesar 100V dan arus balik sebesar 20A.

Solar charge controller mendeteksi tegangan dan arus yang mengalir dari baterai, kemudian data akan diolah oleh mikrokontroler Arduino

yang akan mengambil keputusan terhadap perubahan *duty cycle* yang terjadi.



Gambar 3.6 Desain *Solar Charge Controller*

Sensor memiliki peran yang sangat penting dalam sistem ini dalam penentuan *setpoint* pada proses *charging* baterai. Sensor arus pada rangkaian ini menggunakan ACS 712. Sensor arus ACS 712 dapat dilihat pada gambar 3.7



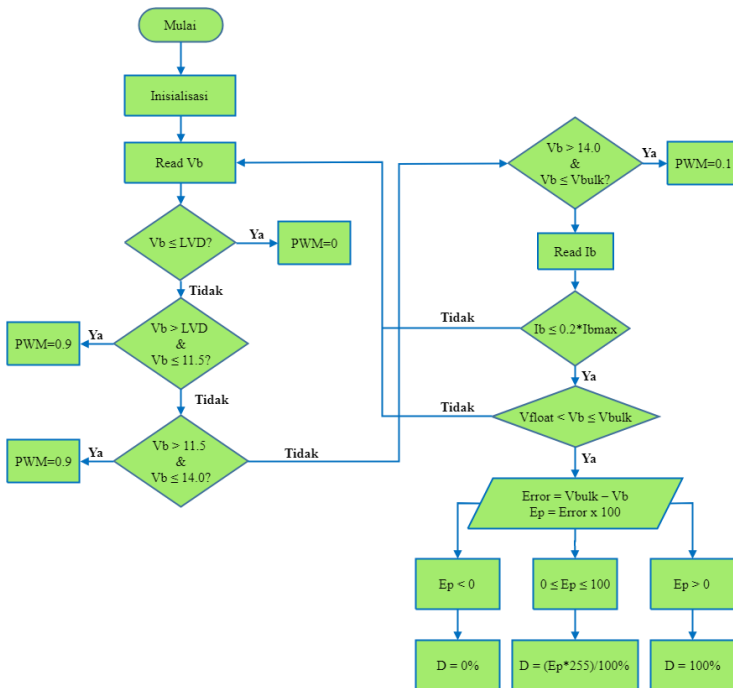
Gambar 3.7 Sensor arus ACS712

Sensor tegangan pada rangkaian *solar charge controller* menggunakan resistor *multiturn* dengan set faktor pengalinya sebesar 10x. Sehingga dapat diperoleh tegangan tidak lebih dari 5V. Pada saat kalibrasi sensor tegangan, jika tegangan aktual terbaca 10V maka dijadikan tegangan 1V yang akan diolah oleh mikrokontroler Arduino. Sehingga ADC membaca data sensor tegangan berupa data digital pada sensor tegangan. Sensor tegangan dapat dilihat pada gambar 3.8



Gambar 3.8 Sensor tegangan

Rangkaian kontrol pada sistem *solar charge controller* ini menggunakan MOSFET yang dikendalikan dengan sinyal PWM dari mikrokontroler Arduino. Sinyal dari PWM perlu dilakukan penguatan dengan menggunakan MOSFET *driver*. MOSFET *driver* didesain dengan membutuhkan dua resistor yaitu satu resistor bernilai $1k\Omega$ yang dipasang setelah pin Arduino dan satu resistor bernilai $10k\Omega$ dipasang diantara *Gate* dan *Source* MOSFET. Resistor $1k\Omega$ digunakan karena *gate* memiliki nilai kapasitif tinggi dan dapat menarik arus besar dengan cepat ketika kondisi ON. Sedangkan untuk resistor $10k\Omega$ digunakan untuk meyakinkan MOSFET pada kondisi OFF ketika pin Arduino diset menjadi LOW dan melindungi dari *noise* yang mungkin di atas tegangan *threshold* MOSFET. Sistematika kerja keseluruhan pada *solar charge controller* menggunakan algoritma yang dijelaskan dengan *flowchart* pada gambar 3.9 berikut.



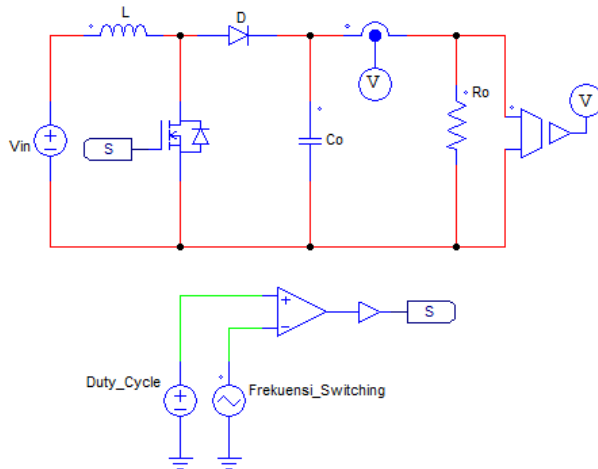
Gambar 3.9 *Flowchart* sistem *solar charge controller*

3.6 Simulasi dan Implementasi Sistem

Simulasi digunakan untuk melihat respon sistem secara keseluruhan serta mendapatkan gambaran umum saat melakukan implementasi sistem *solar charge controller*.

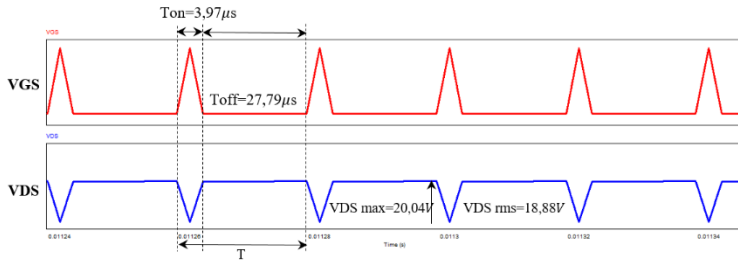
3.6.1 Simulasi Konverter dalam Keadaan *Steady State*

Simulasi dilakukan untuk memastikan bahwa desain konverter yang telah dibuat dapat bekerja sesuai dengan teori. Simulasi dicek pada mode *steady state* agar dapat dipastikan kinerja konverter saat sudah mencapai kondisi stabil. Rangkaian simulasi konverter dapat dilihat pada gambar 3.10



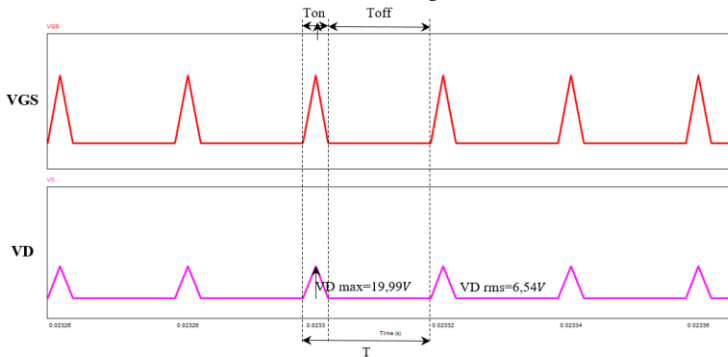
Gambar 3.10 Simulasi konverter kondisi *steady state*

Tegangan masukan simulasi bernilai konstan yaitu sebesar 17.5 Volt dan tegangan keluaran konstan sebesar 20 Volt dengan daya 80 Watt. Nilai duty cycle PWM sebesar 12,5% dengan frekuensi 50 kHz.



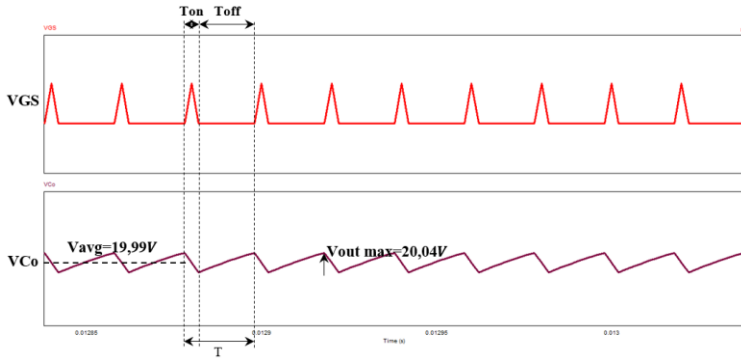
Gambar 3.11 Bentuk gelombang tegangan V_{GS} dan I_{DS}

Gambar 3.11 merupakan bentuk gelombang *switching* tegangan *gate-source* dan tegangan *drain-source*. Ketika sinyal PWM diberikan pada *gate-source* berlogika “ 1 ”, maka MOSFET akan merespon dengan berubahnya tegangan pada sisi *drain-source* menjadi logika “ 0 ” sehingga akan ada arus yang mengalir dari *drain-source*. Ketika mode konduksi, MOSFET akan membuka selama $3.97 \mu s$ sedangkan saat mode non konduksi, MOSFET akan menutup selama $27.79 \mu s$. Nilai tersebut sudah memenuhi desain yang diinginkan yaitu *duty cycle* 0,125 dengan frekuensi *switching* sebesar 50 kHz. Untuk nilai tegangan maksimal dari *drain-source* MOSFET bernilai 20,04 V pada saat keadaan non konduksi.



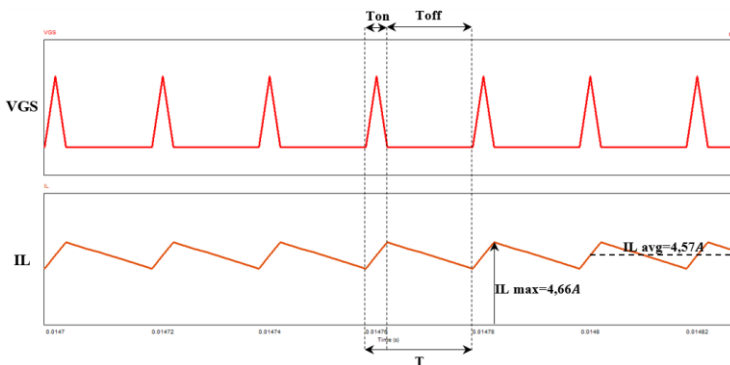
Gambar 3.12 Bentuk gelombang tegangan MOSFET V_{GS} dan dioda V_D

Pada gambar 3.12, saat sakelar konduksi, maka dioda D mengalami forward biased, yaitu arus dapat melalui dioda tersebut, sehingga tegangan dioda menjadi nol. Tegangan V_D max bernilai 19,99 V.



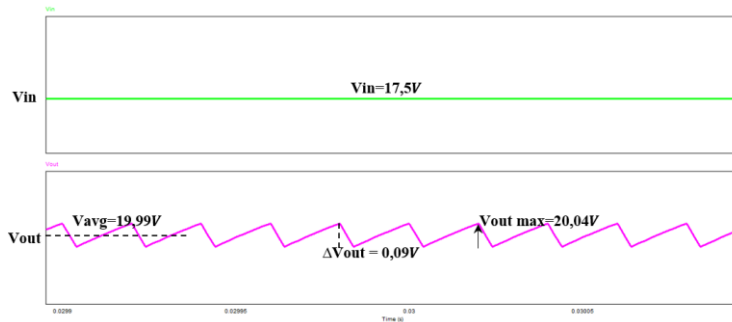
Gambar 3.13 Bentuk gelombang tegangan MOSFET V_{GS} dan kapasitor V_{Co}

Selanjutnya bentuk karakteristik gelombang tegangan kapasitor C_o dapat dilihat pada gambar 3.13. Pada saat ton, kapasitor C_o mengalami fase discharging yang mengakibatkan energi yang tersimpan di dalam kapasitor akan disalurkan ke rangkaian. Sedangkan pada saat toff, kapasitor C_o mengalami fase charging. Besar nilai tegangan max untuk kapasitor C_o adalah 20,04 V dan tegangan rata-rata kapasitor V_{Co} adalah 19,99 V.



Gambar 3.14 Bentuk gelombang tegangan MOSFET V_{GS} dan gelombang arus induktor I_L

Gambar 3.14 di atas adalah bentuk gelombang arus pada induktor L. Pada saat sakelar konduksi dan terbuka yang ditunjukkan oleh gelombang V_{GS} . Saat sakelar konduksi, terjadi proses charging pada induktor L dan saat sakelar terbuka, terjadi proses discharging pada L. Dari hasil simulasi, didapatkan nilai I_L max sebesar 4,66 A dan I_L avg sebesar 4,57 A. Hasil simulasi telah sesuai dengan perhitungan. Selain itu dapat dilihat bahwa nilai *ripple* arus pada masing-masing induktor sedikit berbeda dari desain yang telah ditetapkan, akan tetapi nilai *error* tersebut masih dapat di toleransi. Nilai *ripple* arus induktor L adalah 0,18 A.



Gambar 3.15 Bentuk gelombang tegangan input dan output pada konverter *boost*

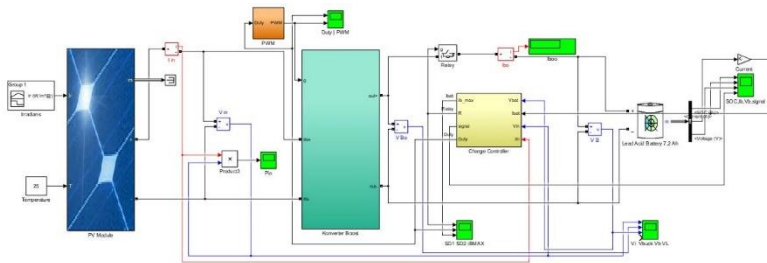
Gambar 3.15 menunjukkan tegangan pada sisi input dan output konverter. Pada sisi input besar tegangannya tetap yaitu 17,5 V. Sedangkan tegangan output memiliki nilai *average* sebesar 19,99 V dengan *ripple* 0,09 V yang sudah sesuai dengan desain yang ditetapkan.

3.6.2 Simulasi Sistem *Solar Charge Controller* dengan *MPPT*

Simulasi sistem secara keseluruhan menggunakan aplikasi SIMULINK di MATLAB, proses charging pada sistem *Solar Charge Controller*. Gambar 3.16 menunjukkan diagram blok pengendalian sistem SCC dengan metode yang akan digunakan, yaitu metode *multi-stage charging*.

Pada teknik ini dikendalikan nilai tegangan baterai yang dibandingkan dengan tegangan *setpoint* pada setiap *stage* (tahapan) dengan pengendali metode *three stage charging*.

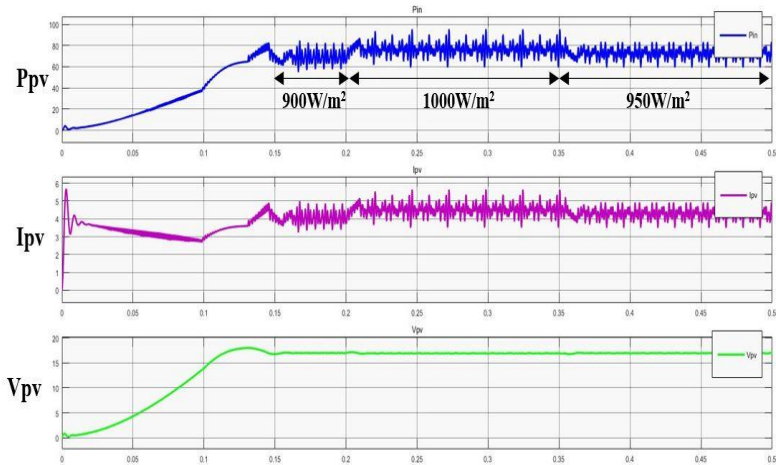
Desain mengintegrasikan sistem panel surya, konverter *boost*, *charge controller*, dan baterai *lead-acid* 18Ah. Konverter *boost* difungsikan sebagai MPPT P&O, sehingga dapat memaksimalkan energi untuk *charging* baterai. *Charge controller* digunakan untuk menjalankan metode *multi-stage charging*. Simulasi ini digunakan untuk melihat respon sistem *Solar Charge Controller* dari sumber hingga beban. Rangkaian sistem secara keseluruhan dapat dilihat pada gambar 3.16 berikut:



Gambar 3.16 Simulasi *solar charge controller* dengan MPPT

Dalam sistem SCC yang dirancang menggunakan metode *multi-stage charging* difungsikan untuk proteksi terhadap *overcharging* yang mana akan dijalankan dengan pengimplementasian yang diatur oleh mikrokontroler.

Rangkaian konverter *boost* dalam sistem *solar charge controller* menggunakan parameter yang telah ditentukan saat desain. Dalam simulasi tersebut akan diamati bentuk gelombang tegangan output panel surya (V_{pv}), arus output panel surya (I_{pv}), daya panel surya (P_{pv}), serta respon. Dalam simulasi yang dilakukan semua komponen yang digunakan dalam kondisi ideal.

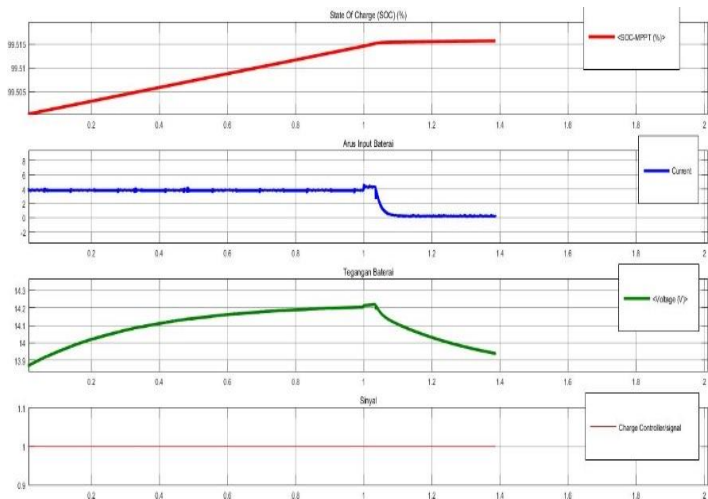


Gambar 3.17 Gelombang PMPP, gelombang VMPP, dan gelombang IMPP pada MPPT sistem *Solar Charge Controller* dengan konverter *boost*

Dari gambar 3.17 dapat dilihat bahwa sistem *MPPT* pada *Solar Charge Controller* yang disimulasikan dapat mengikuti daya maksimal yang dihasilkan dari panel surya. Dengan menggunakan variasi iradian mulai dari 900 W/m², 1000 W/m² dan 950 W/m². Daya maksimal yang dapat dihasilkan dari setiap iradian matahari tersebut berturut-turut adalah 76,17W, 80W, dan 72,79W.

Pengujian sistem SCC akan dilakukan pada tahap ini untuk mengetahui respon charging dari pengaruh pemberian algoritma MPPT P&O. Serta untuk mengetahui keberhasilan sistem dalam mengendalikan daya listrik baterai. Simulasi dijalankan dengan kondisi tingkat SOC mendekati 100% atau kondisi kapasitas baterai mendekati kapasitas maksimumnya.

Metode *three stage charging* dengan MPPT P&O sesuai juga menggunakan koefisien reduksi untuk mengurangi arus pada saat mode *absorption stage* yaitu 0,9 karena peningkatan SOC akan kurang dari 1% kapasitas nominalnya, yaitu 18Ah. Tegangan maksimum baterai pada kedua metode adalah 13,9 V agar mempercepat proses simulasi. Saat detik ke 0,5 diberikan step radiasi dari 1000 W/m² ke 800 W/m² pada kedua metode.



Gambar 3.18 Gelombang *State Of Charge (SOC)*, gelombang arus baterai, dan gelombang tegangan baterai pada sistem *Solar Charge Controller*

Pada gambar 3.18 ditunjukkan hasil simulasi sistem *solar charge controller* dengan menggunakan metode *three stage charging* yang mana pada saat mode *bulk stage* ditunjukkan dengan adanya arus input konstan. Ketika tegangan baterai sudah mendekati 90 – 95% kapasitas baterai maka mode akan diubah menjadi mode *absorption stage* yang mana pada tahap ini tegangan baterai akan dikonstankan dengan diikuti pengurangan arus baterai sampai mencapai $C/100$. Setelah arus baterai mencapai $C/100$ maka mode *charging* diubah kembali menjadi mode *floating* yang berfungsi untuk menjadikan baterai pada kondisi *standby used* serta untuk mengurangi efek *gassing*.

3.6.3 Implementasi Sistem *Solar Charge Controller*

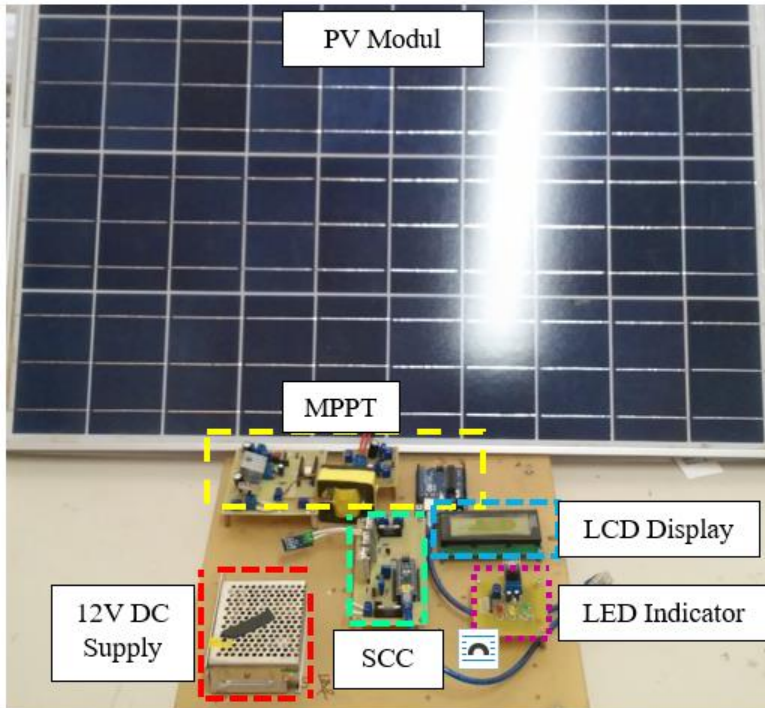
Pada sub bab ini akan dibahas mengenai implementasi sistem *Solar Charge Control*. Implementasi dilakukan untuk mengetahui kinerja dari sistem pada kondisi riil. Berikut merupakan komponen serta parameter yang digunakan pada implementasi sistem *Solar Charge Controller* seperti ditunjukkan pada tabel 3.5.

Tabel 3.5 Komponen sistem *solar charge controller*

Parameter Solar Panel	Nilai
Panel Surya	Rayden Solar RD80P-18
Daya MPP	80 WP
Tegangan V_{MPP}	17,5 V
Arus I_{MPP}	4,57 A
Komponen & Parameter Konverter Boost	Nilai
Micro Controller	Arduino Uno
Frekuensi <i>switching</i>	50kHz
Induktor L	219 μ H
Kapasitor Co	Panasonic 47 μ F / 53 V
Dioda D	MUR 1560
MOSFET S_1	IRFP4332
Driver MOSFET	FOD3182
Supply Driver MOSFET	12 Vdc
Komponen Sensor	Nilai
Sensor Tegangan	Multiturn 100k Ω
Sensor Arus	ACS 712

Semua komponen yang digunakan pada implementasi sistem *Solar Charge Controller* mengikuti ketersediaan komponen yang ada di pasaran. Nilai komponen pada implementasi merupakan nilai yang lebih besar dari pada nilai komponen yang telah didesain. Hal tersebut bertujuan untuk mengantisipasi konverter dalam keadaan DCM.

Implementasi sistem *solar charge controller* dapat dilihat pada gambar 3.19 yang terdiri dari beberapa komponen yaitu panel surya modul 80Wp, SCC (*Solar Charge Controller*), MPPT yang terdiri dari konverter *boost* dan mikrokontroler Arduino yang diberikan algoritma P&O (*Perturb and Observe*), Suplai DC 12V yang digunakan untuk suplai *driver* MOSFET, LCD *display* untuk menampilkan nilai tegangan panel surya, tegangan baterai, dan arus baterai, serta LED *indicator* untuk memberikan tanda kondisi baterai saat kosong ataupun penuh.



Gambar 3.19 Implementasi sistem *solar charge controller*

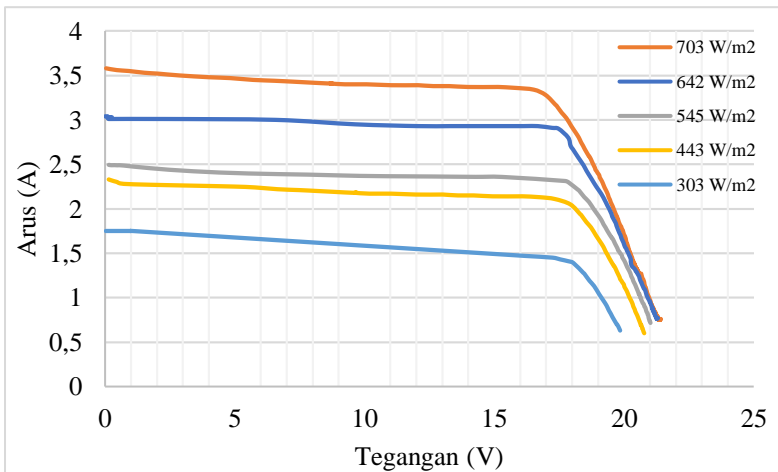
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4 PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA

4.1 Kurva Karakteristik Panel Surya

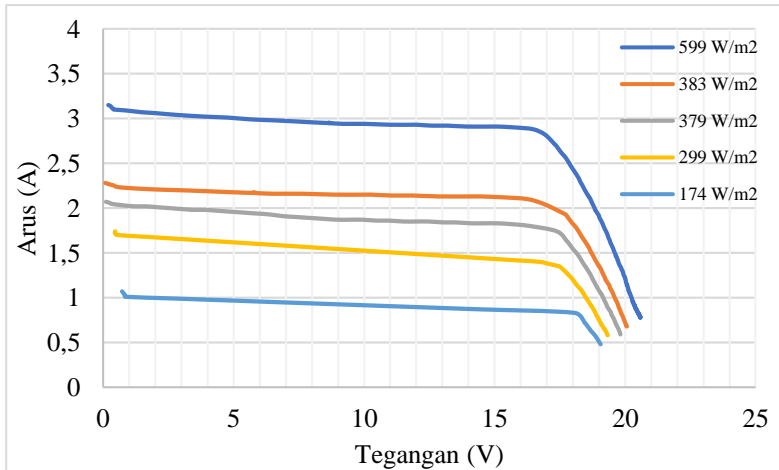
Kurva karakteristik panel surya didapatkan dengan melakukan pengujian panel surya dengan iradiansi matahari yang berbeda – beda serta diasumsikan tidak ada perubahan suhu pada saat pengambilan data., setiap titik pada kurva didapatkan dengan memberikan variasi pembebanan menggunakan *variable resistor* pada sisi *output* panel surya.

Berikut merupakan hasil pengujian dengan mengetahui kurva karakteristik dari panel surya dengan mempertimbangkan kondisi cuaca saat mendung dan cerah dapat dilihat pada gambar 4.1 sampai 4.4.



Gambar 4.1 Kurva karakteristik arus dan tegangan pada cuaca cerah

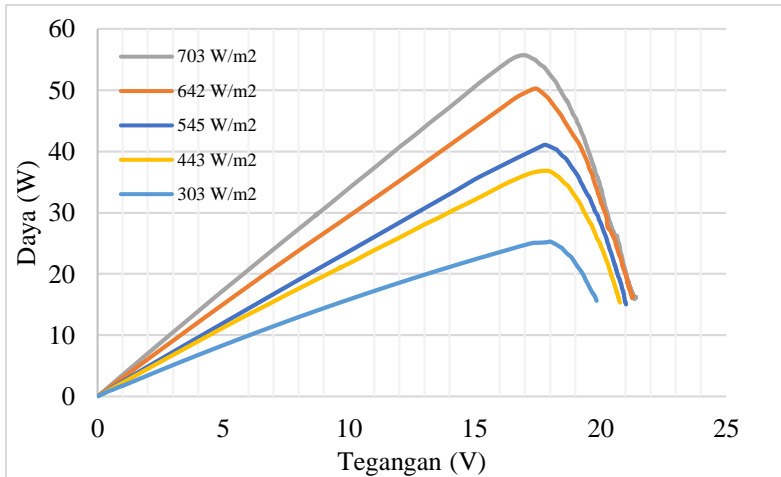
Gambar 4.1 dan 4.2 menunjukkan hubungan antara arus dengan tegangan keluaran yang dihasilkan oleh panel surya. Dapat dilihat dari kurva tersebut nilai I_{sc} dan V_{oc} yang dihasilkan oleh panel surya berbanding lurus dengan nilai iradiansi.



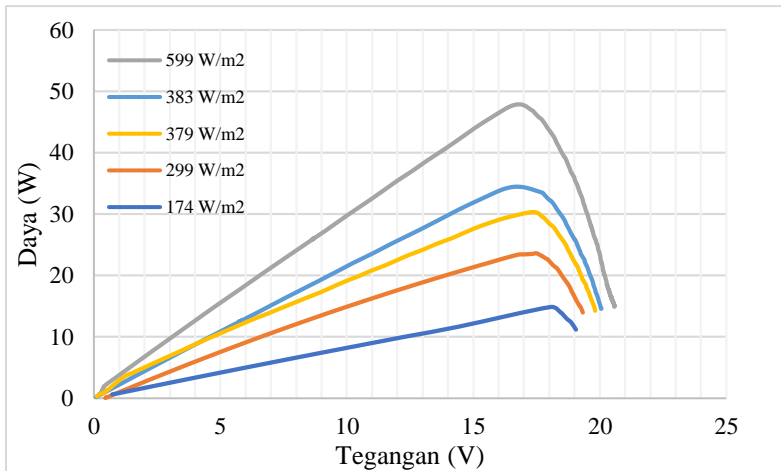
Gambar 4.2 Kurva karakteristik arus dan tegangan pada cuaca mendung

Sedangkan untuk gambar 4.3 dan 4.4 menunjukkan hubungan antara daya yang dihasilkan dengan tegangan keluaran pada panel surya. Dari kurva tersebut dapat dilihat daya yang dihasilkan tidak dapat mencapai rating yang tertera pada *nameplate* dikarenakan beberapa faktor yaitu antara lain :

1. Iradiansi yang hanya mencapai 703 W/m^2
2. Temperatur *cell* yang nilainya mencapai 34°C
3. Faktor umur dari panel surya



Gambar 4.3 Kurva karakteristik daya dan tegangan pada saat cuaca cerah



Gambar 4.4 Kurva karakteristik daya dan tegangan pada saat cuaca mendung

Dari kurva tersebut dapat dilihat jika nilai tegangan optimal dari panel surya berbeda pada setiap irradians, pada irradians yang rendah nilai tegangan optimal memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan saat

iradians tinggi. Tegangan optimal berada pada batas antara 15V hingga 19V. Untuk nilai arus output tidak bisa mencapai nol saat V_{oc} dikarenakan keterbatasan nilai dari resistansi beban yang tersedia di Laboratorium. Akan tetapi kedua kurva tersebut sudah dapat dijadikan referensi dikarenakan sudah memperlihatkan titik daya maksimum dari panel surya.

4.2 Pengujian Sensor

Perangkat sensor yang digunakan pada penelitian ini antara lain sensor tegangan dengan multitur trimpot dan sensor arus ACS 712.

4.2.1 Sensor Arus dan Tegangan

Pada pengujian sensor arus dan tegangan, sensor dibandingkan dengan alat ukur konvensional sebagai referensi. Untuk sensor arus dibandingkan menggunakan SANWA DCM-22AD sedangkan untuk sensor tegangan dibandingkan menggunakan SANWA CD800a.

Hasil pengujian sensor arus dan tegangan ditunjukkan pada tabel 4.1 berikut ini. Pada tabel tersebut, yang dimaksud nilai arus dan tegangan aktual adalah nilai arus dan tegangan hasil pembacaan alat ukur referensi.

Tabel 4.1 Pengujian sensor tegangan dan arus

Arus aktual (A)	Arus sensor (A)	Error sensor (%)	Tegangan aktual (V)	Tegangan sensor (V)	Error sensor (%)
0,31	0,30	7,45	1,13	1,03	8,85
0,65	0,63	3,17	3,05	2,99	1,96
1,41	1,38	2,83	5,00	4,95	1,00
1,72	1,67	2,91	7,07	7,00	0,85
1,95	1,90	2,29	9,00	8,93	0,77
3,53	3,47	1,70	11,00	10,94	0,53
3,98	3,89	2,26	13,05	13,00	0,33
3,74	3,68	1,60	15,00	14,99	0,27
5,09	5,01	1,55	17,00	16,97	0,17
5,86	5,78	1,32	19,00	18,98	0,1
Rata-rata		2,708	Rata-rata		1,482

Dari Tabel 4.1 menunjukkan bahwa nilai sensor tegangan memiliki nilai error antara perhitungan teori dan praktek sangat kecil. Nilai *error* tegangan ataupun *error* arus dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini :

$$\text{error} = \frac{V_{\text{aktual}} - V_{\text{sensor}}}{V_{\text{aktual}}} \times 100\%$$

$$\text{error} = \frac{19 - 18,98}{19} \times 100\% = 0,1\%$$

Dari hasil pengujian sensor tegangan dan sensor arus, nilai yang didapatkan sudah mendekati nilai aktual yang terukur pada multimeter dan amperemeter. Untuk sensor arus memiliki *error* rata-rata 2,708% dengan nilai *error* tertinggi mencapai 7,45% sedangkan untuk sensor tegangan memiliki *error* rata-rata 1,482 % dengan nilai *error* terbesar mencapai 8,85%.

Dapat ditarik kesimpulan bahwa sensor arus ACS712 dan sensor tegangan dengan multitrn trimpot memiliki performa yang baik dengan memperhatikan rata-rata error pada setiap sensor dan nilai error terendahnya.

Sehingga dapat dikatakan sensor tegangan dan sensor arus yang digunakan dalam sistem *solar charge controller* ini sudah akurat.

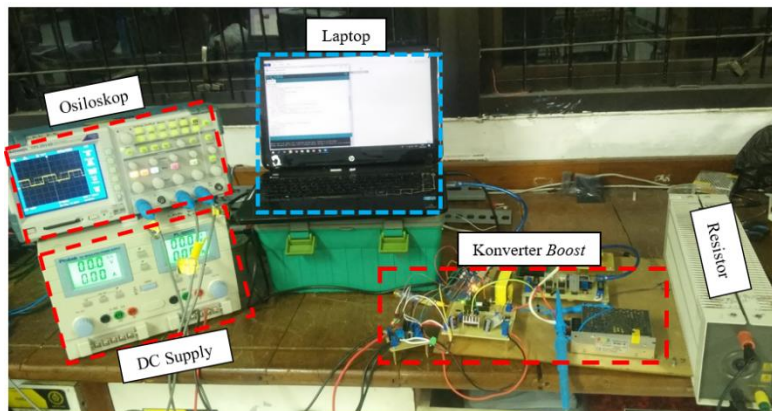
4.3 Pengujian Konverter *Boost*

Pada pengujian ini bertujuan untuk memastikan konverter saat implementasi sudah sesuai dengan desain yang diinginkan. Pengujian dilakukan dengan peralatan yang tersedia pada Laboratorium Konversi Energi B101 yang meliputi sumber DC *Regulated Power Supply*, osiloskop Tektronik TPS 2014B, multimeter SANWA CD800a, *clamp* meter sanwa DCM-22AD, LCR meter SANWA LCR700, dan beban R variabel LANGLOIS.

4.3.1 Alat Pengujian Konverter

Pada pengujian konverter dilakukan dengan menggunakan perlatan yag tersedia di Laboratoraium Konversi Energi B101 untuk mengetahui performa dari hasil implementasi. Peralatan pengujian yang digunakan dalam pengujian antara lain, *power supply* DC, osiloskop, multimeter, dan beban resistor variabel. Tegangan input konverter menggunakan DC

supply. Pengujian dilakukan untuk mengamati bentuk gelombang arus dan tegangan dari setiap komponen yang sudah ditentukan menggunakan osiloskop yang tersedia di laboratorium. Rangkaian pengujian konverter *boost* dapat dilihat pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 Pengujian konverter *boost*

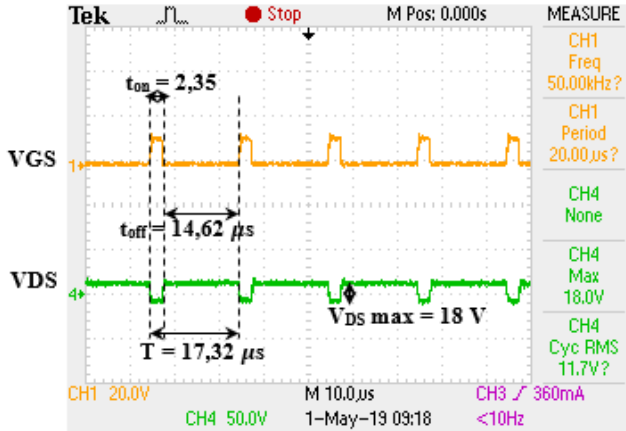
4.3.2 Pengujian Sinyal dari Tiap Komponen

Pengujian sinyal dari setiap komponen digunakan untuk mengetahui bentuk sinyal yang dihasilkan dalam implementasi apakah sudah sesuai dengan yang terdapat di simulasi. Selain itu juga dibandingkan nilai tegangan dan arus pada komponen antara implementasi dan simulasi. Pengujian ini terdiri dari pengujian penyakelaran, pengujian induktor, pengujian kapasitor, pengujian dioda, dan pengujian tegangan output. Berikut merupakan pengujian sinyal tiap komponen, antara lain :

A. Pengujian Sinyal MOSFET

Pengujian penyakelaran dilakukan untuk mengetahui apakah pembangkitan sinyal PWM sudah sesuai dengan frekuensi dan nilai tegangan yang diinginkan. Pengujian ini dilakukan dengan mengamati gelombang VGS dan VDS. Pada saat tegangan VGS memiliki nilai tertentu, maka dapat dikatakan MOSFET sedang pada kondisi konduksi.

Pada saat tegangan VGS bernilai nol, maka kondisi MOSFET tidak terjadi konduksi tidak ada arus yang mengalir dari Drain ke Source.



Gambar 4.6 Sinyal *switching* pada MOSFET

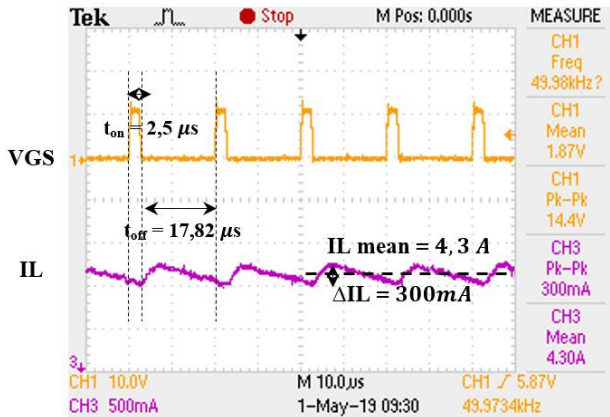
Pada hasil pengujian pensakelaran gambar 4.6, frekuensi *switching* bernilai 50,00 kHz, yang mana nilai ini sudah sesuai dengan desain yang diinginkan, yaitu 24 kHz. Periode pensakelaran adalah 20,00 μs, dengan waktu konduksi (t_{on}) sebesar 2,50 μs dan waktu sakelar terbuka (t_{off}) sebesar 17,82 μs. Nilai *duty cycle* implementasi lebih tinggi dari desain karena ketidakidealan komponen, sehingga dibutuhkan *duty cycle* yang lebih besar untuk mencapai tegangan keluaran 20 Volt yaitu 0,135, sedangkan *duty cycle* desain bernilai 0,125.

Pada pengujian, didapatkan nilai V_{DSmax} adalah 18 Volt, yang mana nilai saat simulasi adalah 20,04 Volt. Nilai implementasi tersebut lebih kecil dari pada desain yang diinginkan dikarenakan MOSFET yang digunakan saat implementasi nilainya tidak ideal.

B. Pengujian Sinyal Induktor

Pengujian arus induktor bertujuan untuk mengetahui mode *charging-discharging* induktor berdasarkan waktu penyakelaran, yang hasilnya dibandingkan dengan hasil simulasi. Pada gambar 4.7

menunjukkan sinyal arus induktor I_L . Dapat dilihat gelombang arus yang mengalir pada semua induktor berada pada kondisi CCM (*Continuous Conduction Mode*).



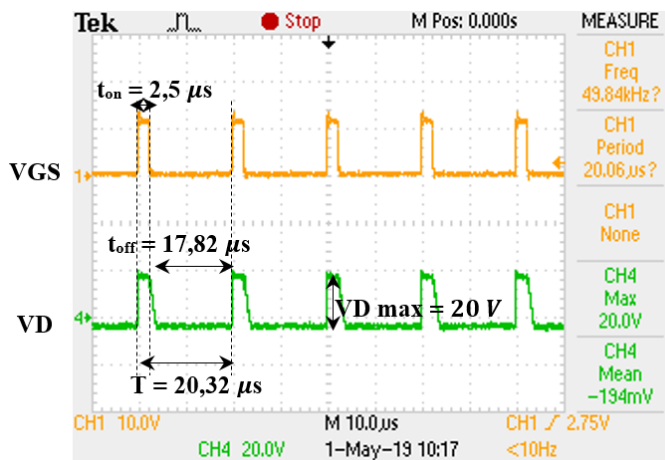
Gambar 4.7 Sinyal pada MOSFET V_{GS} dan arus induktor I_L

Berdasarkan bentuk sinyal arus induktor I_L sudah sesuai dengan bentuk di simulasi. Pada saat V_{GS} bernilai *high* (sakelar tertutup), maka induktor L akan mengalami fase *charging*. Sedangkan saat V_{GS} bernilai *low*, maka induktor L mengalami fase *discharging*. Nilai arus induktor I_{Lmean} sebesar 4,3 A, yang mana nilai tersebut lebih kecil dari pada desain yang ditetapkan. Ripple arus induktor ΔI_L sebesar 300mA. Nilai tersebut juga lebih besar daripada nilai desain ripple arus induktor. Perbedaan nilai-nilai antara implementasi dan simulasi diakibatkan oleh beberapa faktor, seperti ketidak idealan komponen yang digunakan, desain induktor yang tidak sempurna yang disebabkan pembuatan induktor dengan cara manual.

C. Pengujian Sinyal Dioda

Pengujian gelombang tegangan dioda untuk mengetahui apakah sinyal yang dihasilkan oleh dioda pada implementasi sesuai dengan yang ada di simulasi. Peran dari dioda D pada konverter ini yaitu untuk memastikan arah aliran arus saat mode sakelar tertutup maupun saat

terbuka sesuai dengan simulasi. Bentuk gelombang dioda D dapat dilihat pada gambar 4.8.



Gambar 4.8 Sinyal *switching* MOSFET V_{GS} dan sinyal tegangan dioda V_D

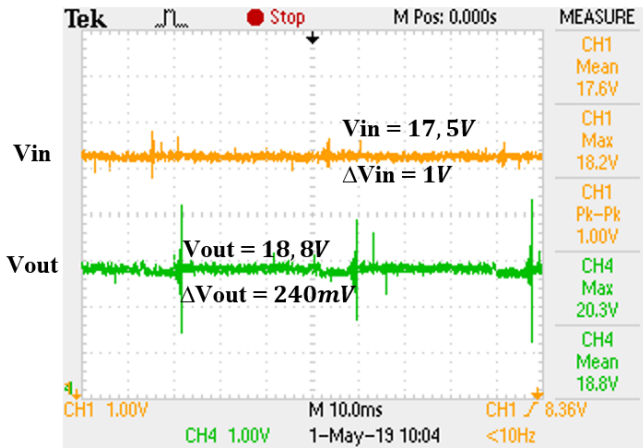
Berdasarkan hasil pengujian, saat sakelar konduksi selama rentang waktu $2,5 \mu s$ dioda D *reverse biased*, dan saat sakelar terbuka pada rentang waktu $17,82 \mu s$, dioda D *forward-biased*. Pada saat sakelar tertutup (ton), tidak arus yang mengalir melalui dioda D. Sehingga timbul tegangan *reverse* pada dioda. Namun ketika sakelar terbuka (toff), arus mengalir melalui dioda D yang menyebabkan tegangan pada dioda tersebut nol. Berdasarkan hasil pengujian, nilai V_{Dmax} adalah 20 Volt. Sedangkan pada simulasi, V_{Dmax} adalah 19,99 Volt.

Nilai-nilai tegangan yang terbaca pada implementasi berbeda dengan yang terdapat pada simulasi. Hal ini terjadi karena komponen pada implementasi dalam kondisi tidak ideal, sedangkan pada simulasi kondisi komponen ideal.

D. Pengujian Sinyal Input dan Output

Pada gambar 4.9 nilai tegangan pada sisi input bernilai 17,5 V dengan *ripple* tegangan sangat kecil, dikarenakan tegangan input merupakan keluaran dari sumber DC yang digunakan. Sedangkan tegangan pada sisi

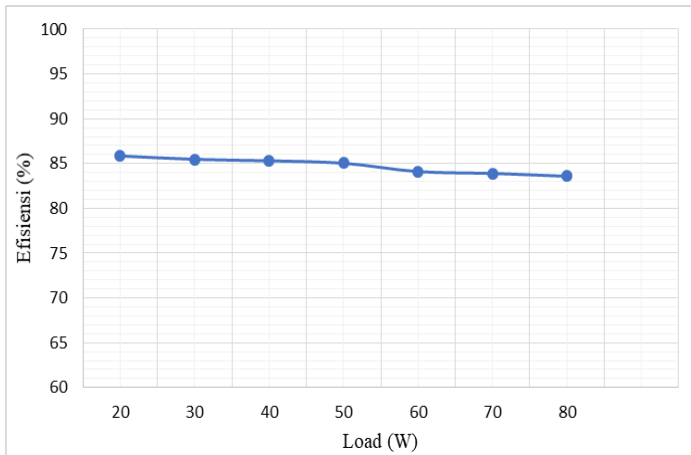
output bernilai 18,8 V dengan *ripple* tegangan sebesar 240mV. Nilai tersebut lebih besar dari pada desain yang ditentukan dikarenakan ada *losses* dan kondisi dari tiap-tiap komponen yang tidak ideal.



Gambar 4.9 Sinyal tegangan pada sisi input dan output

4.3.3 Pengujian Efisiensi

Pengujian efisiensi konverter dilakukan untuk mengetahui efisiensi konverter dengan daya keluaran yang bervariasi. Pada pengujian efisiensi, tegangan masukan diatur konstan 17.5 Volt. Konverter diatur hingga mencapai tegangan keluaran 20 Volt dengan daya keluaran diubah-ubah 20% -100% dari rating, yaitu 20 Watt - 80 Watt. Pengujian efisiensi pada konverter digunakan untuk mengetahui seberapa efisien konverter yang dirancang. Dikarenakan pada aplikasi *solar charge controller* daya yang dihasilkan dari panel surya nilainya terbatas, sehingga parameter efisiensi dari konverter yang digunakan merupakan hal penting yang perlu diperhatikan. Pengujian efisiensi dengan cara penambahan beban dengan V_{in} dan V_o dijaga tetap nilainya. Gambar 4.10 merupakan hasil pengujian efisiensi konverter *boost* dengan porsi pembebanan antara 20% hingga 100% dari kapasitas konverter yang ditentukan saat desain.



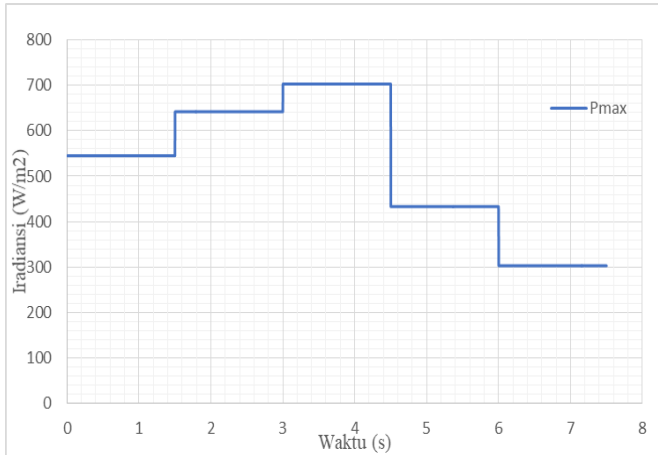
Gambar 4.10 Pengujian efisiensi konverter *boost*

Dari tabel tersebut terlihat bahwa efisiensi tertinggi dari konverter dapat mencapai 85,85% pada pembebanan 20W sedangkan efisiensi minimal dapat mencapai 83,58% saat konverter dibebani 80W. Sehingga efisiensi rata-rata dari *konverter boost* mencapai 84,75 %. Dari gambar 4.10 dapat dilihat semakin besar pembebanan semakin menurun efisiensi dari konverter, hal tersebut dikarenakan semakin membesar arus yang mengalir pada konverter. *Losses* yang paling besar disebabkan oleh komponen pensakelaran yaitu pada MOSFET dan dioda serta terdapat *losses* I^2R pada sisi Induktor.

4.4 Pengujian MPPT pada *Solar Charge Controller*

Pengujian ini digunakan untuk mengetahui respon dari MPPT pada sistem *solar charge controller* dengan iradian yang berubah ubah. Pengujian ini dilakukan dengan mengukur daya maksimal pada panel surya pada kondisi normal, dengan mempertimbangkan kondisi cuaca yang berbeda pada jam tertentu. Waktu pengujian dilakukan pada pukul 08.00, 10.00, 12.00, 14.00, dan 15.00 WIB. Pada pengujian nyata, sulit untuk menyamakan nilai daya maksimal saat pengukuran dan saat pengujian MPPT. Grafik perubahan iradian terhadap waktu dapat dilihat

pada gambar 4.11. Nilai iradian diubah dengan tiga variasi yaitu 303 W/m², 433 W/m², 545 W/m², 642 W/m², dan 703 W/m².

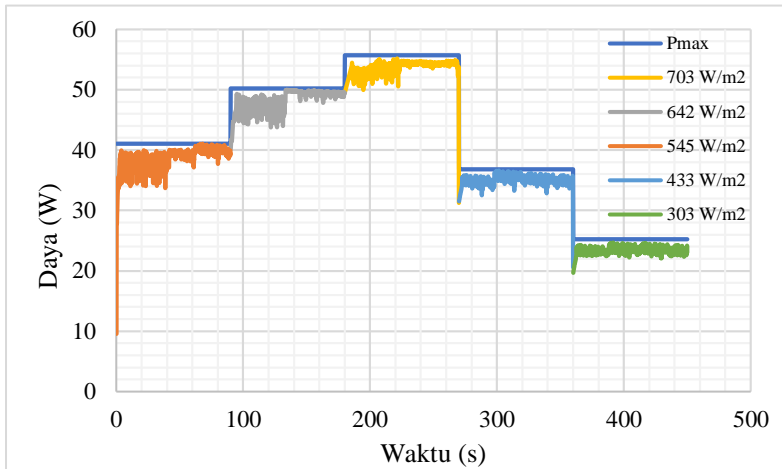


Gambar 4.11 Perubahan iradian terhadap waktu

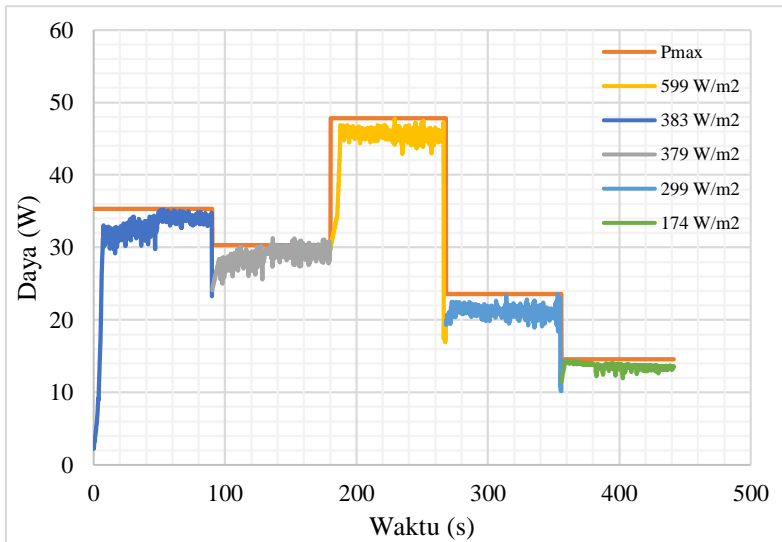
4.4.1 Kurva Daya *Tracking* MPPT

Sesuai dengan simulasi yang telah dilakukan, MPPT diuji dengan iradians yang berubah – ubah dengan mempertimbangkan kondisi cuaca. Pengujian dilakukan dengan cara mengukur daya panel surya pada kondisi cuaca yang berbeda yaitu pada saat kondisi cuaca cerah dan mendung dengan variabel waktu yang sama. Grafik perubahan iradian terhadap waktu pada saat pengujian dapat dilihat pada gambar 4.12 dan 4.13.

Pada implementasi MPPT P&O memiliki respon tidak sebaik simulasi sehingga hal tersebut menyebabkan hilangnya daya yang cukup signifikan pada proses *tracking*. Selain itu respon mikrokontroler bekerja lebih lamban dibandingkan dengan kondisi kontroller pada simulasi yang mana bekerja pada kondisi ideal. Sesuai dengan simulasi yang telah dilakukan MPPT dapat melakukan *tracking* pada setiap iradian yang berbeda beda. Namun MPPT ini kurang efektif dalam iradian yang rendah dikarenakan osilasinya lebih besar.



Gambar 4.12 Tracking daya MPPT pada kondisi cuaca cerah



Gambar 4.13 Tracking daya MPPT pada kondisi cuaca mendung

Energi maksimum yang dapat dihasilkan panel surya pada kondisi cuaca cerah dengan iradian tertinggi adalah 1.39Wh, energi yang dapat dihasilkan MPPT adalah 1.36Wh, sehingga daya yang hilang sebesar 2.16%. Sedangkan energi maksimum pada kondisi cuaca cerah dengan iradian terendah adalah 0.63Wh, energi yang dapat dihasilkan MPPT adalah 0.58Wh, sehingga daya yang hilang sebesar 7.93%.

Jumlah energi maksimum yang dapat dihasilkan ketika kondisi cuaca mendung akan berbeda dibandingkan pada kondisi cuaca cerah. Energi maksimum yang dapat dihasilkan panel surya pada kondisi cuaca mendung dengan iradian tertinggi adalah 1.16Wh, energi yang dapat dihasilkan MPPT adalah 1.11Wh, sehingga daya yang hilang sebesar 4.31%. Sedangkan energi maksimum pada kondisi cuaca mendung dengan iradian terendah adalah 0.34Wh, energi yang dapat dihasilkan MPPT adalah 0.32Wh, sehingga daya yang hilang sebesar 5.88%.

4.5 Perbandingan *Solar Charge Controller* dengan dan tanpa MPPT

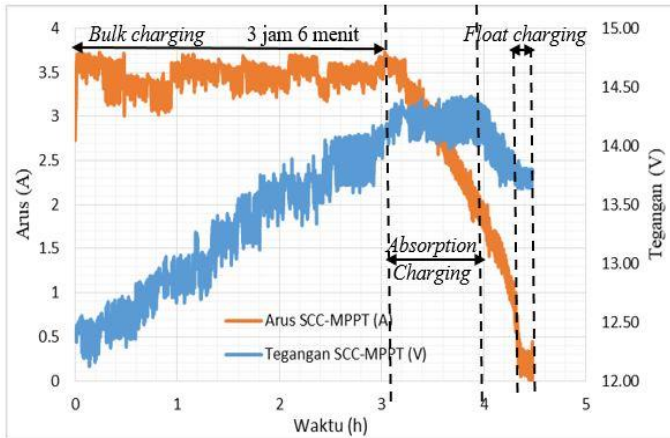
Perbandingan antara sistem *solar charge controller* dengan menggunakan MPPT dan tanpa menggunakan MPPT berfungsi untuk mengetahui efek dari MPPT yang dirancang pada sistem *solar charge controller*. Pada pengujian ini, terdapat dua parameter yang di bandingkan yaitu : perbandingan kapasitas pengisian baterai saat implementasi dengan dan tanpa MPPT serta perbandingan daya baterai dengan dan tanpa MPPT.

4.5.1 Perbandingan Kapasitas Pengisian Baterai

Sistem *solar charge controller* (SCC) biasa akan dibandingkan dengan SCC yang dilengkapi dengan MPPT menggunakan algoritma *Perturb and Observe* (P&O) untuk mengetahui teknik mana yang lebih efektif dan efisien. Pengujian pada kedua teknik *charging* tersebut dilakukan pada waktu yang sama dan tingkat iradian matahari yang relatif sama.

Digunakan satu buah panel surya 80Wp dan baterai *lead-acid* 18Ah. Pada hari pertama dilakukan pengujian *charging* baterai dengan metode SCC biasa. Selanjutnya hari kedua dilakukan pengujian dengan metode SCC yang dilengkapi MPPT P&O. Kedua teknik ini akan dibandingkan

untuk mengetahui perbandingan hasil besar pengisian kapasitas baterai pada baterai dengan spesifik yang sama. Pengujian dilakukan di Gedung AJ101 Departemen Teknik Elektro ITS dimulai pada pukul 09.00 WIB sampai selesai. Pengambilan data dilakukan kurang lebih selama 4,5 jam.

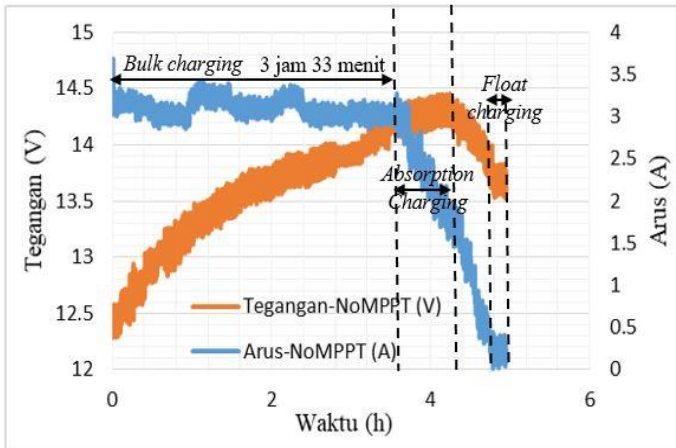


Gambar 4.14 Hasil pengujian *solar charge controller* dilengkapi MPPT P&O

Pada keadaan awal pengujian, tegangan baterai memiliki tegangan sebesar 12.42V. Gambar 4.14 menunjukkan hasil pengujian baterai dengan metode SCC-MPPT. Terjadi fase *bulk charging* (*constant current charging*) yang mana nilai arus pada fase tersebut relatif konstan sebesar 3,47A. Fase *bulk* berlangsung selama 3 jam 6 menit sampai tegangan baterai sebesar 14,17V. Kemudian mode *charging* berganti menjadi *absorption charging* (*constant voltage charging*) yang mana tegangan baterai perlahan akan naik sampai 14,42V. Pada fase *absorption* secara bersamaan arus baterai turun perlahan sampai mendekati nol. Ketika arus baterai terbaca C/100, pada pengujian terbaca arus sebesar 0,195A maka mode *charging* menjadi *float charging*. Pada tahap tersebut tegangan dijaga agar tetap pada kisaran 13,5 – 13,9V atau disebut dengan *standby used*. Pada teknik *charging* ini *cutoff* tegangan baterai dilakukan ketika tegangan baterai sebesar 13,76V.

Kemudian juga dilakukan pengujian *charging* baterai dengan SCC tanpa MPPT yang mana teknik *charging* yang diterapkan masih sama

seperti pada pengujian SCC-MPPT. Gambar 4.15 menunjukkan hasil pengujian SCC tanpa MPPT.



Gambar 4.15 Hasil pengujian solar charge controller tanpa MPPT P&O

Pada metode pengujian ini fase *bulk charging* berlangsung lebih lama yaitu selama 3 jam 33 menit sampai tegangan 14,26V dengan arus baterai relatif konstan sebesar 3,09A. Besar tegangan baterai tersebut dijadikan acuan untuk transisi perubahan mode *bulk* menjadi mode *absorption* yang mana tegangan baterai perlahan naik sampai tegangan 14,39V. Secara bersamaan berakhirnya fase *bulk*, arus baterai perlahan turun sampai dengan C/100, yaitu 0,199A. Ketika arus baterai sudah mencapai C/100 tersebut maka mode *charging* menjadi mode *float charging*. Mode *float charging* menjaga agar tegangan baterai pada kondisi *standby used*. Tegangan akhir baterai pada metode *charging* ini adalah 13,74V

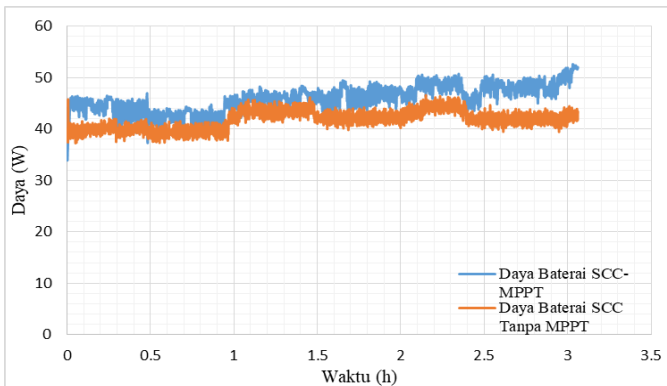
Setelah pengambilan data kedua metode *chargng* tersebut berakhir, maka baterai dilepaskan dari sistem SCC kemudian didiamkan selama 20 menit. Diperoleh bahwa tegangan pada baterai dengan menggunakan metode SCC-MPPT memiliki tegangan akhir sebesar 13,43 lebih besar 0,11V dari tegangan baterai yang menggunakan metode SCC tanpa MPPT yang memiliki nilai tegangan akhir yaitu 13,32V. Perbedaan tegangan akhir tersebut dapat dijadikan acuan untuk mengetahui kapasitas baterai, bahwa dengan menggunakan metode *charging* SCC-

MPPT memiliki kapasitas baterai lebih besar dari kapasitas baterai yang menggunakan metode *charging* SCC tanpa MPPT setelah *charging* dihentikan. Energi masukan keseluruhan didapatkan bahwa baterai dengan metode *charging* SCC-MPPT mendapatkan 24,33% energi lebih banyak daripada baterai dengan teknik SCC tanpa MPPT.

4.5.2 Perbandingan Daya Baterai

Pada sistem *solar charge controller* tanpa MPPT terdiri dari panel surya dan *charge controller* yang langsung dihubungkan dengan baterai *lead-acid* 18Ah. Pengukuran daya yang dihasilkan diperoleh dari sensor arus dan tegangan yang diletakkan antara *charge controller* dan baterai. Sedangkan untuk sistem *solar charge controller* dengan MPPT menggunakan metode yang diusulkan pada penelitian ini.

Gambar 4.16 menunjukkan daya masukan dari SCC ke baterai selama proses *charging* tersebut. Dapat dilihat bahwa perbedaan daya masukan ke baterai cukup signifikan pada *charging* metode SCC-MPPT pada fase *bulk charging*. Baterai dengan SCC-MPPT mendapatkan daya lebih banyak selama fase *bulk charging* dibandingkan baterai dengan SCC tanpa MPPT.



Gambar 4.16 Perbandingan daya pada sistem *solar charge controller* dengan dan tanpa MPPT

Maka dari itu dapat diketahui bahwa kapasitas baterai dengan metode SCC-MPPT pada penelitian ini lebih besar dari baterai dengan metode

SCC tanpa MPPT dengan waktu dan tingkat iradian *charging* yang relatif sama. Hal tersebut terjadi karena pada baterai dengan SCC-MPPT diterapkan penjejakan daya maksimum dengan menggunakan referensi arus dan tegangan panel surya yang masuk ke baterai. Osilasi yang timbul pada tegangan dan arus baterai dengan SCC-MPPT disebabkan karena pengaruh algoritma yang digunakan pada MPPT untuk mencapai daya maksimum yang dapat dihasilkan panel surya dengan menambah atau mengurangi batas *duty cycle*. Total energi dengan melihat pada fase *bulk charging* dari sistem *solar charge controller* dengan menggunakan MPPT dapat mencapai 140,57Wh sedangkan energi pada sistem *solar charge controller* tanpa MPPT hanya mencapai 127,80Wh dalam waktu pengujian untuk keduanya selama 3 jam 3 menit.

4.6 Biaya Pemeliharaan dan Operasional

Biaya pemeliharaan dan operasional per tahun untuk PLTS yang direncanakan, umumnya diperhitungkan sebesar 1 - 2% dari total biaya investasi awal[19]. Berdasarkan acuan tersebut maka pada penelitian ini, besar persentase untuk biaya pemeliharaan dan operasional per tahun PLTS yang mencakup biaya untuk pekerjaan pembersihan panel surya, biaya pemeliharaan dan pemeriksaan peralatan dan instalasi akan ditetapkan sebesar 1% dari total investasi awal.

Penentuan persentase 1% didasarkan bahwa negara Indonesia hanya mengalami dua musim, yaitu musim penghujan dan musim kemarau sehingga biaya pembersihan dan pemeliharaan panel suryanya tidak sebesar pada negara yang mengalami empat musim dalam satu tahun. Selain itu penentuan persentase ini juga didasarkan pada tingkat upah tenaga kerja di Indonesia yang lebih murah dibandingkan dengan tingkat upah tenaga kerja di negara maju. Adapun biaya pemeliharaan dan operasional (O&M) per tahun untuk PLTS yang akan dikembangkan adalah sebagai berikut :

$$\text{O\&M} = 1\% \times \text{Total Biaya Investasi}$$

$$\text{O\&M} = 1\% \times \text{Rp } 5.150.000,00$$

$$\text{O\&M} = \text{Rp } 51.500,00/\text{tahun}$$

Jika diperkirakan usia panel surya mencapai 10 tahun, maka total biaya pemeliharaan dan operasional untuk 10 tahun adalah sebesar Rp 515.000,00

Tabel 4.2 Perhitungan biaya energi PLTS

Analisa PLTS Pada Sistem Ketenagalistrikan Bagan Tancap di Ujung Pangkah, Gresik		
1	Kapasitas PLTS	
	- Umur Proyek	10 tahun
2	Peralatan Utama PLTS	
	- Modul Panel Surya	80Wp 17,5 Vmp, Efisiensi 16%
	- Jumlah modul	1
	- Konverter	80W
	- Solar Charge Controller	15 -25V, 10A
3	Biaya Investasi Awal	
	- Modul Panel Surya	Rp 1.290.000,00
	- Struktur	Rp 2.070.000,00
	- Lampu DC	Rp 60.000,00
	- Konverter	Rp 300.000,00
	- Solar Charge Controller	Rp 500.000,00
	- Baterai	Rp 450.000,00
	- Akomodasi	Rp 480.000,00
Total		Rp 5.150.000,00
4	Biaya O&M PLTS	
	- Biaya O&M perbulan	Rp 4.291,00
	- Biaya O&M pertahun	Rp 51.500,00
	- Biaya O&M selama 10 tahun	Rp 515.000,00
5	Potensi Energi PLTS	
	Potensi Energi Matahari (kWh/m ² /day)	4,287
	Produksi Energi PLTS Harian (kWh/day)	0,293

4.7 Perhitungan Generator Bensin (Konvensional)

4.7.1 Specific Fuel Consumption (SFC)

SFC merupakan parameter performa mesin yang secara langsung berhubungan langsung dengan nilai ekonomis mesin. Nilai ini digunakan untuk menentukan jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan sejumlah daya dalam rentang waktu tertentu. SFC mengijinkan semua ukuran mesin yang berbeda untuk dibandingkan yang mana bahan bakar yang paling efisien. Hal itu mengijinkan pabrikan untuk melihat mesin yang akan menggunakan bahan bakar paling sedikit sementara dapat menghasilkan sejumlah daya yang besar. SFC dapat ditentukan sebagai berikut:

$$SFC = \frac{m_f}{E}$$

Dimana m_f merupakan massa bahan bakar yang digunakan (kg) dan $m_f = V_f \cdot \rho$, ρ merupakan berat jenis bahan bakar (kg/liter), dan E merupakan energi listrik (kWh)[20].

4.7.2 Berat Jenis Bahan Bakar

Berat jenis suatu bahan bakar bergantung pada temperatur dan kandungannya.

Tabel 4.3 Standar dan mutu bahan bakar minyak jenis bensin 90

No	Karakteristik	Satuan	Batasan	
			Min	Max
1	Angka Oktan Riset (RON)	RON	90,0	-
2	Stabilitas Oksidasi	Menit	360	-
3	Kandungan Sulfur	% m/m	-	0,05
4	Kandungan Timbal (Pb)	gr/l	Dilaporkan (injeksi timbal tidak diijinkan)	
5	Kandungan Logam (mangan (Mg), Besi (Fe))	mg/l	Tidak terdeteksi	
6	Kandungan Oksigen	% m/m		
7	Kandungan Olefin	% v/v		

Tabel 4.3 Standar dan mutu bahan bakar minyak jenis bensin 90 (lanjutan)

8	Kandungan Aromatic	% v/v		
9	Kandungan Benzena	% v/v		
10	Distilasi :			
	10% vol. penguapan	°C	-	74
	50% vol. penguapan	°C	88	125
	90% vol. penguapan	°C	-	180
	Titik didih akhir	°C	-	215
	Residu	%vol	-	2,0
11	Sedimen	mg/l		1
12	Unwashed gum	mg/100 ml		70
13	Washed gum	mg/100 ml	-	5
14	Tekanan Uap	kPa	45	60
15	Berat jenis (pada suhu 15°C)	kg/m ³	715	770
16	Korosi Bilah Tembaga	Menit	Kelas 1	
17	Sulfur Mercaptan	% massa	-	0,002
18	Penampilan Visual		Jernih & terang	
19	Warna		Hijau	
20	Kadungan Pewarna	gr/100	-	0,13

(Sumber: Keputusan Dirjen Minyak dan Gas Bumi No. 0486.K/10/DJM.S/2017)

Sesuai dengan standar dan mutu (spesifikasi) bahan bakar minyak jenis bensin 90 yang dipasarkan di dalam negeri, besarnya berat jenis bensin 90 yaitu 0,770 kg/liter. Sehingga SFC dari bahan bakar bensin 90 dapat dihitung dengan persamaan berikut,

$$m_f = V_f \cdot \rho$$

$$m_f = 7 \text{ l} \times 0,77 \text{ kg/l}$$

$$m_f = 5,39 \text{ kg}$$

$$E = P \cdot t$$

$$E = 4,2 \times 4$$

$$E = 16,8 \text{ kWh}$$

$$SFC = \frac{m_f}{E}$$

$$SFC = \frac{5,39 \text{ kg}}{16,8 \text{ kWh}}$$

$$SFC = 320,83333333 \text{ kg/kWh}$$

Untuk generator berpenggerak *gasoline motor* banyaknya konsumsi bahan bakar bensin 90 dapat ditentukan dengan persamaan berikut,

$$\text{konsumsi} = SFC \times \text{kW} \times \text{lama operasi (/hari)}$$

$$\text{konsumsi} = 320,83 \frac{\text{kg}}{\text{kWh}} \times 4,2 \text{ kW} \times 4 \text{ jam (/hari)}$$

$$\text{konsumsi} = 5,39 \text{ kg/hari}$$

Jika berat jenis bahan bakar solar adalah 0,770 kg/liter, maka dalam satuan konsumsi bahan bakar dalam satuan liter adalah:

$$\text{volume/day} = \text{berat jenis/konsumsi}$$

$$\text{volume/day} = \frac{5,39 \text{ kg/hari}}{0,77 \text{ kg/liter}}$$

$$\text{volume/day} = 7 \text{ liter/hari}$$

4.8 Analisa Ekonomi Penggunaan PLTS Bagan Tancap

Dari segi biaya operasional, penghematan dapat dirasakan oleh para nelayan bagan tancap setelah menerapkan PLTS pada bagan tancap dibandingkan dengan metode konvensional atau PLTD (generator bensin). Biaya operasional nelayan bagan tancap pada saat masih menggunakan PLTD sebagai sumber utama kelistrikan bagan tancap, dapat diuraikan sebagai berikut, nelayan bagan tancap bekerja 25 kali melaut per bulan. Untuk sekali pengoperasian bagan tancap membutuhkan 7 liter bahan bakar bensin 90 per malam, dan dengan harga bensin 90 sebesar Rp 7.650,- per liter, maka biaya yang dihabiskan oleh nelayan bagan tancap untuk biaya operasional tiap bulannya adalah sebesar Rp 1.338.750,-, sedangkan pada saat menggunakan PLTS, biaya operasional yang dihabiskan secara rinci ditunjukkan pada tabel 4.4

Total biaya perawatan yang dibutuhkan PLTS adalah sebesar Rp 4.291,-. Pada akhirnya, nelayan akan merasakan penghematan biaya operasional sebesar 99,68%. Interaksi daya keluaran PLTS di sistem bagan tancap dapat dipengaruhi oleh perubahan musim. Agar keandalan sistem semakin terjaga maka perlu adanya sistem *hybrid* antara PLTS dan PLTD. Di saat PLTS menghasilkan energi listrik pada siang hari maka kapasitas operasi PLTD akan berkurang, dan ketika PLTS tidak menghasilkan energi listrik maka kebutuhan beban dipikul oleh PLTD.

Tabel 4.4 Perbandingan pengeluaran metode PLTS dan PLTD

PLTD		PLTS	
Rincian	Biaya	Rincian	Biaya
Bensin (7 liter x 25 hari)	Rp 1.338.750,-	Biaya O&M PLTS (1% x Total Biaya Investasi)	Rp 4.291,-.

4.8.1 Pay Back Period (PBP)

Penerapan PLTS ini pada awalnya membutuhkan biaya yang cukup besar dalam pembuatannya. Namun, modal tersebut akan kembali (*pay back period*). Setelah melewati titik keseimbangan, maka nelayan akan merasakan dampak dari penghematan biaya operasional dan kenaikan produktivitas dibandingkan sebelum menggunakan PLTS. Biaya kebutuhan pokok sehari-hari nelayan bagan tancap rata-rata Rp. 3.000.000 per bulan dengan pendapatan tiap harinya setelah menggunakan PLTS rata-rata adalah Rp. 180.000. Dengan 25 kali melaut tiap bulan, maka pendapatan nelayan adalah Rp. 4.500.000.

$$\begin{aligned}
 \text{Investasi} &= \text{Pendapatan melaut} - \text{kebutuhan pokok} - \text{biaya perawatan} \\
 &= 4.500.000 - 3.000.000 - 4.291 \\
 &= 1.495.709
 \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan investasi tiap bulannya ketika menggunakan PLTS sebesar Rp 1.495.709. Payback Period (PBP) atau modal pembuatan alat akan kembali dengan perhitungan berikut,

$$\begin{aligned}\text{Payback Period (PBP)} &= \text{Modal} / \text{Investasi} \\ &= 5.150.000 / 1.495.709 \\ &= 3,44 \text{ bulan (3 bulan 14 hari)}.\end{aligned}$$

Biaya pembuatan PLTS pada bagan tancap ini akan kembali dalam waktu 3 bulan 14 hari. Dengan keandalan PLTS yang dapat bertahan hingga dua tahun dan biaya perawatan yang murah, maka nelayan dapat menghemat biaya operasional sehingga dapat meningkatkan produktivitas.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari simulasi dan implementasi, sistem *Solar Charge Controller* dengan dilengkapi MPPT *Perturb and Observe* dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penggunaan MPPT dengan kontrol algoritma *Perturb and Observe* pada *Solar Charge Controller* dapat mempersingkat waktu *charging* baterai selama 27 menit dari metode *Solar Charge Controller* tanpa MPPT.
2. MPPT dengan kontrol algoritma *Perturb and Observe* pada sistem *Solar Charge Controller* pada penelitian ini dapat memaksimalkan daya keluran panel surya sebesar 97.84%.
3. Metode *charging* baterai dengan *Solar Charge Controller*-MPPT mendapatkan 24,33% energi lebih banyak dibandingkan pada metode *charging* baterai dengan *Solar Charge Controller* tanpa MPPT.

5.2 Saran

Adapun saran pada penelitian ini untuk dapat memperbaiki dan mengembangkan penelitian selanjutnya, yaitu :

1. Kalibrasi sensor tegangan dan arus pada baterai menjadi sangat penting sehingga perlu ketepatan dan keakuratan terhadap parameter yang sebenarnya.
2. Perlu dilakukan pengembangan mengenai kontrol algoritma MPPT yang lebih handal dalam melakukan *tracking* daya maksimal panel surya, sehingga *charging* baterai jauh lebih efektif dan efisien.
3. Rangkaian *Solar Charge Controller* pada penelitian ini hanya digunakan untuk pengujian baterai *lead-acid* 12V, sehingga perlu desain rangkaian *Solar Charge Controller* untuk berbagai tipe baterai *lead-acid*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Faranda, S. Leva, and V. Maugeri, "MPPT techniques for PV Systems : energetic and cost comparison," pp. 1–6, 2008.
- [2] N. Khera, N. Rana, N. Si, S. K. Sahoo, M. Balamurugan, S. P. Karthikeyan, and J. Raglend, "Design of Charge Controller for Solar PV Systems," *2015 Int. Conf. Control. Instrumentation, Commun. Comput. Technol.*, pp. 149–153, 2015.
- [3] Y. Liu, "Power Point Tracking Battery Charging System," vol. 3, no. 1, pp. 1–5.
- [4] G. M. Masters, *Renewable and Efficient Electric Power Systems*. 2004.
- [5] M. Villalva, J. Gazoli, and E. Filho, "Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 24, no. 5, pp. 1198–1208, 2009.
- [6] J. Jana, H. Samanta, K. Das Bhattacharya, and H. Saha, "A Four Stage Battery Charge Controller Working on a Novel Maximum Power Point Tracking Based Algorithm for Solar PV System," *2016 21st Century Energy Needs - Mater. Syst. Appl.*, pp. 1–4, 2016.
- [7] S. Zaineb, "P & O controller for the maximum power point tracking in photovoltaic system," no. 3, 2017.
- [8] P. G. Scholar, "Modeling and Performance Analysis of Perturb & Observe , Incremental Conductance and Fuzzy Logic MPPT Controllers," vol. 2017, pp. 13–18, 2017.
- [9] D. Sera, T. Kerekes, R. Teodorescu, and F. Blaabjerg, "environmental conditions," pp. 1420–1425, 2006.
- [10] G. Mehta, M. Dwivedi, G. Noida, V. K. Yadav, and G. Noida, "Comparison of Advance Intelligence Algorithms for Maximum Power Point Tracking," pp. 262–267, 2017.
- [11] M. Killi and S. Samanta, "Modified Perturb and Observe MPPT Algorithm for Drift Avoidance in Photovoltaic Systems," vol.

- 62, no. 9, pp. 5549–5559, 2015.
- [12] A. Pradhan and B. Panda, “A Simplified Design and Modeling of Boost Converter for Photovoltaic Sytem,” vol. 8, no. 1, pp. 141–149, 2018.
- [13] R. Irnawati and A. Rahmawati, “Perbedaan Hasil Tangkapan Bagan Tancap dengan Menggunakan Lampu CFL dan LED Dalam Air (Leda) di Perairan Teluk Banten,” no. December, 2017.
- [14] L. Sari, “Pengaruh Perbedaan Warna Lampu pada Hasil Tangkapan Bagan Tancap di Perairan Panceng , Kabupaten Gresik , Jawa,” no. 2016, 2017.
- [15] P. Manimekalai, “An Overview of Batteries for Photovoltaic (PV) Systems An Overview of Batteries for Photovoltaic (PV) Systems,” no. August, 2015.
- [16] A. Jossen, J. Garche, and D. U. Sauer, “Operation conditions of batteries in PV applications,” vol. 76, pp. 759–769, 2004.
- [17] M. I. T. Electric and V. Team, “A Guide to Understanding Battery Specifications,” no. December, 2008.
- [18] “American Wire Gauge Conductor Size Table,” vol. 0000, pp. 53–55.
- [19] R. S.G and Ch. Rangkuti, “Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Atap Gedung Harry Hartanto Universitas Trisakti,” pp. 1–11, 2016.
- [20] S. D. Panj, “Comparative Study of Electric Generator Drive Engine Performance by Various Types of Fuel,” vol. 4, 2013.

LAMPIRAN

1. Tabel American Wire Gauge (AWG) Conductor Size

AWG	Diameter [mm]	Area [mm²]	Resistance [Ohms/km]	Max Current [Amperes]	Max Frequency For 100% skin depth
4/0	11.684	107	0.16072	302	160 Hz
3/0	10.40384	85	0.202704	239	200 Hz
2/0	9.26592	67.4	0.255512	190	250 Hz
1/0	8.25246	53.5	0.322424	150	325 Hz
1	7.34822	42.4	0.406392	119	410 Hz
2	6.54304	33.6	0.512664	94	500 Hz
3	5.82676	26.7	0.64616	75	650 Hz
4	5.18922	21.2	0.81508	60	810 Hz
5	4.62026	16.8	1.027624	47	1100 Hz
6	4.1148	13.3	1.295928	37	1300 Hz
7	3.66522	10.5	1.634096	30	1650 Hz
8	3.2639	8.37	2.060496	24	2050 Hz
9	2.90576	6.63	2.598088	19	2600 Hz
10	2.58826	5.26	3.276392	15	3200 Hz
11	2.30378	4.17	4.1328	12	4150 Hz
12	2.05232	3.31	5.20864	9.3	5300 Hz
13	1.8288	2.62	6.56984	7.4	6700 Hz
14	1.62814	2.08	8.282	5.9	8250 Hz
15	1.45034	1.65	10.44352	4.7	11 k Hz
16	1.29032	1.31	13.17248	3.7	13 k Hz
17	1.15062	1.04	16.60992	2.9	17 kHz
18	1.02362	0.823	20.9428	2.3	21 kHz
19	0.91186	0.653	26.40728	1.8	27 kHz
20	0.8128	0.518	33.292	1.5	33 kHz
21	0.7239	0.41	41.984	1.2	42 kHz
22	0.64516	0.326	52.9392	0.92	53 kHz
23	0.57404	0.258	66.7808	0.729	68 kHz
24	0.51054	0.205	84.1976	0.577	85 kHz
25	0.45466	0.162	106.1736	0.457	107 kHz
26	0.40386	0.129	133.8568	0.361	130 kHz

2. Program *MPPT* yang digunakan pada MATLAB

```
function dutyOut = pno(Vsense, Isense)
persistent duty p p0 v0 dp dv n ;

if isempty(duty)
    duty=0.33;
end
if isempty(p)
    p = 0;
end
if isempty(p0)
    p0=0;
end
if isempty(v0)
    v0=0;
end

if isempty(n)
    n=0;
end

if duty<=1
    p = Vsense*Isense;
    dp = p-p0;
    dv = Vsense-v0;

    if (dp/dv>0)
        duty = duty - 0.01;
    end

    if (dp/dv<0)
        duty = duty + 0.01;
    end
    v0=Vsense;
    p0=p;
    if n==0
        duty = duty - 0.01;
        n=1;
    end
end
```

```

    end
    if (duty<0.33)
    duty = 0.33;
    end
    if (duty>0.71)
    duty = 0.71;
    end

end

    dutyOut = duty;

end

```

3. Program *MPPT* yang digunakan pada Arduino

```

const int Vinsense=A3,Voutsense=A2,linsense=A1,loutsense=A0;
double Vsampin=0,Vsampout=0,Isampin=0,Isampout=0;
double VavgIn,VavgOut,lavgIn,lavgOut,linvamps,lovamps;
double Vin,Vout,lin,lout,Pin;
double v0=0,p0=0,dv=0,dp=0;
int Vrawin,Vrawout,lrawin,lrawout;
int ACSoffset=2500;
int mVperAmp=87;
int iterasi=100;
float D=0.5,delD=0.01;

void sensing()
{
    Vsampin=0;
    Vsampout=0;
    Isampin=0;
    Isampout=0;

```

```

for(int i=0;i<iterasi;i++)
{
  Vrawin = analogRead(Vinsense);
  Vrawout = analogRead(Voutsense);
  Irawin = analogRead(linsense);
  Irawout = analogRead(loutsense);

  Vsampin += Vrawin;
  Vsampout+= Vrawout;
  Isampin += Irawin;
  Isampout+= Irawout;
  delayMicroseconds(100);
}

VavgIn = Vsampin/iterasi;
VavgOut = Vsampout/iterasi;
IavgIn = Isampin/iterasi;
IavgOut = Isampout/iterasi;

Vin = VavgIn*50/1023.0;
Vout = VavgOut*50/1023.0;
Iinvamps = (IavgIn/1023.0)*5000;
Iovamps = (IavgOut/1023.0)*5000;
Iin = (Iinvamps - ACSoffset) / mVperAmp;
Iout = (Iovamps - ACSoffset) / mVperAmp;
Pin = Vin*Iin;
}

void pno()
{
  sensing();
  dv=Vin-v0;
  dp=Pin-p0;
}

```

```

if(dp>0)
{
  if(dv>=0) D+=delD;
  else D-=delD;
}
else if(dp<0)
{
  if(dv>=0) D-=delD;
  else D+=delD;
}

v0=Vin;
p0=Pin;

if (D<=0.1)D=0.1;
else if (D>=0.9)D=0.9;
OCR1A=D*160;
}
void disp()
{
  Serial.print(Vin,3);
  Serial.print("\t ");
  Serial.print(Iin,3);
  Serial.print("\t ");
  Serial.print(Pin,3);
  Serial.print("\t ");
  //Serial.print(dv,3);
  // Serial.print("\t ");
  Serial.println(D,2);
  //Serial.print("\t ");
  //Serial.println(dp,3);
}

```

```

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(9600);      // bound untuk serial monitor
  pinMode(9, OUTPUT);
  pinMode(10, OUTPUT);
  TCCR1A = _BV(COM1A1) | _BV(WGM11);
  TCCR1B = _BV(WGM13) | _BV(CS10);
}

void loop() {
  pno();
  ICR1=160;    //400=20kHz  160=50kHz
  disp();
}

```

4. Program *Solar Charge Controller* dengan *MPPT* yang digunakan pada Arduino

```

#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#define SOL_ADC A0
#define CURS_ADC A1
#define BAT_ADC A2
#define CURB_ADC A3
#define BAT_MIN 10.5
#define BAT_MAX 15.0
#define BULK_CH 14.4
#define FLOAT_CH 13.6
#define LVD 11.5
#define PWM1_PIN 9
#define PWM2_PIN 10
#define LOAD_PIN 2
#define BAT_RED_LED 5
#define BAT_GREEN_LED 6
#define BAT_YELL_LED 7

```



```

//-----DECLARATION OF ALL GLOBAL VARIABLES-----//
int ACSoffset = 2500;
int mVperAmp = 87;
float solar_out = A0;
float amp_solar = A1;
float bat_out = A2;
float amp_out = A3;
double Vo_solar =0;
double Vo_bat =0;
double AmpOut =0;
double AmpIn =0;
double VacsOut0;
float Ib;
float Ibmax0 = 4.0;      // arus ke baterai maksimal awal (0.2C)
float Ibmin = 0.18;    // arus ke baterai minimal (0.01C)
double v0=0,p0=0,dv=0,dp=0;
float Vsamp_solar=0;
float Isamp_solar=0;
float Vsamp_bat=0;
float Isamp_bat=0;
float Vso=0;
float Iso=0;
float Vbo=0;
float Ibo=0;
float Avg_Vso=0;
float Avg_Iso=0;
float Avg_Vbo=0;
float Avg_Ibo=0;
float Pin=0;
float D=0.5,delD=0.01;
float system_volt=0;
float bulk_charge=0;
float float_charge=0;
float charge_status=0;
float load_status=0;
float error=0;
float Ep=0;

```

```

int duty =0;
float lvd;
float msec=0;
float last_msec=0;
float elapsed_msec=0;
float elapsed_time=0;
float ampSecs = 0;
float ampHours=0;
float watts=0;
float wattSecs = 0;
float wattHours=0;

LiquidCrystal_I2C lcd(0x3F, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7, 3, POSITIVE); //LCD I2C
address

//-----DECLARATION OF ALL BIT MAP ARRAY FOR FONTS-----//

byte solar[8] = //icon for solar panel
{
0b11111,0b10101,0b11111,0b10101,0b11111,0b10101,0b11111,0b00
000
};
byte battery[8] =
{
0b01110,0b11011,0b10001,0b10001,0b10001,0b10001,0b10001,0b11
111
};
byte energy[8] =
{
0b00010,0b00100,0b01000,0b11111,0b00010,0b00100,0b01000,0b00
000
};
byte temp[8] =
{
0b00100,0b01010,0b01010,0b01110,0b01110,0b11111,0b11111,0b01
110
};

```

```

byte charge[8] =
{

0b01010,0b11111,0b10001,0b10001,0b10001,0b01110,0b00100,0b00
100,
};
byte not_charge[8]=
{
0b00000,0b10001,0b01010,0b00100,0b01010,0b10001,0b00000,0b00
000,
};
//*****MAIN PROGRAM START *****
void setup()
{
Serial.begin(9600);
pinMode(BAT_RED_LED,OUTPUT);
pinMode(BAT_GREEN_LED,OUTPUT);
pinMode(BAT_YELL_LED,OUTPUT);
pinMode(PWM1_PIN,OUTPUT);
pinMode(PWM2_PIN,OUTPUT);
pinMode(LOAD_PIN,OUTPUT);
digitalWrite(PWM1_PIN,LOW);
digitalWrite(PWM2_PIN,LOW);
digitalWrite(LOAD_PIN,LOW);
lcd.begin(20,4);
lcd.backlight();
lcd.createChar(1,solar);
lcd.createChar(2, battery);
lcd.createChar(3, energy);
lcd.createChar(5,temp);
lcd.createChar(6,charge);
lcd.createChar(7,not_charge);
lcd.clear();
}

void loop()
{

```

```

system_voltage(); // deteksi sistem tegangan baterai
setpoint(); // setpoint sesuai tegangan baterai
float charge_cycle(); // pwm charging
power(); // calculate the load power and energy
led_indication(); // led indicator
print_data(); // print in serial monitor
lcd_display(); // lcd display
}
//***** PROGRAM END *****

//-----READS SOLAR AND BATTERY VOLTAGE-----//
float read_adc(float adc_parameter)
{
// put your main code here, to run repeatedly:
Vsamp_solar=0;
Isamp_solar=0;
Vsamp_bat=0;
Isamp_bat=0;

for(int x=0;x<1000;x++)
{
Vso=analogRead(A0);
Iso=analogRead(A1);
Vbo=analogRead(A2);
lbo=analogRead(A3);

Vsamp_solar=Vsamp_solar+Vso;
Isamp_solar=Isamp_solar+Iso;
Vsamp_bat=Vsamp_bat+Vbo;
Isamp_bat=Isamp_bat+lbo;

Avg_Vso= Vsamp_solar/1000;
Avg_Iso= Isamp_solar/1000;
Avg_Vbo=Vsamp_bat/1000;
Avg_lbo= Isamp_bat/1000;
delayMicroseconds(50);
}

```

```

}

//-----READ THE DATA-----//
void read_data(void)
{
    Vo_solar = Avg_Vso*50/1023.0;
    Vo_bat= Avg_Vbo*50/1023.0;
    float VacsOut = (Avg_lbo/1023.0)*5000; //mendapatkan nilai mV
    AmpOut = ((VacsOut-ACSoffset) / mVperAmp);
    float VacsIn = (Avg_Iso/1023.0)*5000; //mendapatkan nilai mV
    AmpIn = ((VacsIn-ACSoffset) / mVperAmp);
    Pin=Vo_solar*AmpIn;

//-----MPPT PnO-----//
dv=Vo_solar-v0;
dp=Pin-p0;

if(dp>0)
{
    if(dv>=0) D+=deID;
    else D-=deID;
}
else if(dp<0)
{
    if(dv>=0) D-=deID;
    else D+=deID;
}

v0=Vo_solar;
p0=Pin;

if (D<=0.1)D=0.1;
else if (D>=0.9)D=0.9;
D=D*160;
analogWrite(PWM2_PIN,D);
}

```

```

//-----POWER AND ENERGY CALCULATION-----//
void power(void)

{
msec = millis();
elapsed_msec = msec - last_msec; //Calculate how long has past since
last call of this function
elapsed_time = elapsed_msec / 1000.0; // 1sec=1000 msec
watts=AmpOut*Vo_bat;
float ampsSecs=(AmpOut*elapsed_time);//AmpSecs since last
measurement
wattSecs = ampSecs * Vo_bat;//WattSecs since last measurement
ampHours = ampHours + ampSecs/3600; // 1 hour=3600sec //Total
ampHours since program started
wattHours = wattHours + wattSecs/3600; // 1 hour=3600sec //Total
wattHours since program started
last_msec = msec; //Store 'now' for next time
}

//-----PRINT DATA IN SERIAL MONITOR-----//
void print_data(void)
{
delay(100);
Serial.print("Solar Panel Voltage: ");
Serial.print(Vo_solar);
Serial.println("V");
Serial.print("Battery Voltage: ");
Serial.print(Vo_bat);
Serial.println("V");
Serial.print("System Voltage: ");
Serial.print(system_volt);
Serial.println("V");
Serial.print("Charge Set Point:");
Serial.println(bulk_charge);
Serial.print("Battery Current: ");

```

```

Serial.print(AmpOut);
Serial.println("A");
Serial.print("Power: ");
Serial.print(watts);
Serial.println("W");
Serial.print("Energy: ");
Serial.print(wattHours);
Serial.println("WH");
Serial.print("Duty Cycle :");
if (charge_status==1)
{
Serial.println("99%");
Serial.println("BULK CHARGING");
}
else if (charge_status==2)
{
Serial.print(Ep);
Serial.println("%");
Serial.println("FLOAT CHARGING");
}
else
{
Serial.println("0%");
Serial.println("NOT CHARGING");
}
}

//-----SYSTEM VOLTAGE-----//
void system_voltage(void)
{
if ((Vo_bat > BAT_MIN) && (Vo_bat < BAT_MAX))
{
system_volt = 12;
}
}

```

```

//-----CHARGE SET POINT----- //

void setpoint(void)
{
  if(system_volt ==12)
  {
    bulk_charge = BULK_CH; //14,4
    float_charge=FLOAT_CH; //13,6
    lvd =LVD;//10,5
  }
}

//-----PWM CHARGE CYCLE-----//
void charge_cycle(void)
{
  if(Vo_bat<=lvd)// charging mulai
  {
    charge_status = 1;
    duty=0;//PWM 0%
    analogWrite(PWM1_PIN,duty);
  }
  else if (Vo_bat > lvd && Vo_bat <= 11.5)
  {
    charge_status = 2;//20% kapasitas
    duty=229.5;
    analogWrite(PWM1_PIN,duty);
  }
  else if (Vo_bat > 11.5 && Vo_bat <= 14.0)
  {
    charge_status = 3; // indikasi mode BULK
    duty= 229.5; //PWM 90%
    analogWrite(PWM1_PIN,duty);
  }
  if (Vo_bat > 14.0 && Vo_bat <= float_charge)
  {
    charge_status = 4;//mode absorption
    duty=25.5;//PWM 10%
  }
}

```



```

    analogWrite(PWM1_PIN,duty);
}
if (Ib<=0.2*Ibmax0)
{
    charge_status = 5;// indikasi mode FLOAT
    duty=0;//PWM 0%
    analogWrite(PWM1_PIN,duty);
}
else if (Vo_bat > float_charge && Vo_bat <= bulk_charge)
{
    charge_status = 5; // indikasi mode FLOAT
    error = (bulk_charge - Vo_bat); // duty cycle dikurangi ketika
tegangan baterai mendekati setpoint charge
    Ep= error *100 ; //Ep= error* Kp // Assumsi Kp=100

    if(Ep < 0)
    {
        Ep=0;
    }
    else if(Ep>100)
    {
        Ep=100;
    }
    else if(Ep>0 && Ep <=100) // regulasi
    {
        duty = (Ep*255)/100;
    }
    analogWrite(PWM1_PIN,duty);
}
else
{
    charge_status=0; // indikasi charging OFF
    duty=0;
    analogWrite(PWM1_PIN,duty);
}
}

```

```

//-----LED INDICATION-----//
void led_indication(void)
{
  battery_led();    //status baterai
}

//-----BATTERY LED INDICATION-----//
void battery_led(void)
{
  if( (Vo_bat > system_volt) && ( Vo_bat <bulk_charge) )
  {
    leds_off_all();
    digitalWrite(BAT_GREEN_LED,LOW); // kondisi baterai normal
  }
  else if(Vo_bat >= bulk_charge)
  {
    leds_off_all();
    digitalWrite(BAT_YELL_LED,LOW); //kondisi baterai penuh
  }
  else if(Vo_bat < system_volt)
  {
    leds_off_all();
    digitalWrite(BAT_RED_LED,LOW); // kondisi baterai habis
  }
}

//-----TURN OFF ALL THE LED-----//
void leds_off_all(void)
{
  digitalWrite(BAT_RED_LED,HIGH);
  digitalWrite(BAT_GREEN_LED,HIGH);
  digitalWrite(BAT_YELL_LED,HIGH);
}

```

```

//-----LCD DISPLAY-----//
void lcd_display()
{
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.write(1);
  lcd.setCursor(2, 0);
  lcd.print(Vo_solar);
  lcd.print("V");
  lcd.setCursor(14, 0);
  lcd.write(5);
  lcd.setCursor(2, 1);
  lcd.print(bat_out);
  lcd.print("V");
  if((charge_status==1) | (charge_status== 2))
  {
    lcd.write(6);
  }
  else
  {
    lcd.write(7);
  }
  lcd.setCursor(0,2);
  lcd.write(9);
  lcd.setCursor(2,2);
  lcd.print(AmpOut);
  lcd.print("A");
  lcd.setCursor(13,2);
  lcd.print(watts);
  lcd.print("W");
  lcd.setCursor(0,3);
  lcd.print("Energy:");
  lcd.print(wattHours);
  lcd.print("WH");
}

```

5. Data Monitoring *Solar Charge Controller* dengan *MPPT*

Tegangan	Arus	Fase
12.42	3.55	BULK CHARGING
12.42	2.80	
12.43	2.73	
12.36	2.81	
12.42	2.87	
12.42	2.95	
12.43	3.01	
12.41	3.06	
12.38	3.14	
12.44	3.18	
12.45	3.13	
12.42	3.07	
12.42	3.11	
12.43	3.19	
12.41	3.26	
12.42	3.32	
12.39	3.35	
12.33	3.44	
12.42	3.49	
12.42	3.56	
12.43	3.63	
12.48	3.55	
12.40	3.64	
12.45	3.66	
12.46	3.62	
12.46	3.68	
12.43	3.71	
12.44	3.67	
12.42	3.64	
12.40	3.56	
12.41	3.63	

12.43	3.66	
12.43	3.70	
14.36	2.37	ABSORPTION CHARGING
14.18	2.47	
14.29	2.38	
14.03	2.39	
14.30	2.38	
14.36	2.41	
14.30	2.37	
14.08	2.37	
14.20	2.39	
14.36	2.24	
14.26	2.49	
14.19	2.37	
14.33	2.37	
14.16	2.36	
14.33	2.36	
14.06	2.38	
14.18	2.34	
14.31	2.35	
14.08	2.37	
14.12	2.33	
14.06	2.35	
14.27	2.24	
14.09	2.50	
14.21	2.31	
14.43	2.33	
13.79	0.20	FLOAT CHARGING
13.76	0.20	
13.76	0.18	
13.67	0.09	
13.80	0.34	
13.79	0.19	
13.76	0.19	

13.76	0.20	
13.79	0.18	
13.76	0.07	
13.76	0.33	
13.76	0.17	
13.76	0.19	
13.67	0.20	
13.80	0.17	
13.79	0.19	
13.76	0.19	
13.76	0.18	
13.76	0.14	
13.78	0.16	
13.76	0.27	
13.76	0.17	
13.71	0.18	
13.78	0.18	
13.79	0.20	

BIODATA PENULIS



Wahyu menjadi nama panggilan favorit selama sekolah, dengan nama lengkap Wahyu Ardi Santosa yang merupakan anak ketiga yang lahir di rumah pada tanggal 14 Desember 1996. Besar di dusun Gompyong, dusun ayem tentrem (damai, sejahtera), Kabupaten Semarang. Pendidikan tingkat dasar sudah terlalui lulus tahun 2009 dari SDN Karangduren 01, kemudian melanjutkan pendidikan menengah pertama dimulai dari tahun 2009-2012 di SMPN 1 Salatiga, Lulus pendidikan menengah atas pada tahun 2015 dari SMAN 1 Salatiga yang letaknya di Jalan Kemiri No.1 Salatiga. Tepat 8 Semester penulis menyelesaikan pendidikan tingkat Sarjana di Departemen Teknik Elektro FTE-ITS. Penulis selama masa perkuliahan telah aktif dalam kegiatan akademik dan non akademik. Mendapat amanah menjadi asisten Laboratorium Konversi Energi Listrik selama 2 tahun. Selama semester 6-7 penulis suka jalan – jalan mengikuti kegiatan keilmiah. Prestasi keilmiah tingkat nasional telah diraih diantaranya Best Prototype LKTI SAFE SIP Politeknik Negeri Jember dan Juara 1 LKTI PROPELAN OPEN Institut Pertanian Bogor. Tahun pertama selama perkuliahan banyak mengikuti kepanitian intra kampus dan menjadi Staff VIVAT PRESS BEM ITS pada tahun ketiga. Perihal lain yang memungkinkan untuk didiskusikan dapat menghubungi melalui email : ardisantosa96@gmail.com

Halaman ini sengaja dikosongkan