

TUGAS AKHIR

PENINGKATAN EFISIENSI SOLAR CELL DENGAN MPPT METODE IC MENGGUNAKAN BUCK - BOOST CONVERTER PADA BUDIDAYA JAMUR

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro
Pada Fakultas Teknik Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah
Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

SYAHLAN BALDAN
NPM : 1907220034



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2022**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Syahlan Baldan

NPM : 1907220034

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : Peningkatan Efisiensi Solar Cell Dengan MPPT Metode IC Menggunakan Buck – Boost Converter Pada Budidaya Jamur

Bidang ilmu : Energi Baru Terbarukan

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 05 Oktober 2023

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing

Noorly Ewalina, S.T., M.T

Dosen Pembanding I

Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd

Dosen Pembanding II

Faisal Irsah Pasaribu, S.T., M.T



Faisal Irsah Pasaribu, S.T., M.T

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Syahlan Baldan
Tempat /Tanggal Lahir : Rawa Sari, 08 Januari 2002
NPM : 1907220034
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul: **“Peningkatan Efisiensi Solar Cell Dengan MPPT Metode IC Menggunakan *Buck – Boost Converter* Pada Budidaya Jamur”**. Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil/Mesin/Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 05 Oktober 2023

Saya yang menyatakan



Syahlan Baldan

ABSTRAK

Permasalahan utama pada pengguna panel surya adalah sistem PV yang memiliki efisiensi yang rendah karena daya yang dihasilkan PV tergantung pada kondisi lingkungan yang dapat mempengaruhi karakteristik output dari modul PV. Dimana permasalahan kebutuhan energi listrik terus bertambah salah satu contohnya kebutuhan listrik pada petani jamur. Oleh karena itu penulis ingin menggunakan MPPT metode IC (*increment conductance*) menggunakan *Buck-Boost Converter* sehingga sistem ini diharapkan mampu meningkatkan efisiensi guna membantu memenuhi kebutuhan listrik. Pada penelitian ini menggunakan solar cell 50 wp dan penyimpan energi listrik berupa 2 aki yang masing-masing berkapasitas 12 volt, dimana aki pertama digunakan untuk pengujian menggunakan MPPT IC *Buck-Boost Converter* dan aki kedua digunakan untuk pengujian tanpa MPPT (PWM). Pengujian ini berhasil meningkatkan efisiensi dilihat dari daya input rata – rata sebesar 17,5 Watt dengan rata-rata daya output tanpa MPPT (PWM) adalah 15,15 Watt dengan efisiensi 85,12 %, sedangkan dengan menggunakan MPPT IC *Buck-Boost Converter* daya output lebih besar dengan rata – rata sebesar 16,63 Watt dengan efisiensi 94,6 %. Hal ini menunjukkan penggunaan MPPT IC *Buck-Boost Converter* jauh lebih baik dibandingkan tanpa MPPT (PWM). Apabila menggunakan MPPT IC *Buck-Boost Converter* maka daya keluaran PLTS dapat mensuplai beban pada budidaya jamur dengan tingkat ketahanan selama 2,14 hari sedangkan tanpa MPPT dengan tingkat ketahanan 1,94 hari, dengan masing-masing daya keluaran PLTS yang dihasilkan satu hari.

Kata Kunci : Solar Cell, MPPT, IC, *Buck - Boost Converter*

ABSTRACT

The main problem for solar panel users is that PV systems have low efficiency because the power produced by PV depends on environmental conditions which can affect the output characteristics of the PV module. Where the problem of electrical energy needs continues to increase, one example is the electricity needs of mushroom farmers. Therefore, the author wants to use the MPPT IC (increment conductance) method using a Buck-Boost Converter so that this system is expected to be able to increase efficiency to help meet electricity needs. This research used a 50 wp solar cell and stored electrical energy in the form of 2 batteries, each with a capacity of 12 volts, where the first battery was used for testing using an MPPT IC Buck-Boost Converter and the second battery was used for testing without MPPT (PWM). This test succeeded in increasing efficiency seen from the average input power of 17.5 Watts with the average output power without MPPT (PWM) being 15.15 Watts with an efficiency of 85.12%, while using the MPPT IC Buck-Boost Converter power output is greater with an average of 16.63 Watts with an efficiency of 94.6%. This shows that the use of the MPPT IC Buck-Boost Converter is much better than without MPPT (PWM). If you use the MPPT IC Buck-Boost Converter, the PLTS output power can supply the load for mushroom cultivation with a resistance level of 2.14 days, whereas without the MPPT the power output level is 1.94 days, with each PLTS output power produced being one day.

Keywords: Solar Cell, MPPT, IC, Buck - Boost Converter

KATA PENGANTAR

Assalamua'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Peningkatan Efisiensi Solar Cell Dengan Mppt Berdasarkan Metode IC Menggunakan *Buck - Boost Converter* Pada Budidaya Jamur” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan. Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus kepada:

1. Ayahanda tercinta Sugianto, Ibunda tercinta Syariah dan adinda tersayang Aura Bidara Nazwa dan Winasya Ardha Syifa, serta seluruh keluarga yang telah memberikan bantuan moril maupun materil serta nasehat dan doanya untuk penulis demi selesainya Tugas Akhir ini.
2. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah memberikan perhatian sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
3. Bapak Dr. Ade Faisal M. Sc., Ph.D., selaku Wakil Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
4. Bapak Affandi, S.T., M.T., selaku Wakil III Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
5. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
6. Ibu Elvy Sahnur, S.T., M.Pd., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
7. Ibu Noorly Evalina S.T., M.T., selaku Pembimbing dalam tugas akhir ini yang telah memberikan bimbingannya, masukan dan bantuan sehingga tugas sarjana ini dapat terselesaikan dengan baik.

8. Bapak Surya Eka Indra Kumara, selaku Pengarah dan Pembantu berdirinya rancangan alat penelitian.
9. Seluruh Dosen dan Staff Pengajar di Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
10. Seluruh rekan-rekan seperjuangan mahasiswa Program Studi Teknik Elektro khususnya kelas A1 Pagi yang telah banyak membantu dan memberikan semangat kepada penulis dengan memberikan masukan-masukan yang bermanfaat selama proses perkuliahan maupun dalam penulisan Tugas Akhir ini.
11. Seluruh staff Tata Usaha di biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna dan tidak luput dari kekurangan, karena itu dengan senang hati dan penuh lapang dada penulis menerima segala bentuk kritik dan saran dari pembaca yang sifatnya membangun demi kesempurnaan penulisan Tugas Akhir ini. Akhir kata penulis mengharapkan semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua dan semoga Allah SWT selalu merendahkan hati atas segala pengetahuan yang kita miliki. Amiin ya rabbal alamin.

Wassalamua'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Medan, 21 September 2023

SYAHLAN BALDAN

DAFTAR ISI

ABSTRAK	ii
<i>ABSTRACT</i>	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Ruang Lingkup	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB 2	6
TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan.....	6
2.2 Landasan Teori	8
2.2.1 Photovoltaic	8
2.2.2 Pulse Width Modulation	12
2.2.3 <i>Maximum Power Point Tracking (MPPT)</i>	17
2.2.4 <i>Metode IC (Incremental Conductance)</i>	18
2.2.5 <i>Buck-Boost Converter</i>	22
2.2.6 <i>Microcontroller</i>	24
2.2.7 Sensor INA219.....	25
2.2.8 Sensor Tegangan (<i>Voltage Divider</i>).....	26
2.2.9 Sensor Arus ACS712	27
2.2.10 LCD (<i>Liquid Crystal Display</i>)	27
2.2.11 Baterai	28
2.2.12 Definisi dan Tipologi Budidaya Jamur	29
BAB 3	31
METEDOLOGI PENELITIAN	31
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	31
3.2 Bahan Yang Digunakan	31

3.3	Alat Yang Digunakan	32
3.4	Diagram Alir Penelitian	33
3.5	Metode Penelitian	34
3.6	Perancangan Sistem	35
3.7	Tahapan Pengujian dan Pengambilan Data	43
BAB 4		45
HASIL DAN PEMBAHASAN		45
4.1	Beban Pemakaian Pada Budi Daya Jamur	45
4.2	Pengujian sensor INA219	46
4.3	Hasil Pengujian Menggunakan MPPT Incremental Conductance.....	50
4.4	Hasil Pengujian dengan Tanpat MPPT (PWM). Error! Bookmark not defined.	
4.5	Perbandingan hasil dari MPPT dengan tanpa MPPT Error! Bookmark not defined.	
4.6	Kemampuan PLTS Mensuplai Beban.. Error! Bookmark not defined.	
BAB 5		51
KESIMPULAN		51
5.1	Kesimpulan	51
5.2	Saran	52
LAMPIRAN		53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Solar Cell.....	8
Gambar 2. 2 Gambar 2.1 Proses Pembebasan Elektron Oleh Foton [18].....	11
Gambar 2. 3 SCC PWM.....	12
Gambar 2. 4 Single Pulse Modulation [20].....	14
Gambar 2. 5 Multiple Pulse Width Modulation.....	15
Gambar 2. 6 Skema Pembentukan Sinyal SPWM [21]	16
Gambar 2. 7 Bentuk Gelombang SPWM [21]	17
Gambar 2. 8 Gambar 2.8 Pengaruh Pembebanan Terhadap Kurva V-I Panel Surya [22].....	18
Gambar 2. 9 Turunan Incremental Conductance Kendali Conductance Control [23].....	19
Gambar 2. 11 Diagram Algoritma <i>Incremental Conductance</i>	21
Gambar 2. 12 Diagram Skematik Penjejak Menggunakan Metode Incremental Conductance [15]	21
Gambar 2. 13 Rangkaian Elektrik Buck-Boost Converter [14]	22
Gambar 2. 14 Software Arduino IDE	25
Gambar 2. 15 Sensor Pembagi Tegangan	26
Gambar 2. 16 Baterai	28
Gambar 2. 17 Budidaya Jamur Tiram	29
Gambar 3. 1 Diagram Alir	33
Gambar 3. 2 Diagram Blok Perancangan Sistem.....	35
Gambar 3.6. 1 Solar Cell 50 Wp	35
Gambar 3.6. 2 Buck-Boost Converter.....	36
Gambar 3.6. 3 Microcontroller	37
Gambar 3.6. 4 Sensor INA219.....	38
Gambar 3.6. 5 Sensor Tegangan Divinder	38
Gambar 3.6. 6 Sensor Arus ACS712	39
Gambar 3.6. 7 Module MP2307 Step Down Regulator.....	40
Gambar 3.6. 8 LCD OLED I2C	41
Gambar 3.6. 9 Aki.....	41
Gambar 3.6. 10 Pompa Air DC.....	42
Gambar 3.6. 11 Pompa Air DC.....	43
Gambar 4. 1 Kubung budidaya jamur	45
Gambar 4. 2 Denah Budidaya Jamur	45
Gambar 4. 3 Rangkaian MPPT IC Buck-Boost Converter .. Error! Bookmark not defined.	
Gambar 4. 4 Perbandingan Daya Input dan Output Menggunakan MPPT IC Buck-Boost Converter	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 5 Sampel Pengukuran Intensitas Cahaya Matahari MPPT.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 6 Sampel Pengukuran Tegangan dan Arus Input MPPT	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 7 Sampel Pengukuran Tegangan dan Arus Output MPPT.....	Error!

Bookmark not defined.

Gambar 4. 8 Perbandingan Daya Input dan Output Tanpa MPPT (PWM) ... **Error!**

Bookmark not defined.

Gambar 4. 9 Sampel Pengukuran Intensitas Cahaya Matahari PWM **Error!**

Bookmark not defined.

Gambar 4. 10 Sampel Pengukuran Tegangan dan Arus Input PWM **Error!**

Bookmark not defined.

Gambar 4. 11 Sampel Pengukuran Tegangan dan Arus Output PWM..... **Error!**

Bookmark not defined.

Gambar 4. 12 Perbandingan Daya Outoput MPPT IC Buck-Boost Converter dan Tanpa MPPT (PWM)**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 13 Perbandingan Effisiensi MPPT IC Buck-Boost Converter dan tanpa MPPT (PWM)**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.2. 1 Grafik Perbandingan Hasil Bacaan Arus 48

Gambar 4.2. 2 Grafik Perbandingan Hasil Bacaan Tegangan 49

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penggunssn kaki/pin sensor INA219	25
Tabel 2. 2 Konfigurasi Pin Sensor Arus ACS712.....	27
Tabel 3.6. 1 Spesifikasi Panel Surya.....	36
Tabel 3.6. 2 Spesifikasi Panel Surya.....	36
Tabel 3.6. 3 Spesifikasi Microcontroller.....	37
Tabel 3.6. 4 Spesifikasi Sensor INA219	38
Tabel 3.6. 5 Spesifikasi Sensor Tegangan Divinder	39
Tabel 3.6. 6 Spesifikasi Sensor Arus ACS712.....	39
Tabel 3.6. 7 Spesifikasi Module MP2307 Step Down Regulator	40
Tabel 3.6. 8 Spesifikasi LCD OLED I2C	41
Tabel 3.6. 9 Spesifikasi Aki	42
Tabel 3.6. 10 Spesifikasi Pompa Air DC	42
Tabel 3.6. 11 Spesifikasi Lampu DC	43
Tabel 4. 1 Beban Pada Budidaya Jamur.....	46
Tabel 4. 2 Pengambilan Data PLTS dengan MPPT IC Buck-Boost Converter	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 3 Pengambilan Data PLTS Tanpa MPPT (PWM) .	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 4 Perbandingan Daya Output MPPT IC Buck-Boost Converter dan Tanpa MPPT (PWM)	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 5 Perbandingan Efisiensi MPPT IC Buck-Boost Converter dan Tanpa MPPT (PWM).....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.2. 1 Data Hasil Pengujian Sensor INA219 Sisi Arus.....	47
Tabel 4.2. 2 Data Hasil Pengujian Sensor INA219 Sisi Tegangan.....	49

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan sumber daya energi tak terbarukan untuk memenuhi kebutuhan energi masih sangat tinggi dari sektor ketenagalistrikan, saat ini pembangkit listrik di Indonesia masih didominasi oleh penggunaan bahan bakar fosil, namun ketersediaan energi di Indonesia untuk Oil dan Gas mengalami penurunan dari tahun ke tahun [1]. Tidak hanya itu kebutuhan energi listrik terus bertambah tiap tahunnya, sejalan dengan meningkatnya permintaan energi listrik yang terdiri atas pelanggan rumah tangga, bisnis, sosial, industri, pertumbuhan penduduk, salah satu contohnya kebutuhan listrik pada petani jamur [2].

Berdasarkan proyeksi kebutuhan listrik penduduk Indonesia hingga tahun 2024 nanti mencapai 50.000 MW, namun kebutuhan proyeksi tersebut masih belum mencukupi hingga saat ini. Sehingga untuk memenuhi kebutuhan listrik penduduk Indonesia, maka pemerintah membangun mega proyek 35.000 MW yang merupakan proyeksi PLN hingga tahun 2024. Namun kondisi pada tahun 2015 yang masih sekitar 84% rasio elektrifikasi, serta akan sangat mungkin nilai tersebut akan meningkat seiring bertambahnya penduduk maka Indonesia perlu digencarkan pembangunan khususnya energi terbarukan yang ramah lingkungan [3]. Penggunaan energi matahari oleh photovoltaic menawarkan sumber energi yang ramah lingkungan. Faktor yang harus diperhatikan sebelum melaksanakan sumber energi terbarukan adalah mengukur secara akurat potensi sumber daya yang tersedia antara lain intensitas cahaya matahari [4]

Permasalahan utama pada pengguna panel surya adalah sistem PV yang memiliki efisiensi yang rendah karena daya yang dihasilkan PV tergantung pada kondisi lingkungan yaitu variasi isolasi dan suhu dapat mempengaruhi karakteristik output dari modul PV. Maximum Power Point Tracker digunakan untuk mengekstraksi daya maksimum dari modul PV surya dan mentransfer daya dari modul PV ke beban. Konverter DC-DC bertindak sebagai antarmuka antara modul PV dengan mengubah duty cycle impedansi beban disesuaikan dengan impedansi sumber untuk mendapatkan daya maksimum dari modul PV [5]. Titik daya maksimum adalah titik tegangan dimana daya maksimum yang dihasilkan oleh

modul PV. Dalam metode *incremental conductance (IC)* penyesuaian tegangan terminal array sesuai dengan MPP tegangan yang dilakukan [6]. Keuntungan dari metode IC atau Incremental Conductance method yaitu memiliki kelebihan dalam hal kecepatan untuk mencapai MPP, dan juga dapat menyesuaikan perubahan lingkungan, tetapi memiliki implementasi yang lebih kompleks dan menjadi solusi yang efektif pada perubahan kondisi lingkungan yang cepat berubah-ubah dibandingkan metode yang lainnya [7]. Energi listrik yang dihasilkan dari solar cells disimpan dalam perangkat penyimpanan energi, baterai dan superkapasitor, diantara penyimpanan energi tersebut memiliki efisiensi yang berbeda-beda yang dapat digunakan sesuai kebutuhan dan kemudian baru dapat digunakan sebagai sumber energi pada alat listrik [8]. Salah satu alat tersebut yang nantinya digunakan dalam sektor pertanian budidaya jamur guna membantu untuk memenuhi kebutuhan para petani dan sebagai cara mengatasi global warming, membantu mengurangi emisi gas rumah kaca, serta memperkuat sumber daya alam.

Berdasarkan latar belakang yang telah diungkapkan diatas maka penulis ingin desain implementasi yang berkaitan dengan MPPT berdasarkan metode *increment conductance* sehingga sistem diharapkan mampu menghasilkan optimasi yang lebih baik dibandingkan dengan algoritma yang lain guna membantu memenuhi kebutuhan listrik. Dimana algoritma pengogramannya yang akan dimasukan ke dalam Arduino, karena dalam pemograman tersebut arus dan tegangan *input* ke *Buck-Boost Converter* dapat dikontrol melalui Arduino.

1.2 Rumusan Masalah

Dari analisa latar belakang yang terdapat di atas dapat disimpulkan permasalahan yang melandasi penelitian ini yaitu :

1. Bagaimana mendapatkan hasil daya output panel surya maksimal dari keluaran *Buck-Boost Converter* dengan menggunakan MPPT metode *Increment Conductance (IC)*?
2. Berapakah hasil perbandingan daya output panel surya menggunakan MPPT metode IC *Buck-Boost Converter* dan tanpa MPPT (PWM)?
3. Bagaimana meningkatkan efisiensi daya output solar panel dengan MPPT metode *Increment Conductance (IC)* menggunakan *Buck-Boost Converter* pada budidaya jamur ?

1.3 Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup pada penelitian ini sebagai berikut :

1. Parameter yang digunakan untuk mencari daya maksimum adalah arus dan tegangan.
2. Aki yang dipakai adalah aki 12 Volt sebanyak 2 buah dengan kapasitas yang sama untuk mengetahui perbandingan menggunakan MPPT Metode IC *Buck – Boost Converter dan tanpa MPPT (PWM)*.
3. Pengambilan data dilakukan pada saat sinar matahari dengan tingkat *intensitas* yang hampir sama.
4. Melakukan perbandingan solar charger control yang menggunakan MPPT *IC Buck-Boost Converter* dengan yang tidak menggunakan MPPT (PWM).
5. Data irradiasi dan temperatur dilakukan dengan menggunakan alat ukur yang dilihat dari Digital Lux Meter.

1.4 Tujuan Penelitian

Dari tinjauan masalah di atas dapat disimpulkan bahwa tujuan penelitian ini adalah :

1. Mendapatkan hasil daya output panel surya maksimal dari keluaran *Buck-Boost converter* dengan menggunakan metode MPPT metode *Incremental Conductance (IC)*.
2. Mengetahui perbandingan daya output panel surya menggunakan MPPT IC *Buck-Boost Converter* dan tanpa MPPT (PWM).
3. Meningkatkan efisiensi daya output solar panel dengan MPPT metode *increment conductance (IC)* menggunakan *Buck-Boost Converter* pada budidaya jamur.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini dapat memberi manfaat, terutama bagi penulis :

1. Untuk memperkenalkan kepada mahasiswa teknik elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara tentang photovoltaic menggunakan MPPT metode *Incremental Conductance (IC)* pada topologi Buck-Boost Converter.

2. Dapat menambah wawasan dan pengalaman langsung tentang MPPT dengan metode *Incremental Conductance (IC)* pada topologi Buck-Boost Converter kepada petani jamur.
3. Sebagai pijakan dan referensi pada peneliti-peneliti selanjutnya yang berhubungan dengan photovoltaic serta MPPT agar nantinya dapat mengimprovisasi penelitian sebelumnya.

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk mempermudah pembahasan dan pemahaman, maka sistematika penulisan tugas akhir ini diuraikan secara singkat sebagai berikut :

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan penyusunan tugas akhir berupa latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup, tujuan penelitian dan manfaat penulisan serta sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan konsep teori yang menunjang pada penelitian, memuat tentang dasar teori tentang photovoltaic, maximum power point tracker (MPPT), metode *Incremental Conductance (IC)* dan topologi *Buck-Boost Converter* sederhana dan lain-lain.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Bab ini akan menerangkan mengenai lokasi dilaksanakannya penelitian, alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian, menerangkan mengenai diagram alir / flowchart, spesifikasi bahan, fungsi bahan, menerangkan tahapan dalam desain MPPT IC *Buck – Boost Converter*, lalu tahapan dalam melaksanakan penelitian baik berupa pengumpulan data maupun pengujian dari MPPT IC *Buck-Boost converter* dan lain-lain.

BAB 4 ANALISA DAN HASIL PENELITIAN

Bab ini membahas mengenai hasil rancangan desain MPPT IC *Buck-Boost Converter* dan analisa data pada pengujian yang dilakukan.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini memuat kesimpulan dari penelitian yang dilakukan dan saran yang dapat digunakan sebagai tindak lanjut dari penelitian yang telah dilakukan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Sel surya menghasilkan listrik DC dari suatu bahan semikonduktor ketika bahan tersebut dipaparkan pada cahaya. Selama cahaya mengenai bahan semikonduktor tersebut maka sel surya akan menghasilkan energi listrik, dan ketika sel surya tidak dipaparkan cahaya, maka sel surya akan berhenti menghasilkan listrik. Beberapa sel surya mampu tetap menghasilkan energi. Pada penelitian yang dilakukan [9].

Pada pengujian alat penyemprot pestisida dilakukan oleh Sarwono [10] dengan beberapa tahap seperti pengujian rangkaian, pengujian panel surya, pengujian sprayer, dan pengujian baterai. Pengujian rangkaian dilakukan untuk memastikan alat penyemprot pestisida dapat berfungsi dengan baik. Pengujian panel surya dilakukan dengan cara mengukur tegangan, arus, dan juga intensitas cahaya setiap jam selama 7 jam, dimulai dari pukul 08.00 sampai 15.00. Pengujian tegangan, arus, dan intensitas cahaya dilakukan pada panel surya untuk mengetahui keluaran dari panel surya tersebut. Dalam pengujian tegangan dilakukan dalam tiga kondisi yaitu kondisi open circuit, kondisi tanpa beban, dan kondisi berbeban.

Sel surya juga teknologi yang menjanjikan sebab tidak hanya berguna bagi peneliti namun juga bisa dirasakan masyarakat umum. Menurut [11] beberapa manfaat dari panel surya antara lain :

1. Hemat Biaya Listrik Bulanan Meski memerlukan biaya relatif besar ketika pemasangan, menggunakan panel surya dalam jangka panjang akan memberikan keuntungan secara finansial karena berasal dari tenaga matahari yang tak terbatas.
2. Multifungsi Selain bisa digunakan untuk menghasilkan tenaga listrik, panel surya juga bisa dimanfaatkan untuk menghasilkan panas atau solar thermal.
3. Minim Biaya Pemeliharaan Panel surya tidak memerlukan perawatan yang rumit dan berlebihan. Cukup dibersihkan secara rutin secara berkala setiap bulan, perangkat panel surya tersebut tetap akan bisa terjaga dengan baik.
4. Kontribusi Penyelamatan Lingkungan Tak terbantahkan lagi bahwa saat ini

bumi terus mengalami peningkatan suhu dan pemanasan global yang signifikan.

Besarnya energi yang mampu dihasilkan oleh sel surya untuk kebutuhan rumah tangga dengan mengukur jumlah energi yang mampu disuplai oleh energi yang dihasilkan sel surya. Sel surya dapat menghasilkan nilai maksimum bergantung pada beberapa faktor, yaitu suhu udara ambien, radiasi matahari, kecepatan angin, keadaan atmosfer, orientasi panel sel surya, dan posisi sel surya terhadap matahari. Penelitian ini dilakukan dengan merakit modul sel surya dan membuat jaringan instalasi listrik penerangan diperumahan [12]. Daya listrik yang dihasilkan oleh sel surya merupakan hasil kali tahanan keluaran dengan banyaknya elektron yang mengalir atau besarnya arus. Energi surya telah menjadi objek populer penelitian dalam bidang energi terbarukan. Ketika irradiasi meningkat dari 198 W/m² ke 990 W/m², arus short circuit dan arus saat daya mencapai maksimum, masing-masing meningkat ke 0,7 A dan 0,6 A.[13]

Sel surya sendiri sering disebut juga photovoltaic yang terbuat dari bahan semikonduktor memiliki elektron yang terikat dengan lemah pada suatu pita energi yang disebut sebagai pita valensi. Ketika ada energi yang lebih besar dari batas threshold energi (band gap energy) yang diberikan pada elektron valensi tersebut, maka ikatan pada elektron tersebut putus sehingga elektron dapat bergerak bebas pada suatu pita energi baru yang disebut sebagai pita konduksi yang dapat menghasilkan listrik melalui bahan tersebut. Untuk mendapatkan serapan elektron dari sebuah cahaya yang optimal, photovoltaic sering dipasang di daerah terbuka. beberapa metode dilakukan seperti proses tracking mekanik. Pada penelitian yang dilakukan rata-rata hasil optimasi dari solar panel dual axis dinamis (tracking mekanik) adalah bekisar 10 antara 5% jika dibandingkan dengan sistem solar panel konvensional [14]. Nilai iradiasi dan temperature yang diterima photovoltaic terdapat nilai maksimum yang dihasilkan. Hal ini dikemukakan oleh [15] dalam penilitiannya bahwa MPPT memiliki keuntungan salah satunya adalah mempercepat terpenuhnya nilai daya yang diperlukan oleh beban dari daya yang dihasilkan oleh photovoltaic (equilibrium photovoltaic). Penelitian mengenai photovoltaic telah menemukan berbagai metode untuk mengoptimalkan daya yang dibangkitkan oleh photovoltaic seperti metode *pertubs and observing, incremental*

conductance.

Titik kerja maksimum *photovoltaic* terletak pada nilai tegangan yang berbeda untuk setiap kondisi lingkungan yang berbeda. Penelitian yang dilakukan oleh [16] bahwa metode *incremental conductance (IC)* bekerja berdasarkan *gradient* kurva P-V atau kurva P-I karakteristik sel surya. Algoritma *incremental conductance (IC)* digunakan untuk mengatasi masalah yang ditimbulkan oleh algoritma *pertubs and observing* dengan kemiringan P-V sebagai dasar pengontrolannya.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Photovoltaic



Gambar 2. 1 Solar Cell

Sel Surya atau Solar Cell adalah suatu perangkat atau komponen yang dapat mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip efek Photovoltaic [17]. Sel surya adalah sebuah alat yang tersusun dari material semikonduktor yang dapat mengubah sinar matahari menjadi tenaga listrik secara langsung. Sering juga dipakai istilah photovoltaic atau fotovoltaik. Sel surya pada umumnya memiliki ketebalan minimum 0,3 mm yang terbuat dari irisan bahan semikonduktor dengan kutub positif dan negatif. Pada sel surya terdapat sambungan (function) antara dua lapisan tipis yang terbuat dari bahan semikonduktor yang masing - masing yang diketahui sebagai semikonduktor jenis “P” (positif) dan semikonduktor jenis “N” (Negatif). Silikon jenis P merupakan lapisan permukaan yang dibuat sangat tipis supaya cahaya matahari dapat menembus mencapai

junction. Bagian P ini diberi lapisan nikel yang berbentuk cincin, sebagai terminal keluaran positif. Di bawah bagian P terdapat bagian jenis N yang dilapisi dengan nikel juga sebagai terminal keluaran negatif.

PV (*photovoltaic*) merupakan teknologi menggunakan komponen semikonduktor yang dapat memanfaatkan energi matahari berupa radiasi cahaya menjadi listrik searah. Pada umumnya, solar cell merupakan sebuah hamparan semi konduktor yang dapat menyerap photon dari sinar matahari dan mengubahnya menjadi listrik. Sel surya tersebut dari potongan silikon yang sangat kecil dengan dilapisi bahan kimia khusus untuk membentuk dasar dari solar cell.

Irradiasi matahari (G) dapat diketahui dari data nilai rata-rata radiasi matahari yang sampai kebumi, dengan nilai 1667 W/m². Nilai ini merupakan batas atas teoritis dari ketersediaan energy surya di bumi menurut Baharuddin di jurnal Analisis Ketersediaan Radiasi Matahari di Makassar. Untuk mengetahui daya (P) input sel surya adalah mempunyai irradiasi (G) dan luas panel surya (A) yang digunakan, maka dapat didefinisikan adalah :

$$P_{input} = G \times A \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

G = Irradiasi Matahari (W/m²)

A = Luas Panel Sel Surya

Sedangkan Daya Output (P_{output}) sel surya dapat diketahui dengan rumus sebagai berikut :

$$P_{output} = V \times I \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana:

V = Tegangan Output (Volt)

I = Arus Output (Ampere)

Efisiensi (η) sel surya dapat diketahui ketika adanya Daya Input (P_{input}) dan Daya Output (P_{output}), dengan dapat dibuatkan rumus sebagai berikut:

$$\eta = \frac{P_o}{P_{in}} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana:

η = Efisiensi (%)

P_{input} = Daya Input (Watt)

P_{output} = Daya Output (Watt)

Pada aplikasinya, tenaga listrik yang dihasilkan oleh satu modul sel surya masih cukup kecil, maka dalam pemanfaatannya beberapa modul digabungkan dengan cara hubungan seri maupun paralel yang disebut array.

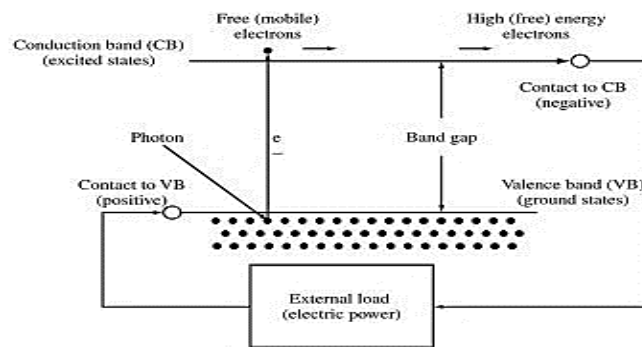
Semakin besar intensitas cahaya matahari yang masuk, arus yang dihasilkan akan semakin besar pula. Oleh karena itu faktor cuaca adalah penting mengingat intensitas cahaya matahari ketika cuaca mendung dan cerah tidaklah sama. Di bawah ini adalah beberapa faktor yang mempengaruhi kerja dari *photovoltaic* agar pengoperasiannya dapat mencapai nilai maksimum :

1. Suhu permukaan *photovoltaic*.
2. Radiasi solar matahari (iradiasi)
3. Kecepatan angin bertiup.
4. Keadaan atmosfer bumi.
5. Orientasi *photovoltaic*.
6. Posisi letak *photovoltaic* terhadap matahari (tilt angle).

Susunan sebuah sel surya sama dengan sebuah diode. Prinsip kerja *photovoltaic* yaitu terdiri dari lapisan yang dinamakan p-n junction. P-n junction itu diperoleh dengan jalan menambahkan sebatang bahan semikonduktor silikon murni (valensinya 4) dengan impuriti yang bervalensi 3 pada bagian sebelah kiri, dan yang disebelah kanan ditambahkan dengan impuriti bervalensi 5. Sehingga pada bagian kiri terbentuk silikon yang tidak murni lagi dan dinamakan silikon jenis n. Didalam silikon murni terdapat dua macam pembawa muatan listrik yang seimbang. Pembawa muatan listrik yang positif dinamakan hole, sedangkan yang negatif dinamakan elektron. Didalam silikon jenis p terbentuk hole (pembawa muatan listrik positif) dalam jumlah yang sangat besar dibandingkan dengan elektronnya. Oleh karena itu didalam silikon jenis p hole merupakan pembawa muatan mayoritas, sedangkan elektron merupakan pembawa muatan minoritas. Sebaliknya di dalam silikon jenis n terbentuk elektron dalam jumlah yang sangat besar sehingga disebut pembawa muatan mayoritas dan hole disebut pembawa muatan minoritas.

Pada batang silikon itu terjadi pertemuan antara bagian p dan bagian n. Oleh karena itu dinamakan p-n junction. Bila sekarang, bagian p dihubungkan dengan kutub positif dari sebuah baterai, sedangkan kutub negatifnya dihubungkan dengan bagian n, maka terjadi hubungan yang dinamakan *forward bias*. Dalam keadaan itu,

didalam rangkaian itu timbul arus listrik yang disebabkan oleh kedua macam pembawa muatan. Jadi arus listrik yang mengalir di dalam p-n junction disebabkan oleh gerakan hole, tapi berlawanan arah dengan gerakan elektron. Elektron yang bergerak di dalam bahan konduktor dapat menimbulkan energi listrik. Dan energi listrik inilah yang disebut sebagai arus listrik yang mengalir berlawanan arah dengan gerakan elektron.



Gambar 2. 2 Gambar 2.1 Proses Pembebasan Elektron Oleh Foton [18]

Apabila bagian p dihubungkan dengan kutub negatif dari baterai dan bagian n dihubungkan dengan kutub positifnya, maka sekarang terbentuk hubungan yang dinamakan *reverse* bias. Dengan keadaan seperti ini maka hole (pembawa muatan positif) dapat tersambung langsung ke kutub positif, sedangkan elektron juga langsung ke kutub positif. Di dalam p-n junction tidak ada gerakan pembawa muatan mayoritas baik yang hole maupun p bergerak berusaha untuk mencapai kutub positifnya baterai, demikian pula pembawa muatan minoritas (hole) didalam bagian n juga bergerak berusaha mencapai kutub negatif. Karena itu dalam keadaan *reserve* bias didalam p-n junction ada juga arus yang timbul meskipun dalam jumlah yang sangat kecil (mikro ampere). Arus ini sering disebut dengan *reserve saturation current* atau *leakage current* (arus bocor). Bila suhu pn junction tersebut dinaikkan ternyata dapat memperbesar arus bocor yang timbul itu. Berarti bila diberi energi (panas), pembawa muatan minoritas di dalam p-n junction bertambah banyak. Karena cahaya itu merupakan salah satu bentuk energi, maka bila ada cahaya yang menimpa suatu p-n junction dapat juga menghasilkan pembawa muatan. Gejala seperti ini dinamakan fotokonduktif. Berdasarkan gejala fotokonduktif itu maka dibuat komponen elektronik fotodioda dari p-n junction itu.

Dalam keadaan *reverse* bias dengan memperbesar intensitas cahaya yang

menimpa fotodiode dapat meningkatkan arus-arus bocornya. Arus bocor dapat juga diperbesar dengan memperbesar tegangan baterai (tegangan *reserve*), tapi penambahan arus bocornya itu tidak signifikan. Bila baterai dalam rangkaian *reserve* bias itu dilepas dan diganti dengan bahan tahanan, maka pemberian cahaya itu dapat menimbulkan pembawa muatan baik hole maupun elektron. Jika iluminasi cahaya itu ditingkatkan ternyata arus yang timbul semakin besar. Gejala seperti ini dinamakan photovoltare. Cahaya dapat meneruskan energi yang cukup besar untuk memperbesar jumlah hole pada bagian p dan jumlah elektron pada bagian n. Berdasarkan gejala fotovoltare ini maka dapat diciptakan komponen elektronik sel fotovoltare karena biasanya matahari sebagai sumber cahaya maka sel fotovoltare sering juga disebut sel surya atau solar energi converter.

Sel surya pada dasarnya sebuah foto diode yang besar dan dirancang dengan mengacu pada gejala fotovoltare sedemikian rupa sehingga dapat menghasilkan daya yang sangat besar mungkin. Silikon jenis p merupakan lapisan permukaan yang dibuat sangat tipis supaya cahaya matahari dapat menembus langsung mencapai junction. Bagian p ini diberi lapisan nikel yang berbentuk cincin, sebagai terminal keluaran positif. Di bawah bagian p terdapat bagian jenis n yang dilapisi dengan nikel juga sebagai terminal keluaran negatif. Untuk mendapatkan daya yang cukup besar diperlukan banyak sel surya biasanya sel-sel surya itu sudah disusun sehingga berbentuk panel dan dinamakan panel fotovoltare (PV).

2.2.2 *Pulse Width Modulation (PWM)*



Gambar 2. 3 SCC PWM

Pulse Width Modulation (PWM) secara umum adalah sebuah cara memanipulasi lebar sinyal yang dinyatakan dengan pulsa dalam suatu perioda,

untuk mendapatkan tegangan rata-rata yang berbeda. Beberapa contoh aplikasi PWM adalah pemodulasian data untuk telekomunikasi, pengontrolan daya atau tegangan yang masuk ke beban, regulator tegangan, audio effect dan penguatan, serta aplikasi-aplikasi lainnya. Aplikasi PWM berbasis mikrokontroler biasanya berupa pengendalian kecepatan motor DC, pengendalian motor servo, pengaturan nyala terang LED dan lain sebagainya.

Pulse Width Modulation (PWM) merupakan salah satu teknik untuk mendapatkan signal analog dari sebuah piranti digital. Sebenarnya Sinyal PWM dapat dibangkitkan dengan banyak cara, dapat menggunakan metode analog dengan menggunakan rangkaian op-amp atau dengan menggunakan metode digital. Dengan metode analog setiap perubahan PWM nya sangat halus, sedangkan menggunakan metode digital setiap perubahan PWM dipengaruhi oleh resolusi dari PWM itu sendiri. Resolusi adalah jumlah variasi perubahan nilai dalam PWM tersebut. Misalkan suatu PWM memiliki resolusi 8 bit berarti PWM ini memiliki variasi perubahan nilai sebanyak $2^8 = 256$ variasi mulai dari 0 – 255 perubahan nilai yang mewakili duty cycle 0 – 100% dari keluaran PWM tersebut. [19]

Siklus kerja adalah keadaan dimana Persentase waktu sinyal PWM tetap pada kondisi tinggi (*On time 100% duty cycle*) ataupun dalam kondisi sinyal pada keadaan mati (*Off time 0% duty cycle*). Dalam prosesnya kontrol PWM analog memerlukan pembangkitan sinyal referensi dan pembawa untuk dimasukkan ke dalam komparator yang berdasarkan pada beberapa output logis sehingga setelah itu output akhir akan dihasilkan. Sinyal referensi adalah output sinyal yang diinginkan mungkin gelombang sinusoidal atau persegi, sedangkan sinyal pembawa dapat berupa gigi gergaji atau gelombang segitiga pada frekuensi yang secara signifikan lebih besar daripada referensinya [20].

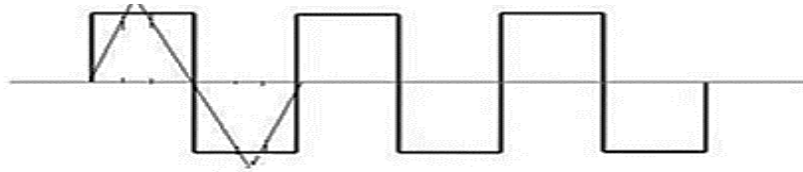
Ada tiga teknik dasar dari *Pulse width modulation*

1. Modulasi lebar pulsa tunggal (*single pulse width modulation*).
2. Modulasi lebar pulsa berganda (*multiple pulse width modulation*).
3. Modulasi lebar denyut sinusoidal (*sinusoidal pulse width modulation*).

A. Single *Pulse width modulation*

Dalam modulasi ini hanya ada satu pulsa keluaran per setengah siklus. *Output* diubah dengan memvariasikan lebar pulsa. Sinyal dihasilkan dengan

membandingkan referensi segi empat dengan referensi segitiga yang dihasilkan. Frekuensi kedua sinyal hampir sama dapat dilihat pada gambar berikut:



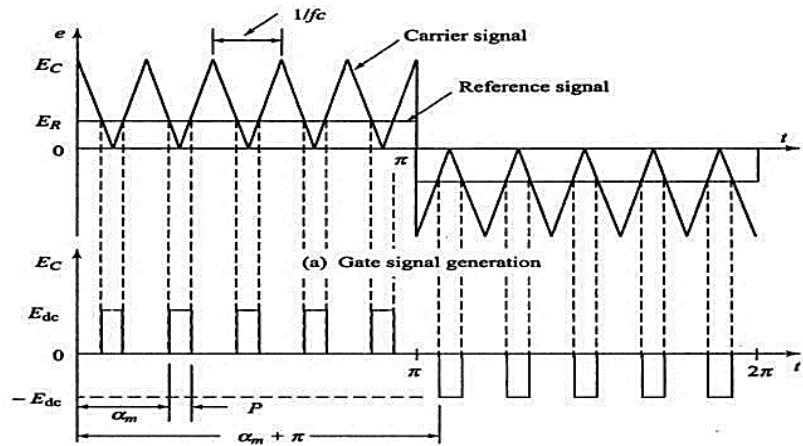
Gambar 2. 4 *Single Pulse Modulation* [20]

Dengan memvariasikan amplitudo dari sinyal kontrol, V_r dari 0 sampai V_c , T_{ON} lebar gelombang pulsa dapat dimodifikasi dari 0 menjadi $\frac{T}{2}$ detik dan tegangan V_o dari 0 hingga sebesar V_s [20].

B. Multiple Pulse Width Modulation (MPWM)

Lebar pulsa *multiple pulse width modulation* (MPWM) dan *sinusoidal pulse width modulation* (SPWM) ini dimodulasi untuk mendapatkan control tegangan keluaran inverter dan untuk mengurangi *harmonic destruction*. Dalam metode modulasi ini ada beberapa jumlah *output* yang dihasilkan per setengah siklus dan semua gelombang pulsa memiliki lebar yang sama. Dimana sinyal gerbang (*gating signal*) dihasilkan dengan membandingkan gelombang referensi persegi panjang (*rectangular reference*) dengan gelombang referensi segitiga (*triangular reference*). Frekuensi dari sinyal referensi (*reference signal*) mengatur banyaknya frekuensi sinyal keluaran (f_o) dan frekuensi sinyal pembawa (f_c). Jumlah gelombang pulsa per setengah siklus ditentukan oleh p [20].

Variasi indeks modulasi (MI) berkisar dari 0 hingga 1, memvariasikan gelombang pulsa dari 0 sampai π / p dan output tegangan senilai 0 hingga V_s .



Gambar 2. 5 *Multiple Pulse Width Modulation*

Sinyal gating dapat dihasilkan dengan membandingkan sinyal referensi segi empat dari amplitudo A_r dengan A_C sebagai gelombang pembawa segitiga, seperti yang ditunjukkan pada persamaan 2.13 dalam setengah siklus positif dimana ketika amplitudo sinyal referensi lebih besar dari amplitudo sinyal pembawanya maka tegangan keluaran mencapai nilai pengenalnya (periode KT). Dalam setengah siklus kerja negatif, ketika amplitudo sinyal pembawa lebih besar dari amplitudo sinyal referensi, tegangan keluaran akan mencapai nilai pengenalnya (periode KT). Frekuensi sinyal referensi akan menentukan frekuensi fundamental dari tegangan keluaran. Dengan memvariasikan A_r dari 0 sampai senilai A_C , lebar pulsa dan jumlah KT (di mana $k = T_{ON}/T$), dapat bervariasi dari 0 hingga T . Rasio nilai antar A_r adalah variabel kontrol dan didefinisikan sebagai amplitudo.

C. *Sinusoidal Pulse Width Modulation*

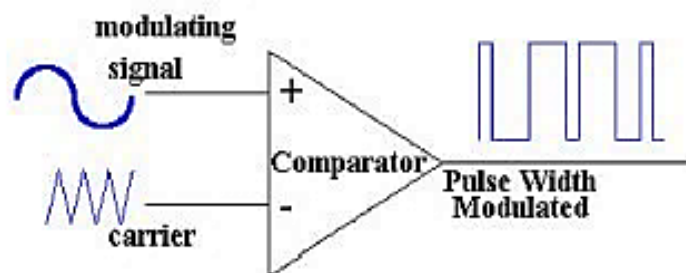
Pada dasarnya, PWM sinusoidal inverter mencoba untuk mensintesis sinus keluaran gelombang menggunakan serangkaian pulsa termodulasi lebar. Sintesis ini tidak dapat sempurna dengan menggunakan sejumlah pulsa yang terbatas, dan oleh karena itu, tak terelakkan, tingkat distorsi harmonik tertentu diperkenalkan oleh proses modulasi. Untuk menghasilkan gelombang pulsa, menggunakan rangkaian SPWM yang dapat disetting sesuai dengan perubahan gelombang yang digunakan berupa gelombang.

Sinusoidal pulse-width modulation (SPWM) memiliki karakteristik dimana *duty cycle* dari pulsa meningkat secara gradual dan kemudian menurun secara

gradual dalam deretan pulsa proporsional terhadap nilai sudut sinus dalam setengah gelombang gelombang sinus. SPWM memiliki prinsip kerja dengan mengatur lebar pulsa yang mengikuti pola gelombang sinusoidal. Komparator digunakan untuk membandingkan gelombang sinusoidal dan gelombang segitiga.

Jika nilai tegangan sinusoidal lebih besar dari tegangan segitiga maka Output komparator akan bernilai 1 (high). Namun jika tegangan sinusoidal lebih kecil dari tegangan segitiga maka Output komparator akan bernilai 0 (low). Berikut gambar skema pembentukan sinyal SPWM [26].

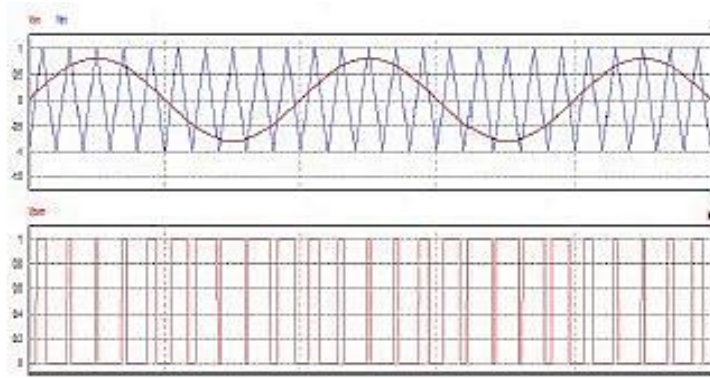
Dalam membangkitkan sinyal SPWM dibutuhkan sinyal pembawa dan sinyal pemodulasi. Sinyal pembawa berupa sinyal gelombang segitiga sedangkan sinyal pemodulasi berupa gelombang sinusoidal.



Gambar 2. 6 Skema Pembentukan Sinyal SPWM [21]

Memodulasi sinyal *carrier* yaitu digunakan sinyal sinus dengan amplitudo dan frekuensi maksimum. Sebagai gelombang *carrier*, gelombang pemodulasi (sinyal sinus) tidak boleh lebih besar daripada frekuensi sinyal segitiga. Perbandingan antara amplitudo gelombang sinusoidal dengan gelombang segitiga disebut indeks modulasi amplitudo. Dapat dilihat pada gambar dibawah bentuk gelombang SPWM.

Pada sinyal SPWM, frekuensi keluaran *Output* Inverter tergantung frekuensi sinyal referensi. Misalkan frekuensi sinyal referensi 50 Hz, maka frekuensi *Output* tegangan Inverter akan bernilai 50 Hz. Frekuensi sinyal *carrier* akan disebut sebagai frekuensi *switching*. Faktor distorsi dan faktor harmonisa orde rendah dapat kita kurangi dengan menggunakan metoda SPWM.



Gambar 2. 7 Bentuk Gelombang SPWM [21]

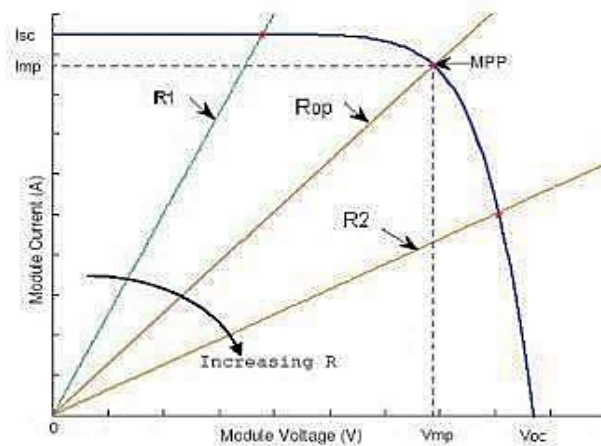
2.2.3 *Maximum Power Point Tracking (MPPT)*

Maximum Power Point Tracking (MPPT) merupakan sistem elektronik yang dapat dimanfaatkan untuk mengontrol sistem panel surya agar dapat beroperasi pada daya maksimum. MPPT adalah kontrol elektronik yang terkonsentrasi pada titik poin karakteristik tegangan dan arus pada panel surya, bukan sistem pelacakan mekanis.

Banyak sekali faktor yang mempengaruhi kinerja panel surya ketika beroperasi diantaranya suhu yang mempengaruhi besar tegangan, intensitas cahaya matahari yang mempengaruhi titik kerja arus yang dihasilkan, dsb. Sistem MPPT memungkinkan kondisi yang bervariasi itu dapat dilacak daya maksimumnya pada waktu dan saat tertentu.

Sistem MPPT diimplementasikan ke dalam suatu alat elektronik. Bekerja dengan cara menstabilkan panel surya agar bekerja pada titik maksimumnya, agar daya yang diberikan ke beban adalah daya maksimal. Hasil keluaran alat elektronik tersebut berupa *duty ratio* (D) yang selanjutnya digunakan untuk *switching* MOSFET pada DC-DC converter. Sehingga dengan mengatur nilai D diharap dapat menemukan titik daya maksimum dari panel surya.

Menampilkan pengaruh pembebanan terhadap kurva V-I. Pembebanan akan menentukan pada posisi manakah daya beban berada pada kurva V-I panel surya.



Gambar 2. 8 Gambar 2.8 Pengaruh Pembebanan Terhadap Kurva V-I Panel Surya [22]

Beban akan menggeser titik daya kurva, apakah berada di belakang, di depan, atau bahkan berada tepat di titik daya maksimum. Pada saat beban dipasangkan kepada panel surya, tentunya daya yang dapat disalurkan akan mengalami perubahan. Perubahan tersebut biasanya muncul apabila panel surya dihubungkan secara langsung dengan beban. Dengan kata lain hal ini berlaku seperti sebuah sumber arus searah yang dirangkai seri dengan beban, sehingga perubahan daya akan sangat terlihat.

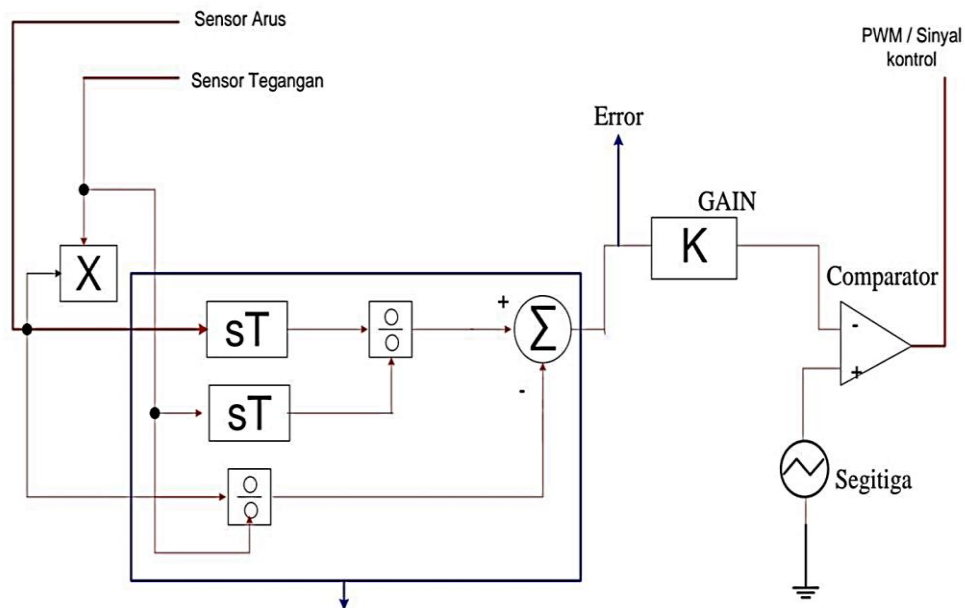
Jika tegangan kerja panel surya diganggu (*perturbed*) saat perubahan daya terhadap perubahan tegangan lebih besar daripada nol, hal tersebut dilakukan agar penggangguan dapat memindahkan tegangan kerja panel surya maju ke arah titik daya maksimum. Apabila tegangan kerja panel surya diganggu saat perubahan daya terhadap perubahan tegangan lebih kecil daripada nol, penggangguan bertujuan untuk memindahkan tegangan kerja panel surya mundur ke arah titik daya maksimum.

2.2.4 Metode IC (*Incremental Conductance*)

Metode IC (*Incremental conductance*) merupakan salah satu metode MPP tracking. Metode ini menggunakan pengukuran *incremental* pada perubahan konduktansi pada generator, baik termoelektrik maupun sel surya. Dengan membandingkan pengukuran *incremental*, dapat diketahui perubahan perubahan daya tegangan maupun arus yang disebabkan perubahan temperatur pada generator termoelektrik.

Incremental conductance didefinisikan sebagai (dI_{tg}/dV_{tg}) . Dengan mendapatkan nilai konduktansi nyata dari modul termoelektrik, maka dapat diketahui MPP (titik maksimum) titik operasi berada. InCo dapat mencari lebih cepat terhadap peningkatan dan penurunan tingkat kecerahan sehingga memiliki akurasi yang lebih baik dari pada P&O, namun kelemahannya yaitu peningkatan yang kompleks ketika dibandingkan dengan P&O.

Metode *Incremental Conductance* (IC) bekerja berdasarkan gradien kurva P-V atau kurva P-I karakteristik sel surya. Titik kerja maksimum sel surya terletak pada nilai tegangan yang berbeda untuk setiap kondisi lingkungan yang berbeda, disebut juga V_{MPP} . MPPT memberikan V_{ref} agar titik kerja sel surya terdapat nilai V_{MPP} tersebut. Dasar algoritma ini adalah kurva kemiringan P-V. Pengontrolan dilakukan dengan menaikkan atau menurunkan tegangan MPPT. Karakteristik P – V sel surya merupakan fungsi daya terhadap tegangan, mencapai titik maksimum ketika gradien-nya bernilai nol.



Gambar 2. 9 Turunan *Incremental Conductance Kendali Conductance Control*

[23].

Berikut ini adalah diagram blok system Incremental Conductance-Transconductance, seperti pada gambar 2.9. Sistem kendi pada gambar 2.9 diturunkan dalam bentuk analog. Karena sistem yang diimplementasi dalam bentuk

digital, maka perlu diubah ke dalam bentuk digital sehingga dapat diolah pada mikrokontroler dsPIC30F4012 [23].

Metode *Incremental Conductance* (IC) bekerja berdasarkan gradien kurva P-V atau kurva P-I karakteristik sel surya. Titik kerja maksimum sel surya terletak pada nilai tegangan yang berbeda untuk setiap kondisi lingkungan yang berbeda, disebut juga V_{MPP} . MPPT memberikan V_{ref} agar titik kerja sel surya terdapat nilai V_{MPP} tersebut. Dasar algoritma ini adalah kurva kemiringan P-V. Pengontrolan dilakukan dengan menaikkan atau menurunkan tegangan MPPT. Karakteristik P – V sel surya merupakan fungsi daya terhadap tegangan, mencapai titik maksimum ketika gradien-nya bernilai nol.

Persamaan dalam metode *incremental conductance* dinyatakan :

$$\frac{dP}{dV} = 0 \dots\dots\dots(2.4)$$

Karena $P = V \cdot I$, maka :

$$\frac{d(V \cdot I)}{dV} = \frac{V \cdot dI + dV \cdot I}{dV} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$V \frac{dI}{dV} + I = 0 \dots\dots\dots(2.6)$$

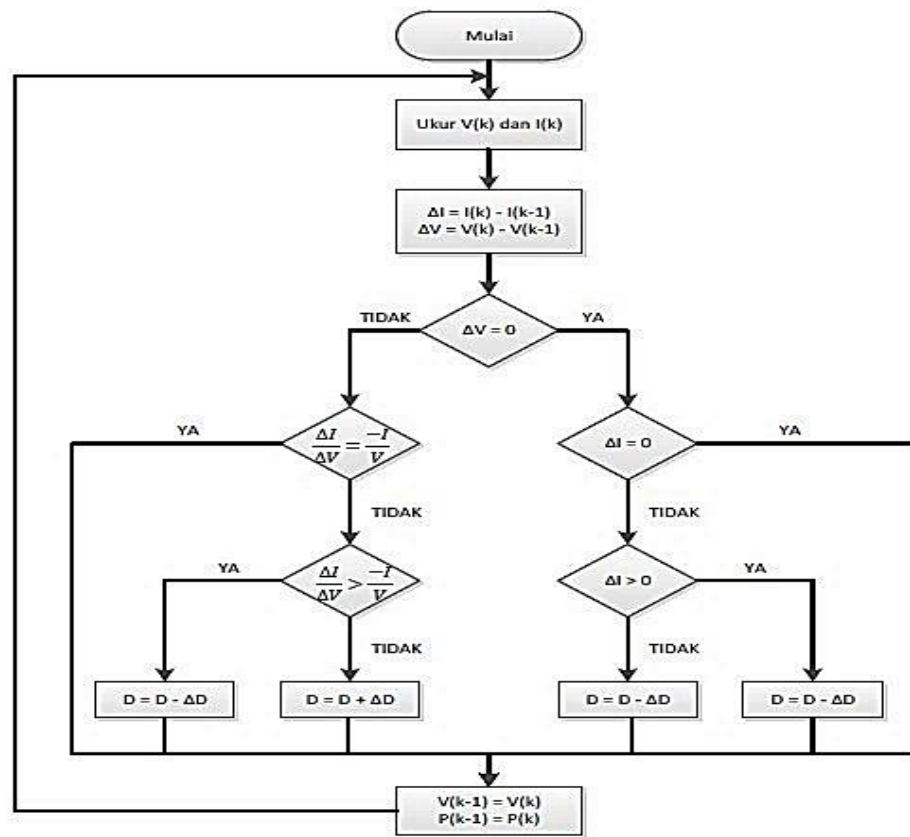
$$\frac{dI}{dV} = - \frac{I}{V} \dots\dots\dots(2.7)$$

Jadi, dapat dituliskan seperti berikut :

$$\Delta I / \Delta V = - I / V , \text{ pada MPP}$$

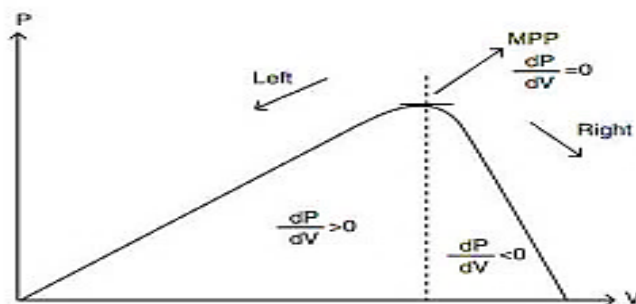
$$\Delta I / \Delta V > - I / V , \text{ sebelah kiri dari MPP}$$

$$\Delta I / \Delta V < - I / V , \text{ sebelah kanan dari MPP}$$



Gambar 2. 10 Diagram Algoritma *Incremental Conductance*

Perubahan V_{ref} yang diberikan IC tetap untuk setiap iterasi. Besar perubahan V_{ref} tersebut dipertimbangkan dari waktu penjajakan menuju nilai maksimum dan osilasi pada nilai maksimum. Kedua parameter tersebut memiliki hubungan terbalik. Perubahan V_{ref} yang besar akan mempercepat waktu penjajakan, namun sulit mencapai VMPP dan menyebabkan osilasi di sekitar MPP. Oleh karena itu, modifikasi dari algoritma IC yang telah berkembang selama ini adalah dengan membuat besar perubahan V_{ref} bervariasi.



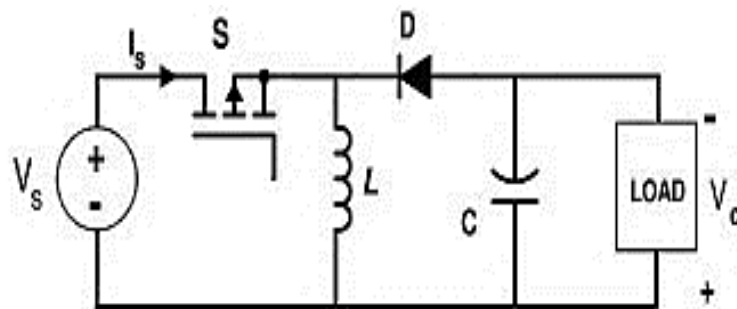
09]

Gambar 2. 11 Diagram Skematik Penjejak Menggunakan Metode *Incremental Conductance* [15]

Nilai pulse width modulation (PWM) merupakan nilai yang diregulasi oleh MPPT untuk selanjutnya digunakan untuk mengatur signal pada DC-DC converter sehingga kondisi $dI/dV + I/V = 0$ dapat terpenuhi [4]

2.2.5 Buck-Boost Converter

Buck-boost converter berfungsi untuk mengubah level tegangan DC, baik ke level yang lebih tinggi maupun level yang rendah. Namun *buck-boost converter* mengubah polaritas dari tegangan input terhadap output. Konverter *buck-boost* sebagai salah satu regulator mode pensaklaran menghasilkan tegangan keluar yang lebih kecil atau lebih besar dibanding tegangan masukannya.



Gambar 2. 12 Rangkaian Elektrik *Buck-Boost Converter* [14]

Sistem PV pada penelitian ini menggunakan rangkaian DC-DC *converter* sebagai charge controller untuk pengaktifan sinyal kendali algoritme MPPT. *Buck-boost converter* sebagai salah satu saklar regulator mode yang menghasilkan tegangan keluaran lebih kecil atau lebih besar dibandingkan dengan tegangan masukannya. Keluaran dari *converter* ini yang akan dikendalikan oleh algoritma MPPT. *Buck-boost converter* ini membutuhkan pulsa PWM untuk menjadikan kondisi saturasi dan cut-off dari komponen MOSFET pada rangkaian *converter* hingga fungsi *switching* bisa aktif. Persamaan tersebut dirumuskan sebagai berikut [24] :

Duty cycle

$$\frac{V_0}{V} = \frac{I}{I_0} = V \frac{1}{1-D} \dots\dots\dots(2.8)$$

$$\frac{1}{K} = \left(1 + \frac{V_s}{V_a}\right) \dots\dots\dots(2.9)$$

Untuk kalkulasi rumus induktansi dalam *buck-boost* dapat dinyatakan :

$$\Delta i_L = \frac{V_s(V_a - V_s)}{fLV_a} \quad \Delta i_L = \frac{V_s K}{fL} \dots\dots\dots(2.10)$$

Maka dapat disederhanakan :

$$L = \frac{V_s(1-D)}{f\Delta I_{pp}I_a} \dots\dots\dots(2.11)$$

Atau dapat juga dikalkulasikan dengan rumus :

$$L = \frac{(1-D)^2 \times R}{2 \times f} \dots\dots\dots(2.12)$$

Kemudian untuk menentukan kapasitansi dalam *buck-boost* dinyatakan dengan rumus :

$$\frac{\Delta V_0}{\Delta_0} = \frac{D}{R \times C \times f} \text{ atau } C = \frac{\Delta I_{pp} \times I_a}{8\Delta V_{pp} \times f \times V_s} \dots\dots\dots(2.13)$$

$$\Delta V_0 = \frac{I_a(V_a - V_s)}{V_a \times F \times C} \text{ atau } C = \frac{D \times I_a}{\Delta V_0 \times f} \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana

$$R = \frac{V_a}{I_a} \dots\dots\dots(2.15)$$

Berikut ini adalah keterangan variabel yang terdapat pada persamaan (2.8) sampai (2.15).

V_0 = Tegangan baterai (Volt)

ΔV_0 = *Ripple* Tegangan (%)

Δi_L = *Ripple* arus (%)

f = Frekuensi (Hz)

R = Hambatan pengganti beban (Ω)

V_s = Input tegangan (Volt)

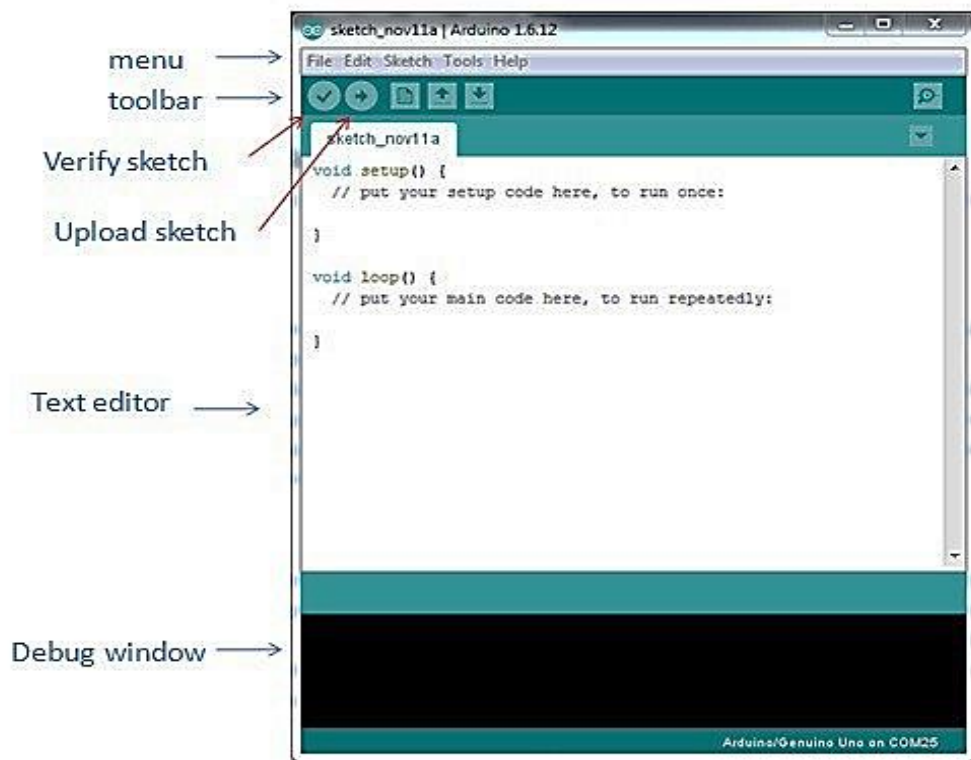
V_a	= Output tegangan (Volt)
K	= Duty Cycle
D	= Duty Cycle
L	= Induktor (H)
C	= Kapasitor (F)

Tegangan keluaran konverter merupakan tegangan yang akan disimpan kedalam baterai sistem PV. Target dari sistem pengendalian yang terhubung dengan dengan *buck-boost converter* adalah untuk selalu memaksimalkan tegangan dan arus keluaran PV agar selalu menghasilkan daya pada titik maksimal sehingga daya yang akan disimpan ke baterai semakin besar.

2.2.6 *Microcontroller*

Microcontroller berbasis *Arduino Uno* (data sheet). Memiliki 14 pin *input* dimana 6 pin *input* tersebut dapat digunakan sebagai *output* PWM dan 6 pin *input* analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi *USB*, *jack power*, *ICSP header*, dan tombol *reset*. Untuk mendukung *Microcontroller* agar dapat digunakan, cukup menghubungkan *Board Arduino* ke komputer dengan menggunakan kabel *USB* atau listrik dengan *AC* ke *adaptor* DC atau baterai untuk menjalankannya. Pin Analog *Arduino Uno* mempunyai 6 pin *input* analog yang berlabel A0 sampai A5 dimana masing-masing pin tersebut memberikan 10 bit resolusi. Berikut ini fungsi khusus dari beberapa pin analog. Pin A4 (*SDA*) dan pin A5 (*SCL*) berfungsi mendukung komunikasi *TWI* menggunakan *library* khusus. Pin Lainnya Pin (*AREF*), berfungsi mengatur tegangan referensi untuk *input* analog. Pin (*RESET*), berfungsi untuk menjalankan atau memuat ulang program yang telah di-*upload* ke papan *sirkuit*.

Dalam mengoperasikan *arduino* harus menggunakan software untuk memasukkan program, program yang digunakan pada *arduino* adalah bahasa C. Berikut fungsi dan penampakan software *Arduino IDE*:



Gambar 2. 13 Software Arduino IDE

2.2.7 Sensor INA219

Sensor ina219 merupakan suatu sensor yang pembacaannya lebih akurat dan lebih stabil. Sensor INA219 merupakan sensor yang digunakan untuk mengukur arus dan tegangan dari panel surya. Rangkaian sensor INA219 ini juga berfungsi untuk membaca nilai arus dan tegangan yang mengalir dari panel surya melalui *Solar Charge Controller*. Terminal Vin+ sensor INA219 dihubungkan dengan terminal positif langsung dari panel surya, sedangkan terminal Vin- sensor INA219 dihubungkan dengan terminal positif panel surya pada *Solar Charge Controller*. pembacaan nilai arus dan tegangan tersebut dikirim ke *Microcontroller* melalui pin *SCL* dan *SDA* pada sensor INA219, yang masing – masing dihubungkan ke pin 5 (*SCL*) dan pin 4 (*SDA*). Sedangkan, pin *VCC* dan *GND* sensor INA219 masing – masing dihubungkan ke pin 5V dan *GND* pada *Microcontroller* [25]

Tabel 2. 1 Penggunssn kaki/pin sensor INA219

No	Pin	Fungsi
1	<i>SCL</i>	<i>InputSerial clock</i> untuk konuikasi 2 Kabel

No	Pin	Fungsi
2	SDA	Digital <i>input</i> dan <i>Output</i>
3	VCC	Sumber tegangan eksternal 5V
4	GND	<i>Ground</i>

Pada suatu sensor saat akan digunakan maka perlu dilakukan Pengujian tujuannya untuk mencari nilai *Error* dan *Akurasi* pada pembacaan sensor untuk pengujian dilakukan perbandingan dengan alat yang sudah terstandarisasi, ada pun persamaan yang digunakan yaitu sebagai berikut:

Persamaa untuk mencari nilai *Error* pembacaan

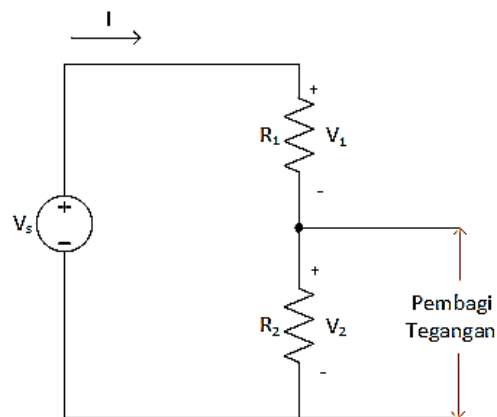
$$\text{Error \%} = \frac{\text{Input} - \text{Output}}{\text{Input}} \times 100 \dots\dots\dots (2.16)$$

Persamaa untuk mencari nilai akurasi pembacaan

$$\text{Akurasi \%} = 100 - \frac{\text{Input} - \text{Output}}{\text{Input}} \times 100 \dots\dots\dots (2.17)$$

2.2.8 Sensor Tegangan (*Voltage Divider*)

Sensor tegangan (*voltage divinder*) atau biasa disebut pembagi tegangan merupakan rangkaian sederhana yang dapat mengubah tegangan yang tinggi menjadi tegangan yang lebih rendah. Dengan hanya menggunakan dua resistor yang dipasang secara seri dan dengan sebuah input tegangan, kita dapat 14 membuat tegangan output yang mana tegangan output ini merupakan hasil perhitungan dari tegangan input.



Gambar 2. 14 Sensor Pembagi Tegangan

2.2.9 Sensor Arus ACS712

Sensor arus ACS712 adalah sensor arus yang bekerja berdasarkan efek medan. Sensor arus ini dapat digunakan untuk mengukur arus AC atau DC. Modul sensor ini telah dilengkapi dengan rangkaian penguat operasional, sehingga sensitivitas pengukuran arusnya meningkat dan dapat mengukur perubahan arus yang kecil. Sensor ini digunakan pada aplikasi-aplikasi bidang industri, komersial, maupun komunikasi. Contoh aplikasinya antara lain untuk sensor kontrol motor. Deteksi dan manajemen penggunaan daya, sensor untuk daya tersaklar, sensor proteksi terhadap arus lebih, dan lain sebagainya.

Tabel 2. 2 Konfigurasi Pin Sensor Arus ACS712

Pin Sensor ACS712	Fungsi
IP +	Terminal yang mendeteksi arus, terdapat sekring di dalamnya
IP-	Terminal yang mendeteksi arus, terdapat sekring di dalamnya
GND	Terminal sinyal <i>ground</i>
FILTER	Terminal untuk kapasitor eksternal yang berfungsi sebagai <i>bandwith</i>
VIout	Terminal keluaran sinyal analog
Vcc	Terminal masukan catu daya

Hambatan dalam penghantar sensor sebesar 1.2 m Ω dengan daya yang rendah. Jalur terminal konduktif secara kelistrikan diisolasi dari sensor timah mengarah (pin 5 sampai pin 8). Hal ini menjadikan sensor arus ACS712 dapat digunakan pada aplikasi-aplikasi yang membutuhkan isolasi listrik tanpa menggunakan opto-isolator atau teknik isolasi lainnya yang mahal.

2.2.10 LCD (*Liquid Crystal Display*)

LCD (*Liquid Cristal Display*) berfungsi untuk menampilkan karakter angka, huruf atau simbol dengan baik dan konsumsi arus yang lebih rendah. LCD (*Liquid Cristal Display*) dot matrik terdiri dari bagian penampil karakter (LCD) yang

berfungsi untuk menampilkan karakter dan bagian sistem prosesor LCD dalam bentuk rangkaian modul dengan *mikrokontroler* yang diletakan dibagian belakang LCD tersebut yang berfungsi untuk mengatur tampilan LCD serta mengatur komunikasi antara LCD dengan *mikrokontroler*. Modul prosesor pada LCD memiliki memori tersendiri sebagai berikut:CGROM (*Character Generator Read Only Memory*,) CGRAM (*Character Generator Random Access Memory*), DDRAM (*Display Data Random Access Memory*).

2.2.11 Baterai



Gambar 2. 15 Baterai

Baterai adalah alat yang memiliki dua bahkan lebih sel elektrokimia yang mana dapat mengubah energi kimia menjadi energi listrik. Setiap baterai memiliki dua buah terminal yang saling berlawanan, dimana yang satu terminal positif (katoda) dan yang satu terminal negatif (anoda) serta terdapat elektrolit sebagai penghantar. Output dari batrai ini sendiri merupakan arus searah atau arus DC (*Direct Current*).

Baterai memiliki peranan terpenting dalam sistem pembangkitan energi tenaga surya ini karena tanpa adanya baterai yang berfungsi sebagai penyimpan energi listrik ini maka konsumsi energi akan terputus ketika pada malam hari tiba. Ini di sebabkan oleh panel surya yang tidak dapat menghasilkan energi listrik karena tidak mendapatkan cahaya untuk merubahnya menjadi energi listrik.

Kapasistas baterai ini ditentukan dengan satuan Ampere-jam. (dengan satuan Ah). Tegangan standart sebuah aki ialah berkisaran di antara 6V, 9V, 12V, 24V dan 48V. Untuk mengetahui berapa banyak energi yang dapt disimpan di dalam sebuah aki maka perlu merubah Amper-jam (Ah) menjadi daya-jam (Wh) sehingga

dengan sangat mudah mengetahui total kapasitas baterai yang ada. Berikut contohnya :

$$P = I \times V \dots\dots\dots(2.18)$$

Keterangan :

P= Daya (Watt/hour)

V= Tegangan (volt)

I= Arus (Ampere)

2.2.12 Definisi dan Tipologi Budidaya Jamur



Gambar 2. 16 Budidaya Jamur Tiram

Jamur tiram atau *Pleurotus ostreatus* dalam bahasa latin adalah jamur dari kelompok *Basidiomycota* dengan tubuh buah berwarna putih dan cekung seperti cangkang tiram. Tutup jamur tiram dengan ukuran mulai dari 5 - 20 cm akan berubah dari hitam, abu-abu, dan coklat menjadi putih. Menurut sub kelasnya, jamur dipisahkan menjadi dua kelompok: Ascomycetes dan Basidiomycetes. Karena ukurannya yang lebih besar, Basidiomycetes lebih mudah diperhatikan daripada Ascomycetes. [26]

2.6.1 Syarat Tumbuh

Perkembangan jamur tidak dapat dipisahkan dari pengaruh unsur biotik dan abiotik. Komponen biotik adalah bagian dari ekosistem yang terdiri dari semua spesies hidup. Sedangkan komponen abiotik suatu ekosistem terdiri dari komponen fisik dan kimia dari suatu medium, sedangkan komponen biotik terdiri dari organisme hidup. Unsur abiotik yang mempengaruhi perkembangan jamur tiram

antara lain suhu, kelembaban, derajat keasaman (pH), cahaya, dan unsur hara dalam media tanam. Suhu optimal untuk perkembangan jamur tiram adalah 25 – 29 °C dengan kelembapan relatif 70 – 90 % [27].

2.6.2 Teori Kelembapan

Kelembaban adalah ukuran jumlah uap air di udara yang disebabkan oleh adanya uap air. Ada beberapa interpretasi kelembaban. Konsep kelembaban dapat direpresentasikan sebagai Kelembaban Relatif pada umumnya. Kelembaban mutlak harus dipahami sebelum seseorang dapat memahami kelembaban relatif. Jumlah uap air dalam volume udara tertentu, yang dipengaruhi oleh suhu dan tekanan, dikenal sebagai kelembaban absolut. 100% RH menunjukkan bahwa udara sudah jenuh (udara penuh dengan uap air). Perkembangan jamur tiram sangat dipengaruhi oleh kelembaban di dalam kumbung jamur. Oleh karena itu, penting untuk mengatasi kelembapan kumbung jamur dengan benar [28].

BAB 3

METEDOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di Jl. Marelان Pasar 1 Rel Lingkungan 3, Gg. Cipto, Kel. Tanah Enam Ratus, Kec. Medan Marelان, Kota Medan, Sumatera Utara. Penelitian ini berlangsung selama 6 bulan pada bulan Maret sampai Agustus 2023.

3.2. Bahan Yang Digunakan

Adapun bahan yang dibutuhkan untuk melakukan tahap perancangan antara lain sebagai berikut :

1. Solar Cell 50 Wp digunakan sebagai media atau alat yang mengubah panas matahari menjadi energi listrik.
2. SCC PWM (*Solar Charge Controler*) digunakan sebagai pengatur tegangan masuk yang disalurkan dari solar cell ke baterai.
3. *Buck-boost Converter* digunakan untuk menaikkan dan menurunkan tegangan input yang awalnya kecil menjadi lebih besar.
4. Sensor Ina219 digunakan untuk mendeteksi arus dan tegangan keluar dari panel surya. Dan keluaran dari sensor akan dimasukkan ke *Microcontroller* di bagian program MPPT berbasis *Increment Conductance*.
5. *Microcontroller* digunakan sebagai *controller* dari program yang diberikan.
6. Baterai/Aki 12 Volt digunakan sebagai media penyimpan daya tegangan listrik yang dihasilkan oleh solar cell.
7. *Breadboard* digunakan sebagai pengetesan untuk rangkaian yang akan digunakan.
8. Pompa Air Dc digunakan sebagai beban.
9. Pipa Air digunakan sebagai media penyalur aliran air dari sumber air ke tanaman cabai.
10. Kabel digunakan sebagai media penghubung tegangan dan arus dari satu perangkat ke perangkat lain.
11. Besi Kerangka digunakan sebagai media tempat perakitan dan penopang

Solar Cell.

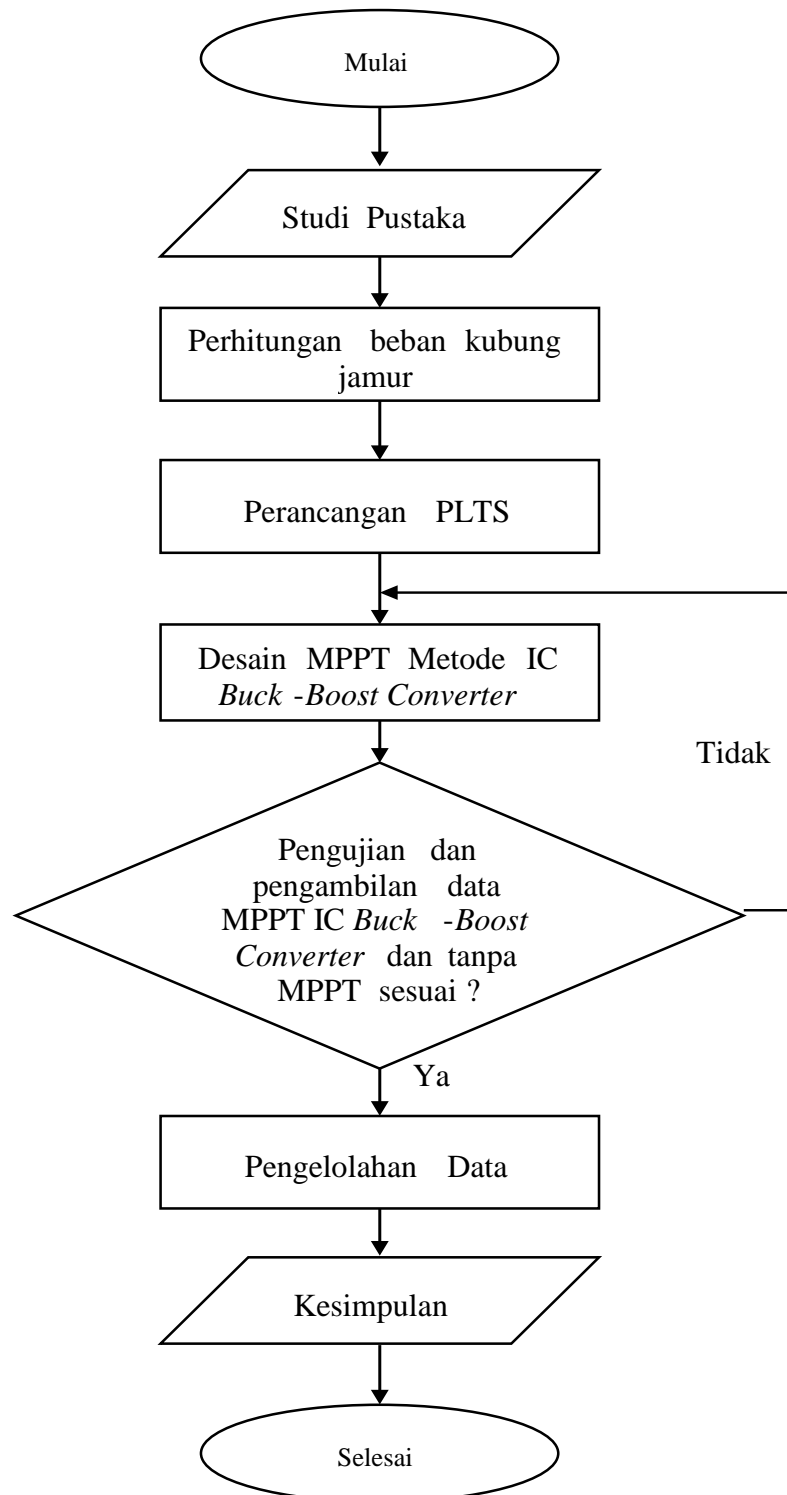
12. Kotak Panel digunakan sebagai tempat pengontrolan dan pelindung agar komponen-komponen tertentu tidak terkena air ataupun panas matahari langsung.

3.3 Alat Yang Digunakan

Adapun beberapa alat yang digunakan untuk mempermudah proses perancangan dan perakitan diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Obeng plus (+) minus (-) berfungsi untuk mengencangkan atau membuka baut yang digunakan.
2. Laptop digunakan untuk mensimulasi dan memprogram *coding* yang digunakan dalam penelitian alat ini.
3. Multimeter digunakan untuk melihat pengukuran pada sisi input dan output pada keluaran panel surya, *Buck-Boost Converter* dan pengukuran alat atau bahan lainnya.
4. Flux Meter digunakan untuk mengukur *intensitas* matahari dan suhu.
5. Tang Potong berfungsi untuk memotong kabel yang akan digunakan dalam rangkaian.
6. Palu berfungsi untuk memukul paku pada kerangka ke tiang.
7. Solder berfungsi untuk merancang desain MPPT dan merekatkan kabel agar lebih erat agar tidak terjadi masalah pada desain dan sambungan kabel.
8. Alat Welding berfungsi untuk membantu penyambungan dan merangkai besi yang akan di gunakan.

3.4 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 1 Diagram Alir

3.5 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Tahapan ini bertujuan mempelajari dan memahami berbagai sumber (jurnal, buku, dll) mengenai Panel surya, MPPT, dan metode increment conductance.

2. Perhitungan beban kubung jamur

Pada tahap ini, ada beberapa parameter data yang diambil. Data yang diambil adalah daya pada pompa DC dan lampu DC.

3. Perancangan PLTS

Perancangan PLTS bertujuan untuk merancang sistem konversi energi matahari menjadi energi listrik untuk kebutuhan energi listrik kubung jamur yang nantinya juga untuk pengujian daya output MPPT dan tanpa MPPT.

4. Desain MPPT Metode IC *Buck-Boost Converter*

Desain MPPT Metode IC menggunakan *Buck-Boost Converter* bertujuan untuk merancang system berdasarkan studi literatur yang dipelajari. Hal ini perlu dilakukan supaya dalam implementasi berjalan dengan baik.

5. Pengujian dan pengambilan data MPPT IC *Buck-Boost Converter* dan tanpa MPPT sesuai?

Pada tahap pengujian dan pengambilan data ini dilakukan untuk mengetahui apakah MPPT berfungsi sebagaimana yang diinginkan dan dilihat dari parameter keluaran pada tegangan, Arus, dan Daya Panel surya berhasil ditingkatkan.

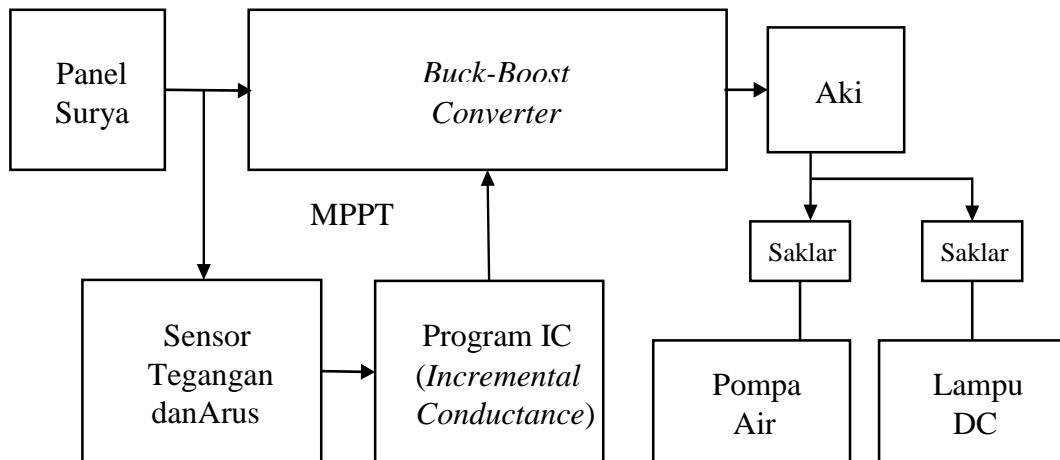
6. Pengolahan Data

Pada bagian pengolahan data ini, ada beberapa parameter data yang diambil. Data yang diambil pada penelitian ini adalah keluaran daya pada MPPT IC *Buck-Boost Converter* dan tanpa MPPT, keluaran arus dan tegangan pada PV.

7. Penulisan laporan akhir

Sesudah mendapat hasil yang diperlukan. Maka penulis akan membuat laporan akhir. Pada bagian penulisan akhir ini akan beracuan pada data-data dan jurnal yang telah dipelajari, agar mendapatkan hasil penelitian yang diinginkan.

3.6 Perancangan Sistem

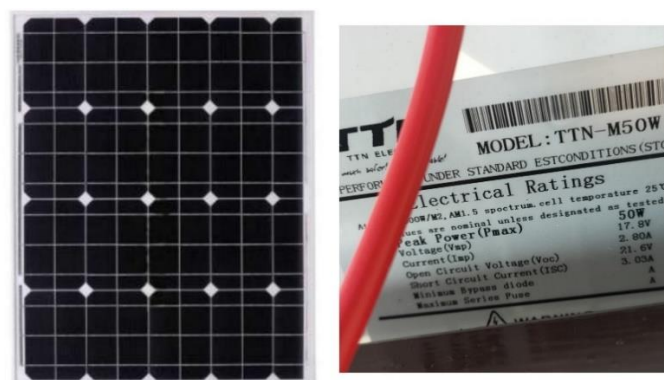


Gambar 3. 2 Diagram Blok Perancangan Sistem

Pada diagram blok ini merupakan system perancangan peralatan sederhana dimana dapat dilihat keluaran pada panel surya akan di *Buck-Boost Converter* untuk *charge* Aki dan energi yang digunakan pada beban yang dimana keluaran *Buck-Boost Converter* akan *control* dengan program IC (*Incremental Conductance*) yang menjadi system MPPT dengan dideteksi oleh sensor arus dan sensor tegangan yang keluaran pada panel surya.

3.6.1 Perencanaan Panel Surya

Pada gambar 2.12 merupakan gambar Panel surya yang digunakan sebagai *inputan* sumber dimana dari sinar matahari diubah menjadi energy listrik dengan daya maksimal yang dihasilkan 50 watt dengan inpuran yang diberikan 17,8 V dan arus yang dihasilkan sebesar 2,80 A dengan intensitas cahaya yang dihasilkan 1000 W/m² dan suhu yang diterima oleh panel 25 °C.



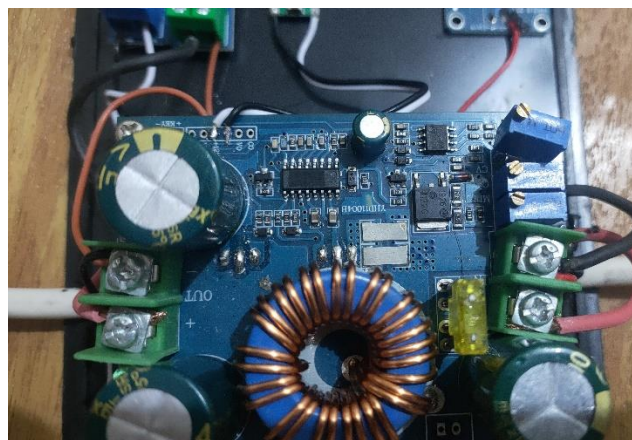
Gambar 3.6. 1 Solar Cell 50 Wp

Tabel 3.6. 1 Spesifikasi Panel Surya

Spesifikasi	Keterangan
Merk	TTN Electric
Model	Monocrystalline
Tipe	TTN-M50W
Daya Maksimal (Pmax)	50W
Tegangan Optimal	17,8V
Arus Optimal	2,80A
Dimensi	700x510x30mm

3.6.2 Perencanaan *Buck-Boost Converter*

Buck-Boost Converter terhubung dengan satu sama yang lain dimana *Buck-Boost Converter* digunakan sebagai meningkatkan dan menurunkan V_{output} dari V_{input} yang diberikan panel surya yang akan menge-charges pada aki 12 V.

Gambar 3.6. 2 *Buck-Boost Converter*

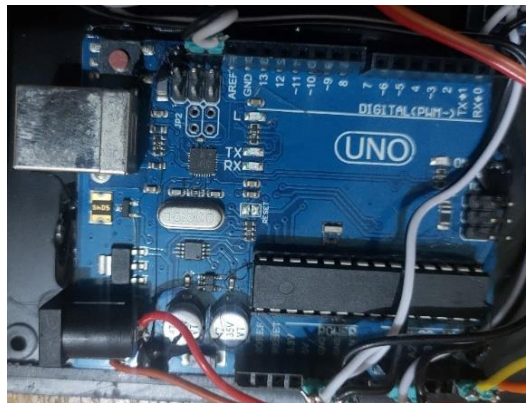
Tabel 3.6. 2 Spesifikasi Panel Surya

Spesifikasi	Keterangan
Daya Maksimal (Pmax)	<600 W
Tegangan Masukan	10 - 60 V
Tegangan Keluaran Maksimal	80V
Arus Keluaran Maksimal	12A

Spesifikasi	Keterangan
Frekuensi Switching	200.000 Hz
Dimensi	76 x 60 x 56 mm

3.6.3 Perencanaan *Microcontroller*

Microcontroller terhubung dengan sensor dan *Buck-boost Converter* dimana *mikrokontroler* digunakan sebagai memproses *inputan* yang dikirim sensor tegangan dan arus sehingga kerualan dari *mokrokontroler* berupa *duty cycle* yang terhubung pada kaki *gate* pada MOSFET pada *Buck-boost Converter*.



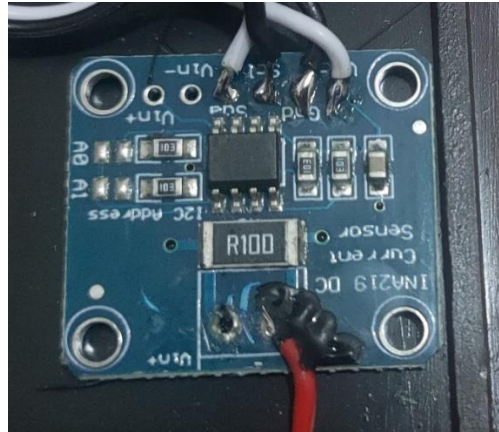
Gambar 3.6. 3 *Microcontroller*

Tabel 3.6. 3 Spesifikasi *Microcontroller*

Spesifikasi	Keterangan
Microcontroller	Atmega328P
Tegangan operasi	5V
Tegangan masukan (rekomendasi)	7 – 12 V
Arus masukan (limit)	6V – 20V
Luas	68,6 – 53,4
PWM Digital I/O Pins	6

3.6.4 Perencanaan Sensor Ina219

Sensor Ina219 terhubung dengan keluaran Panel surya dan terhubung pada *Microcontroller* dimana sensor Ina219 ini digunakan sebagai pembaca arus dan tegangan yang keluar dari Panel surya yang terhubung dengan *microcontroller*.



Gambar 3.6. 4 Sensor INA219

Tabel 3.6. 4 Spesifikasi Sensor INA219

Spesifikasi	Keterangan
Akurasi	Miss 0,5%
Power Supply	3,3V – 5V
Data level	3,3V – 5V
Pengukuran tegangan	0 - +26V
Pengukuran Arus	0 – 3,2A

3.6.5 Perencanaan Sensor Tegangan

Sensor Tegangan terhubung dengan *buck-boost converter* dan terhubung pada *Microcontroller* dimana sensor tegangan ini digunakan sebagai pembaca tegangan yang masuk ke baterai yang terhubung dengan *microcontroller*.

Gambar 3.6. 5 Sensor Tegangan *Divinder*

Tabel 3.6. 5 Spesifikasi Sensor Tegangan *Divinder*

Spesifikasi	Keterangan
Tegangan Input	0 -25 DC
Tegangan Deteksi	0,02445-25 VDC
Akurat	0.00489 V
Dimensi	25 x 13 mm

3.6.6 Perencanaan Sensor Arus

Sensor Arus terhubung dengan buck-boost converter dan terhubung pada *Microcontroller* dimana sensor arus ini digunakan sebagai pembaca arus yang masuk ke baterai yang terhubung dengan *microcontroller*.



Gambar 3.6. 6 Sensor Arus ACS712

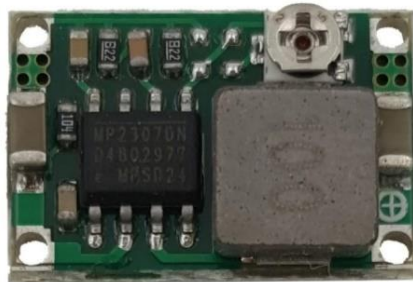
Tabel 3.6. 6 Spesifikasi Sensor Arus ACS712

Spesifikasi	Keterangan
Supply Tegangan	4,5 - 5,5 VDC
Arus level	30A
Frekuensi	80Hz
Error kerja	1,5 % 25°C
Tegangan kerja	5 VDC
Tahanan konduktor internal	1,2 mΩ

Spesifikasi	Keterangan
Dimensi	31 – 13 mm

3.6.7 Perencanaan Modul *Regulator Step Down*

Modul *Regulator Step Down* terhubung dengan buck-boost converter dan terhubung pada *Microcontroller* dimana sensor arus ini digunakan sebagai penurunan level tegangan untuk menyesuaikan tegangan kerja microocntroller.



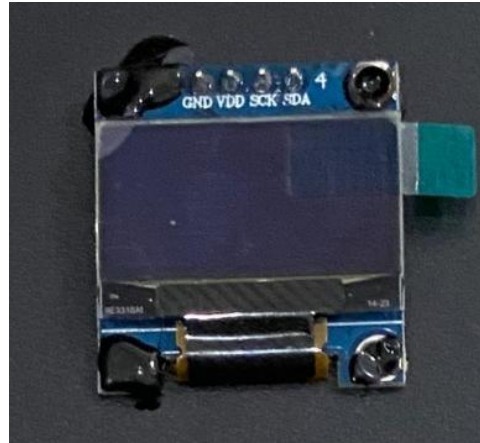
Gambar 3.6. 7 Module MP2307 *Step Down Regulator*

Tabel 3.6. 7 Spesifikasi Module MP2307 *Step Down Regulator*

Spesifikasi	Keterangan
Tegangan Masukan	4,75 – 23 VDC
Arus Masukan	1 – 17V
Output Current	3A (Max) long time 1,8A
Output Ripple	30Mv (no load)
Dimensi	17 x 11 x 3,8mm

3.6.8 Perencanaan LCD (*Liquid Crystal Display*)

LCD (*Liquid Crystal Display*) terhubung pada *Microcontroller* dimana LCD ini digunakan sebagai Menampilkan Tegangan dan Arus dari solar cell dan Arus input ke baterai.



Gambar 3.6. 8 LCD OLED I2C

Tabel 3.6. 8 Spesifikasi LCD OLED I2C

Spesifikasi	Keterangan
Power Supply level	3 -5 VDC
Resolution	128 x 64
Tegangan Pada Collector (VCC)	2,2 – 5,5 V
Tegangan Serial Jam (SCL)	2,2 – 5,5 V
Tegangan Serial Data (SDA)	2,2 – 5,5 V
Temperature	30 – 70°C
Dimensi	29,28 x 27,1 mm

3.6.9 Aki 12 V

Aki 12 V 7,5 Ah terhubung dengan Buck-Boost Converter dimana aki tersebut digunakan sebagai penerima atau sebagai penyimpan energi listrik.



Gambar 3.6. 9 Aki

Tabel 3.6. 9 Spesifikasi Aki

Spesifikasi	Keterangan
Merek	Genco
Nominal Tegangan	12V
Kapasitas Ah	7,5AH
Initial Current	2,25A
Dimensi	152 x 95 x 100 mm

3.6.10 Beban Pada Budidaya Jamur

Pompa Air dc pada sistem ini sebagai beban pada budidaya jamur yang dihubungkan pada saklar dan dihubungkan pada keluaran dari Baterai.



Gambar 3.6. 10 Pompa Air DC

Tabel 3.6. 10 Spesifikasi Pompa Air DC

Spesifikasi	Keterangan
Model	DP-538
Tegangan	12 V
Arus rata-rata	6 A
Daya	72W
Kapasitas Air Maksimal	6 liter/menit

3.6.11 Lampu DC

Lampu DC pada sistem ini dihubungkan pada saklar dan dihubungkan pada keluaran dari Baterai.



Gambar 3.6. 11 Pompa Air DC

Tabel 3.6. 11 Spesifikasi Lampu DC

Spesifikasi	Keterangan
Tipe	SDC 12W FROSTED
Tegangan	12 V
Daya	12 Watt
Fluks Cahaya	400 Lm
Dimensi	95 x 130 mm

3.7 Tahapan Pengujian dan Pengambilan Data

Dalam penelitian ini memiliki beberapa pengujian. Tujuan dari pengujian ini untuk mengetahui tingkat keberhasilan alat yang akan dibuat. Berikut merupakan beberapa pengujian yang dilakukan:

3.7.1 Menghitung beban pemakaian pada budidaya jamur

Pengambilan data beban budidaya jamur dilakukan agar mengetahui jumlah beban yang digunakan pada kubung jamur, sehingga dapat menentukan solar cell yang lebih efektif untuk membebani kubung jamur.

3.7.2 Pengujian dan pengambilan data sensor INA219

Pada pengujian sensor INA219 arus dan Tegangan dilakukan dengan

mencari koefisien kolerasi antara *input* dan nilai *output* tersebut. Dan dimana suatu sensor dapat dikatakan bekerja dengan baik apabila memiliki sifat yang linieritas dimana nilai *output* sesuai dengan nilai *input* yang diberikan, setelah itu dilakukan pencarian nilai *error* dan akurasi pada suatu pembacaan.

3.7.3 Pengujian dan pengambilan data MPPT IC *Buck-Boost converter*

Tahap ini merupakan tahap dimana semua komponen disatukan kemudian dicoba menggunakan *control IC*. Pengujian ini dilakukan untuk melihat keluaran *Buck-Boost Converter* dapat bekerja dengan baik untuk menaikkan tegangan dan dengan metode *increment conductance* dapat mentracking pada daya keluaran.

3.7.4 Pengujian dan pengambilan data tanpa MPPT (PWM)

Pengujian ini dilakukan untuk melihat keluaran dari tanpa MPPT (PWM) yang nantinya akan dibandingkan dengan system MPPT.

3.7.5 Perbandingan hasil dari MPPT IC *Buck-Boost Converter* dengan tanpa MPPT (PWM)

Pada pengujian ini dilakukan untuk mengetahui dimana saat menggunakan MPPT itu mendapatkan hasil yang lebih baik dibanding tanpa menggunakan MPPT hal ini bisa dilihat dari hasil keluaran pada masing-masing percobaan dilihat dari sisi daya *output* yang dihasilkan.

3.7.6 Kemampuan PLTS mensuplai Beban

Kemampuan PLTS mensuplai beban adalah melihat apakah PLTS mampu untuk mensuplai beban yang ada dan berapa lama ketahanan PLTS untuk mensuplai beban yang ada.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

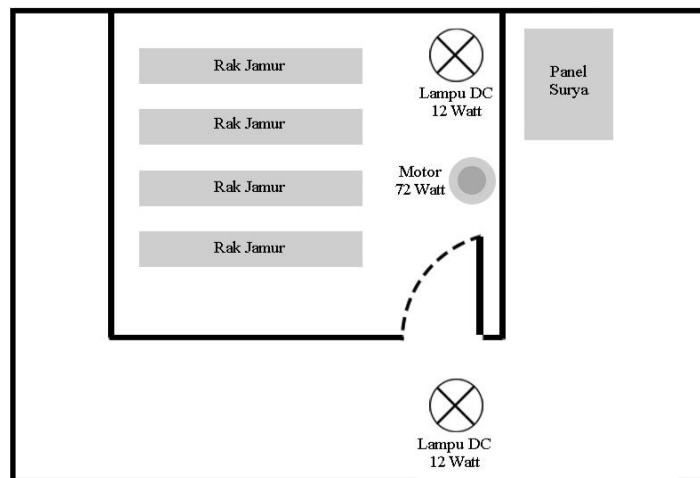
Hasil pada bab ini didapatkan dari metode penelitian yang telah dilakukan terhadap rancangan alat untuk mengetahui apakah tujuan dari perancangan alat dari system dapat berjalan sesuai yang direncanakan dan berjalan dengan baik.

4.1 Beban Pemakaian Pada Budi Daya Jamur

Adapun denah kubung jamur beserta beban terpasang yang akan dihitung adalah sebagai berikut :



Gambar 4. 1 Kubung budidaya jamur



Gambar 4. 2 Denah Budidaya Jamur

Adapun klasifikasi beban yang digunakan pada budidaya jamur ini adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 1 Beban Pada Budidaya Jamur

Jenis Beban	Daya (Watt)	Waktu Penggunaan (Jam)	Total Beban Terpakai (Wh)
Lampu DC	12	1	12
Lampu DC	12	1	12
Pompa Air DC	72	0,5	36
Total			70

Maka dari tabel 4.2 dapat dilihat, dari 2 jenis beban yaitu lampu DC dan motor pompa. Total beban terpakai adalah sebesar 70 Wh. Sementara beban terpasang adalah Lampu DC berkapasitas 12 watt sebanyak 2 unit dan motor 72 watt adalah sebesar 96 Watt.

4.2 Pengujian sensor INA219

Dalam pembuatan alat pada penelitian ini hal yang harus diperhatikan terlebih dahulu yaitu menguji sensor-sensor yang akan digunakan terlebih dahulu. Dimana sensor yang dapat bekerja dengan baik yaitu sensor yang memiliki sifat linieritas yang baik, maksudnya nilai *output* dari sensor naik maupun turun sesuai dengan nilai *inputan*.

4.2.1 Pengujian sensor INA219 sisi Arus

Pengujian sensor dilakukan untuk mengetahui bahwa sensor yang digunakan telah dapat membaca pengukuran sesuai dengan pembacaan alat ukur yang sudah distandarisasi. Dalam hal ini dilakukan perbandingan standar alat ukur (multimeter) terhadap sensor yang dipakai, lalu dilakukan perhitungan berdasarkan standar yang berlaku untuk melihat berapa besar *error* atau selisih pembacaan. Pada tahapan Pengujian sensor dengan memberikan Arus yang bervariasi dari solar cell ke sensor. 0.89A, 1,58A, 1,80A.

pada pengujian sensor INA219 pada sisi arus dapat membaca sesuai dengan arus *input* yang diberikannya dan dimana dapat ditentukan nilai error dengan

persamaan yang digunakan (2.16):

$$Error \% = \frac{I \text{ input} - I \text{ output}}{I \text{ input}} \times 100$$

dan tingkat keakurasian pembacaan dengan menggunakan persamaan (2.17).

$$Akurasi \% = 100 - \frac{I \text{ input} - I \text{ output}}{I \text{ input}} \times 100$$

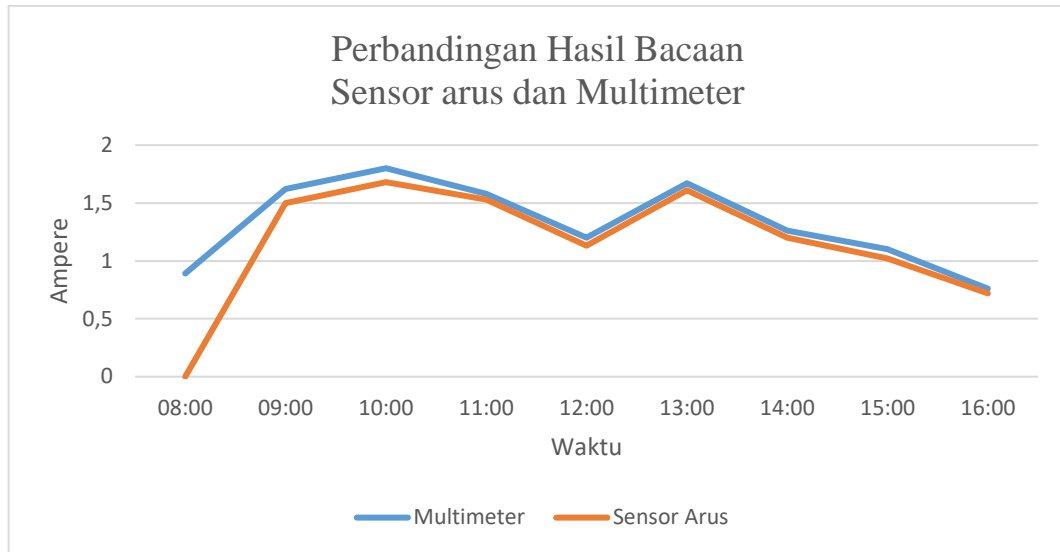
hasil yang didapatkan sebagai berikut.

Tabel 4.2. 1 Data Hasil Pengujian Sensor INA219 Sisi Arus

Jam	Arus <i>Input</i> (A)	Multitmeter (A)	Sensor Arus (A)	<i>Error</i> (%)	Akurasi (%)
08:00	0,89	0,89	0.86	3,37	96
09:00	1,62	1,62	1,56	3,70	95
10:00	1,80	1,80	1,72	4,44	95
11:00	1,58	1,58	1,51	4,43	95
12:00	1,20	1,20	1,13	5,83	94
13:00	1,67	1,67	1,58	5,38	94
14:00	1,26	1,26	1,20	4,76	95
15:00	1,10	1,10	1,05	4,54	95
16:00	0,76	0,76	0,73	3,94	96
Rata – Rata				4,48	95

Dari data table diatas dapat dilihat dimana ada tiga data yang ditampilkan data tersebut ialah sebagai berikut: Arus (A) merupakan arus yang terbaca pada *arus input*, multimeter (A) merupakan arus yang terbaca pada alat ukur, dan sensor (A) merupakan pembacaan dari sensor itu sendiri yang akan tampil pada *LCD Display*. Pada saat dilakukan Pengujian sensor pada sisi arus ini didapati nilai *error* yaitu sebesar 3,37% - 5,8% pada sensor pada saat kondisi tertentu dan nilai *error* akan mencapai 5,8% jika temperature meningkat (panas).

Dari tabel 4.2.1 dapat dilihat perbandingan hasil bacaan antara sensor arus dan multimeter adalah melalui grafik sebagai berikut :



Gambar 4.2. 1 Grafik Perbandingan Hasil Bacaan Arus

Dari gambar 4.2.1 dapat dilihat grafik perbandingan antara sensor arus dan multimeter tidak jauh berbeda, hal ini diperlihatkan grafik dari keduanya saling mendekati dan hampir bersentuhan, serta pola grafik dari kedua alat ukur relatif sama. Maka sensor arus dapat dikatakan efektif dan layak untuk digunakan karna tingkat akurasi alat yang hampir sama dengan hasil bacaan multimeter.

4.2.2 Pengujian sensor INA219 sisi Arus

Pada pengujian ini dilakukan dengan mengukur *input* tegangan pada *solar cell* yang terhubung ke SCC yang nantinya akan dibandingkan dengan hasil pengukuran dari sensor, dan terhadap alat ukur. pada pengujian sensor INA219 pada sisi arus dapat membaca sesuai dengan arus *input* yang diberikannya dan dimana dapat ditentukan nilai error dengan persamaan yang digunakan (2.16):

$$Error \% = \frac{V \text{ input} - V \text{ output}}{V \text{ input}} \times 100$$

dan tingkat keakurasian pembacaan dengan menggunakan persamaan (2.17).

$$Akurasi \% = 100 - \frac{V \text{ input} - V \text{ output}}{V \text{ input}} \times 100$$

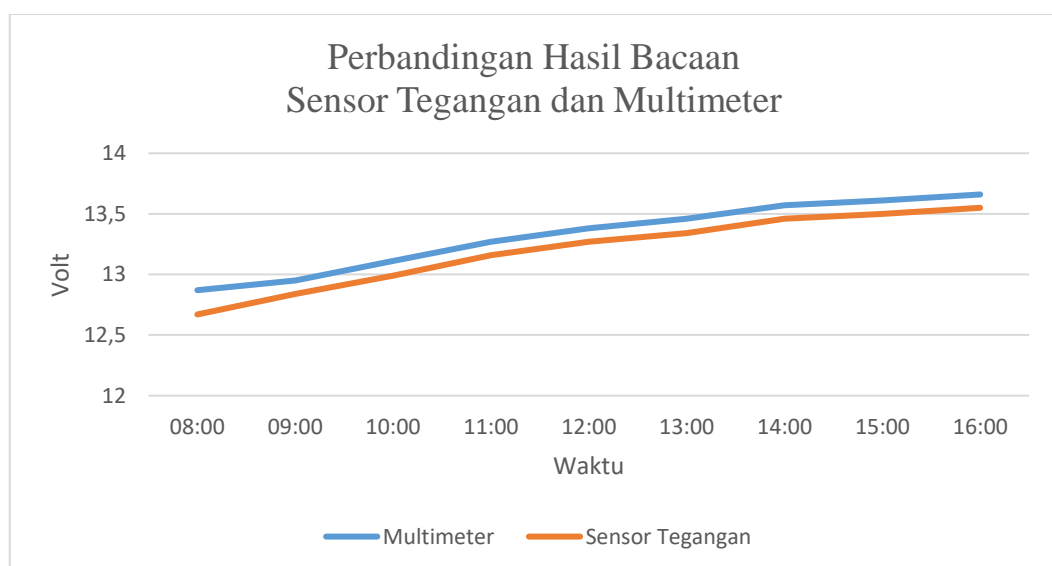
Hasil yang didapatkan sebagai berikut:

Tabel 4.2. 2 Data Hasil Pengujian Sensor INA219 Sisi Tegangan

Jam	Tegangan Input(V)	Multitmeter (V)	Sensor Tegangan (V)	Error (%)	Akurasi (%)
08:00	12,87	12,87	12,76	0,85	99
09:00	12,95	12,95	12,84	0,84	99
10:00	13,11	13,11	12,99	0,91	99
11:00	13,27	13,27	13,16	0,82	99
12:00	13,38	13,38	13,27	0,82	99
13:00	13,46	13,46	13,34	0,89	99
14:00	13,57	13,57	13,46	0,81	99
15:00	13,61	13,61	13,50	0,80	99
16:00	13,66	13,66	13,55	0,80	99
Rata - Rata				0,8	99

Dari data table diatas dapat dilihat dimana pada pengujian sensor INA219 pada sisi tegangan tingkat rata – rata error adalah 0,82% dengan tingkat akurasi ketepatan sensor adalah sebesar 99,18%. Pada saat dilakukan Pengujian sensor pada sisi tegangan ini didapati nilai *error* yaitu sebesar 0,80% – 0,91% pada sensor pada saat kondisi tertentu dan nilai *error* akan mencapai 0,91% jika temperature meningkat (panas).

Dari tabel 4.2.2 dapat dilihat perbandingan hasil bacaan antara sensor tegangan dan multimeter adalah melalui grafik sebagai berikut :



Gambar 4.2. 2 Grafik Perbandingan Hasil Bacaan Tegangan

Dari gambar 4.2.2 dapat dilihat grafik perbandingan antara sensor tegangan dan multimeter tidak jauh berbeda, hal ini diperlihatkan grafik dari keduanya saling mendekati dan hampir bersentuhan, serta pola grafik dari kedua alat ukur relatif sama. Maka sensor tegangan dapat dikatakan efektif dan layak untuk digunakan karena tingkat akurasi alat yang hampir sama dengan hasil bacaan multimeter.

4.3 Hasil Pengujian Menggunakan MPPT Incremental Conductance

Sedangkan keluaran PLTS tanpa menggunakan MPPT (PWM) adalah 15,15 Watt dan pengambilan data dilakukan selama 9 Jam, maka daya yang dapat dihasilkan PLTS tanpa menggunakan MPPT (PWM) adalah sebesar :

$$\begin{aligned} \text{Daya Total} &= \text{Rata - Rata Daya} * \text{Jumlah Pengambilan Data} \\ &= 15,15 * 9 \\ &= 136,35 \text{ Watt.} \end{aligned}$$

Maka dalam satu hari PLTS yang digunakan dapat menghasilkan daya tanpa menggunakan MPPT (PWM) adalah sebesar 136,35 Watt dan kebutuhan beban dalam satu hari adalah hanya 70 Wh.

$$\begin{aligned} \text{PLTS dapat mensuplay beban} &= \text{Daya PLTS total} / \text{kebutuhan beban 1 hari} \\ &= 136,35 / 70 \text{ Wh} \\ &= 1,94 \text{ Hari} \end{aligned}$$

PLTS dapat mensuplai beban selama 1,94 hari dengan daya keluaran PLTS yang dihasilkan satu hari.

BAB 5

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan adapun kesimpulan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pada penelitian MPPT IC *Buck - Boost Converter* sudah dapat bekerja seperti yang diinginkan peneliti hal ini dapat dilihat dari daya *input* yang diberikan menghasilkan daya output dengan contoh: *intensitas* 863,47 W/m² dengan suhu 32,9°C dimana saat menggunakan MPPT IC *Buck-Boost Converter* didapati daya *inputan* sebesar 16,0 Watt dan *output* 15,17 Watt sedangkan pada saat tanpa menggunakan MPPT (PWM) dengan intensitas yang hampir sama 823,65 W/m² dan suhu 33,1°C daya *input* 16,56 Watt dan *output* 14,36 Watt, daya keluaran pada MPPT lebih besar dibandingkan ketika tidak menggunakan MPPT .
2. Daya output yang dihasilkan PLTS tanpa menggunakan MPPT lebih jauh rendah dan mengalami penurunan yang sangat signifikan dengan daya input yang dihasilkan oleh PLTS. Dimana daya input rata – rata sebesar 17,5 Watt sedangkan daya output dengan menggunakan PWM adalah 15,15 Watt dengan efisiensi 85,12 %. Sedangkan dengan menggunakan MPPT daya output lebih besar dengan rata – rata sebesar 16,63 Watt dengan efisiensi 94,6 %. Hal ini menunjukkan penggunaan MPPT jauh lebih baik dibandingkan tanpa MPPT.
3. Pengujian ini berhasil meningkatkan efisiensi Solar cell dimana jika menggunakan MPPT IC *Buck-Boost Converter* maka daya keluaran PLTS dapat mensuplai beban pada budidaya jamur dengan tingkat ketahanan selama 2,14 hari dengan daya keluaran PLTS yang dihasilkan satu hari, sedangkan tanpa menggunakan MPPT maka daya keluaran PLTS dapat mensuplai beban selama 1,94 hari dengan daya keluaran PLTS yang dihasilkan satu hari.

5.2 Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya dapat melakukan perbandingan dengan panel surya yang lebih besar dan perbandingan dilakukan di hari yang sama guna mengetahui lebih besar tingkat efektifitas dan efisiensi daya yang dapat di peroleh sesuai kondisi cuaca dan penyinaran matahari.
2. Membandingkan MPPT dengan jenis charger controller yang lain agar dapat mengetahui charger controller yang paling efektif dan efisien.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. Pahrudin, S. Fadillah, and N. F. Mutmainah, “Analisis Permintaan dan Penyediaan Energi Fosil dari berbagai Subsektor di Indonesia pada Masa Mendatang,” *J. Eng. Environmental Energy Sci.*, vol. 1, no. 1, pp. 29–38, 2022, doi: 10.31599/joes.v1i1.977.
- [2] J. Pulungan, “Prediksi Kebutuhan Energi Listrik Menggunakan Metode Jaringan Syaraf Tiruan,” ... *Metod. Jar. Syaraf Tiruan*, vol. 4, no. 1, pp. 294–302, 2022, doi: 10.47065/bits.v4i1.1649.
- [3] A. Saleh, W. Hadi, and M. C. Anwar, “DESAIN KONTROL MAXIMUM POWER POINT TRAKER (MPPT) MENGGUNAKAN INCREMENTAL CONDUCTANCE (INC) PADA DC / DC TIPE SEPIC,” no. November, pp. 1–2, 2017.
- [4] R. Rimbawati, U. Muhammadiyah, S. Utara, and M. Irwanto, “Analysis of hybrid power plant scheduling system diesel / photovoltaic / microhydro in remote area Analysis of hybrid power plant scheduling system diesel / photovoltaic / microhydro in remote area,” no. November, 2022, doi: 10.1088/1742-6596/2193/1/012024.
- [5] D. Choudhary and A. R. Saxena, “Incremental Conductance MPPT Algorithm for PV System Implemented Using DC-DC Buck and Boost Converter,” vol. 4, no. 8, pp. 123–132, 2014.
- [6] S. Bulle, S, S. Patil, D, and V. Kheradkar, V, “Implementation of Incremental Conductance Method for MPPT Using SEPIC Converter,” 2017.
- [7] B. Azmi *et al.*, “REVIEW PERBANDINGAN TEKNIK MAXIMUM POWER POINT TRACKER (MPPT) UNTUK SISTEM PENGISIAN DAYA MENGGUNAKAN SEL SURYA (REVIEW COMPARISON MAXIMUM POWER POINT TRACKER (MPPT) TECHNIQUE FOR CHARGING SYSTEMS USING SOLAR CELLS),” pp. 111–122, 2019.
- [8] M. Das and R. Mandal, “A comparative performance analysis of direct, with battery, supercapacitor, and battery-supercapacitor enabled photovoltaic water pumping systems using centrifugal pump,” *Sol. Energy*, vol. 171, no.

- February, pp. 302–309, 2018, doi: 10.1016/j.solener.2018.06.069.
- [9] P. Seminar *et al.*, “PORTABLE POWER PLAN SOLAR CELL Irawadi Buyung 1* , Khoirul azizi (2),” no. November, pp. 332–342, 2016.
- [10] E. Sarwono, “Alat Penyempot Pesticida Tenaga Surya,” *Electrician*, vol. 16, no. 1, pp. 66–72, 2022, doi: 10.23960/elc.v16n1.2228.
- [11] J. Desember, S. Yuwono, and N. W. Pratama, “Energi dan Kelistrikan : Jurnal Ilmiah Manfaat Pengadaan Panel Surya dengan Menggunakan Metode On Grid Energi dan Kelistrikan : Jurnal Ilmiah,” vol. 13, no. 2, pp. 161–171, 2021.
- [12] H. Asy’ari, Jatmiko, and Angga, “Intensitas Cahaya Matahari Terhadap Daya Keluaran Panel Sel Surya,” *Simp. Nas. RAPI XI FT UMS*, pp. 52–57, 2012.
- [13] A. H. Sabry and P. J. Ker, “Improvement on energy consumption of a refrigerator within PV system including battery storage,” *Energy Reports*, vol. 7, pp. 430–438, 2021, doi: 10.1016/j.egyr.2021.01.011.
- [14] A. Bahar, M. Munir, and T. Suheta, “Optimasi Output Photovoltaic Dengan Menggunakan Tracking Dinamis Berdasarkan Waktu Penyinaran Matahari,” pp. 409–414, 2015.
- [15] S. R. I. Utami, S. Saodah, and A. Pudim, “Penggunaan Algoritma Incremental Conductance pada MPPT dengan Buck Converter untuk Pengujian Indoor dan Outdoor,” vol. 6, no. 1, pp. 97–109, 2018.
- [16] P. Singh, D. K. Palwalia, A. Gupta, and P. Kumar, “Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques,” pp. 401–404, 2015, doi: 10.17148/IARJSET.
- [17] N. Evalina, “Analisis Karakteristik Pembangkit Listrik Hot Air Stirling Engine Dengan Bahan Bakar Metanol,” *J. Tek. Elektro*, vol. 2, 2020.
- [18] A. Luque and S. Hegedus, *Handbook of Photovoltaic Science*.
- [19] *Pengertian Pulse Width Modulation, 2014. Artikel Globalenergizer. Dari <https://globalenergizer.wordpress.com/>. 6 Juni 2014. 2014.*

- [20] B. Majhi, "Analysis of Single-Phase SPWM Inverter," no. May, 2012.
- [21] D. Nugraha, "Rancang Bangun Inverter Satu Fasa Dengan Dengan Modulasi Lebar Pulsa PWM Menggunakan Antarmuka Komputer," vol. 06, no. 01, pp. 340–351, 2020.
- [22] I. N. Fajri and R. Munadi, "Jurnal Rekayasa Elektrika," vol. 15, no. 36, 2019, doi: 10.17529/jre.v15i2.13682.
- [23] C. Transconductance, C. Berbasis, Y. Wibisono, P. Di, T. Elektro, and F. Teknik, "IRWNS 2014 Maximum Power Point Tracker Dengan Metode Incremental," pp. 157–160, 2014.
- [24] J. T. Penerbangan, "Sistem Baterai Charging pada Solar Energy System dengan Buck Boost Converter untuk Berbagai Tingkat Pencahayaan Di Bandar Udara".
- [25] M. Mungkin, H. Satria, J. Yanti, and G. B. A. Turnip, "PERANCANGAN SISTEM PEMANTAUAN PANEL SURYA POLYCRYSTALLINE MENGGUNAKAN TEKNOLOGI WEB FIREBASE BERBASIS IoT POLYCRYSTALLINE SOLAR PANEL MONITORING SYSTEM DESIGN USING IoT-BASED FIREBASE WEB TECHNOLOGY 1234 Jurusan Teknik Elektro , Fakultas Teknik , Universi," vol. 3, pp. 319–327, 2020.
- [26] A. S. Djarijah, N. M., & Djarijah, *Jamur Tiram Pembibitan Pemeliharaan dan Pengendalian Hama Penyakit*. Yogyakarta: Kanisius, 2001.
- [27] W. A. Saputro, *Prototipe Sistem Kendali Otomatis Suhu dan Monitoring Ruangan Budidaya Jamur Dengan SMS Gateay Berbasis Arduino*. Semarang: Badan Penerbit Universitas Semarang, 2018.
- [28] S. dan F. R. Hadi, *Pengatur Suhu dan Kelembaban pada Miniatur Kumbung Jamur Tiram*. Surabaya: Badan Penerbit Institut Teknologi Sepuluh November, 2015.

LAMPIRAN

Lampiran Sensor INA219

```

#include <SPI.h>           //Library SPI
#include <Wire.h>          //Library Wire
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h> //Library OLED SSD1306
#include <Adafruit_INA219.h>
#include "ACS712.h"

#define SCREEN_WIDTH 128 //Panjang LCD OLED
#define SCREEN_HEIGHT 64 //Tinggi LCD OLED
#define OLED_RESET -1 //Pin reset terhubung dengan arduino
Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire,
OLED_RESET);
//ACS712 sensor(ACS712_30A, A0);
const int INA_addr = 0x40; // INA219 address
Adafruit_INA219 ina219(INA_addr);
int analogPin = A1;

const int analogIn = 0; //Connect current sensor with A0 of Arduino
int mVperAmp = 185; // use 100 for 20A Module and 66 for 30A Module
int RawValue = 0;
int ACSoffset = 2500;
double Voltage = 0; //voltage measuring
double Amps = 0; // Current measuring

float I_baterai;
float tegangan = 00;
int arus = 00; // diukur menggunakan MiliAmpere
float daya = 00;

```

```
float Vmodul = 0.0;
float hasil = 0.0;
float R1 = 30000.0; //30k
float R2 = 7500.0; //7500 ohm resistor,
int value = 0;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  ina219.begin();
  if (!display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C)) { //Alamat OLED
    Serial.println(F("SSD1306 allocation failed"));
    for (;;) // Don't proceed, loop forever
  }
  //sensor.calibrate();

  display.clearDisplay();
  display.setTextSize(4);
  display.setTextColor(WHITE);
  display.setCursor(20, 0);
  display.print("MPPT");
  display.setTextSize(2);
  display.setTextColor(WHITE);
  display.setCursor(20, 40);
  display.print("Control");
  display.display();

  delay(2000);
  display.clearDisplay();
}

void loop() {
```

```
cek_arus_baterai();
cek_arus_input();
cek_tegangan_baterai();
display.clearDisplay();
display.setTextSize(2);
display.setTextColor(WHITE);
display.setCursor(20, 0);
display.print("BATTERY ");
```

```
display.setTextSize(1.5);
display.setTextColor(WHITE);
display.setCursor(5, 20);
display.print("V=");
display.print(hasil);
display.print(" V");
```

```
display.setTextSize(1.5);
display.setTextColor(WHITE);
display.setCursor(70, 20);
display.print("A=");
display.print(arus);
display.print(" mA");
```

```
display.setTextSize(2);
display.setTextColor(WHITE);
display.setCursor(0, 35);
display.print("SOLAR CELL");
```

```
display.setTextSize(1.5);
display.setTextColor(WHITE);
display.setCursor(5, 55);
```

```

display.print("A=");
display.print(I_baterai);
display.print(" mA");

display.display();

}

void cek_arus_baterai() {
  RawValue = analogRead(analogIn); //reading the value from the analog pin
  Voltage = (RawValue / 1024.0) * 5000; // Gets you mV
  Amps = ((Voltage - ACSoffset) / mVperAmp);

  I_baterai = Amps;
  Serial.println(I_baterai);
  delay(1000);
}

void cek_arus_input() {
  tegangan = ina219.getBusVoltage_V(); //command untuk pembacaan tegangan
  arus = ina219.getCurrent_mA() * -1; //command untuk pembacaan arus
  daya = tegangan * (arus / 1000); //rumus untuk mendapatkan nilai watt

}

void cek_tegangan_baterai() {
  value = analogRead(analogPin);
  Vmodul = (value * 5.0) / 1024.0;
  hasil = Vmodul / (R2 / (R1 + R2));
}

```

Lampiran

Program Incremental Conductance

```
#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);

float sensorValue1 = 0;
float sensorValue2 = 0;
float voltageValue = 0;
float currentValue = 0;
float Power_now = 0, Power_anc=0, Current_anc =0,Voltage_anc=0, deltaI=0,
deltaV=0 ;
float delta = 1.4;
float pwm = 128;
void setup()
{
  pinMode(6, OUTPUT);
  lcd.begin(16, 2);
}

void loop()
{
  sensorValue1 = analogRead(A0);
  sensorValue2 = analogRead(A1);
  voltageValue= (sensorValue1 * 5.0 /1023.0) *5;
  currentValue= (sensorValue2 * 5.0 /1023.0);
  lcd.setCursor(0, 0);
  Power_now = voltageValue * currentValue;

  lcd.print("Ppv=");
  lcd.print(Power_now);
  lcd.print("W");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("V=");
  lcd.print(voltageValue);
```



```
lcd.print("V I=");
lcd.print(currentValue);
lcd.print("A");
deltaI= currentValue-Current_anc;
deltaV= voltageValue-Voltage_anc;
if(deltaV==0)
{ if(deltaI==0)
  { // nothing to do
  }
else
  { if(deltaI>0)
    pwm=pwm-delta;
  else
    pwm=pwm+delta;
  }
}
else
{ if((voltageValue*deltaI)+(currentValue*deltaV)==0)
  { // nothing to do
  }

else
  { if((deltaI/deltaV)+(currentValue/voltageValue)>0)

    pwm=pwm-delta;

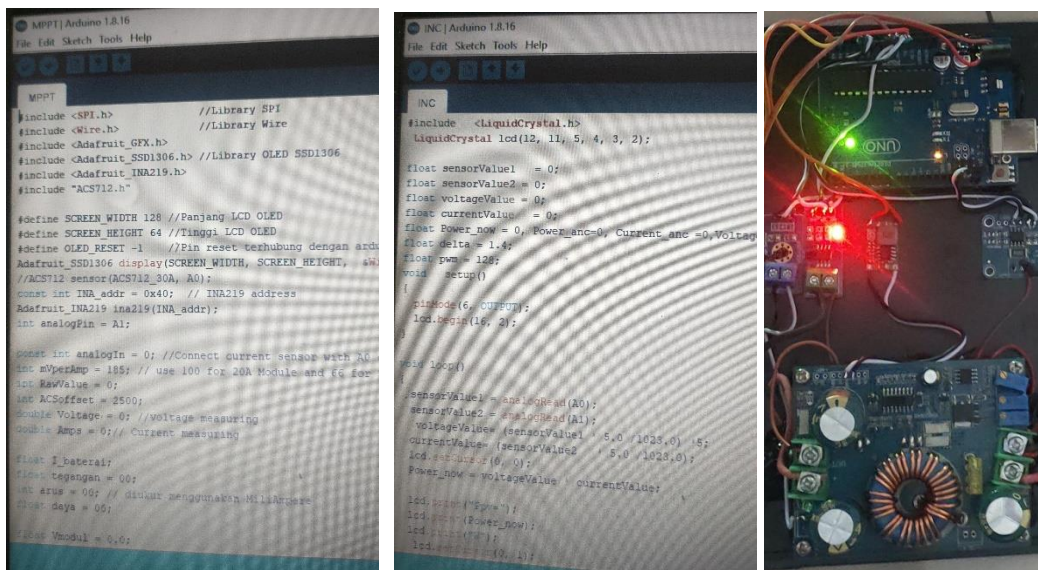
  else

    pwm=pwm+delta;

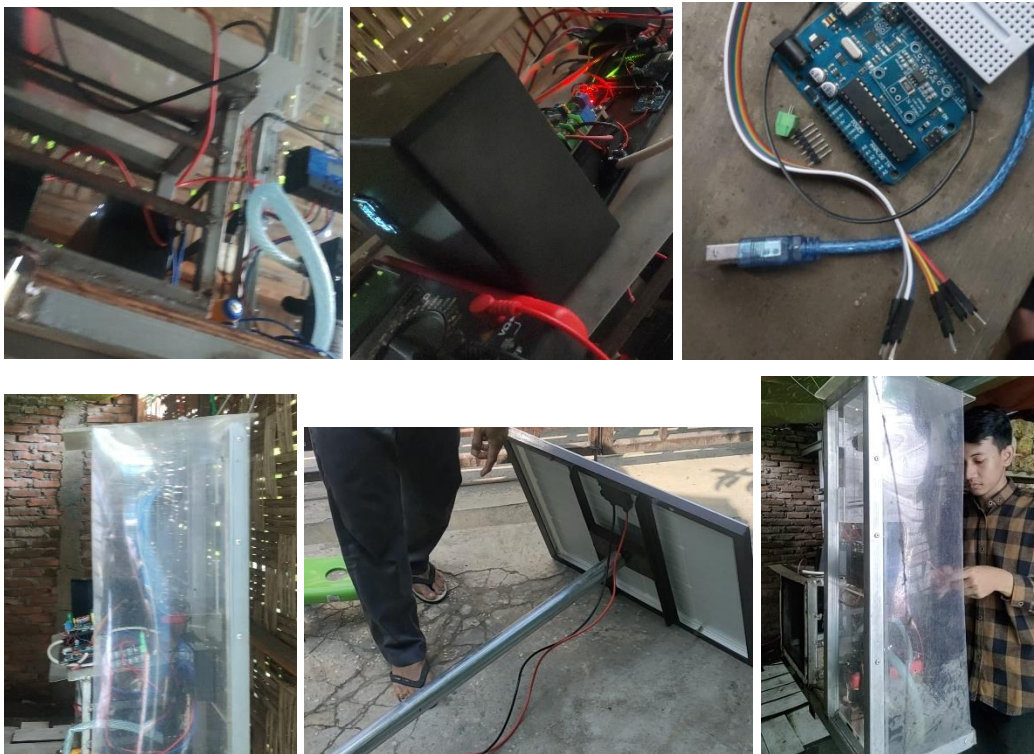
  }
}
```

```
Voltage_anc= voltageValue;  
Current_anc= currentValue;  
Power_anc=Power_now;  
if(pwm > 240)  
    pwm=240;  
if (pwm < 15)  
    pwm=15;  
analogWrite(6, pwm);  
}
```

Lampiran Program



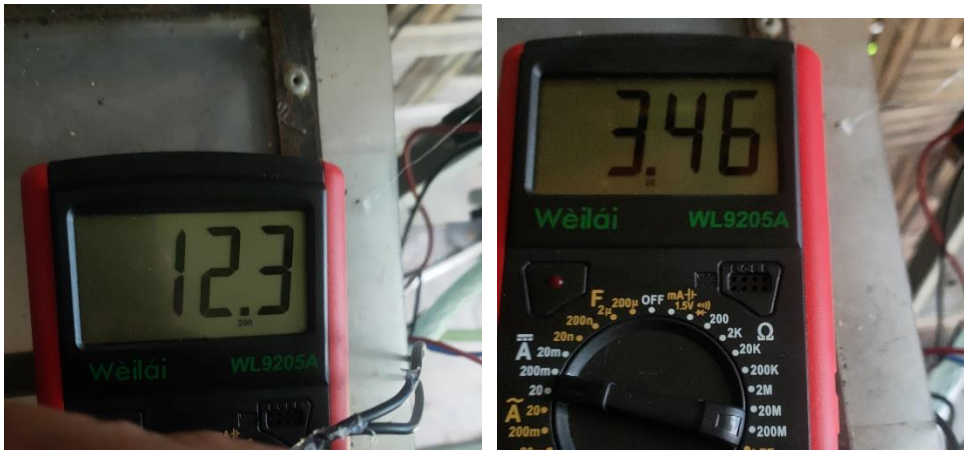
Dokumentasi Lapangan



Dokumentasi tiang penyangga PLTS



Pengukuran Pompa DC



DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA PRIBADI

Nama Lengkap : Syahlan Baldan
 Alamat : Dusun 5, Desa rawa sari, Kec. Aek Kuasan, Kab. Asahan, Sumatera Utara
 Npm : 1907220034
 Tempat/Tanggal Lahir : Rawa Sari / 08 Janurai 2002
 Jenis Kelamin : Laki - Laki
 Agama : Islam
 Status : Belum Menikah
 No Telepon/ Watsapp : 082273968748
 Email : Syahlanlkott@gmail.com
 Tinggi/Berat Badan : 175/70
 Kewarganegaraan : Indonesia

ORANG TUA

Nama Ayah : Sugianto
 Agama : Islam
 Nama Ibu : Syariah
 Agama : Islam
 Alamat : Dusun 5, Desa rawa sari, Aek Kuasan, Asahan, Sumatera Utara

RIWAYAT PENDIDIKAN

2007-2013 : SD Negeri 015929 Rawa Sari
 2013-2016 : MTs Nurul Hidayah Rawa Sari
 2016-2019 : SMA Negeri 1 Aek Kuasan
 2019-2023 : S1 Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU)



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA (UMSU)

FAKULTAS TEKNIK-TEKNIK ELEKTRO

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)

Nama : Syahlan Baldan
NPM : 197220034
Fakultas/Jurusan : Teknik/ Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir : "Penggunaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya
Sebagai Sumber Energi Sistem Kontrol Suhu dan Air
Otomatis Pada Budidaya Jamur"

No	Tanggal	Catatan Asistensi	Paraf Pembimbing
-	-	Ace judul	Sudi
1/2	2023	Perbaiki Rumus Koneksi	Sudi
8/2	2023	Perbaiki Blok Diagram & flowchart	Sudi
2/3	2023	Ace Laporan	Sudi

Ace Laporan / 13-2023
Sudi

Mengetahui,
Pembimbing I

Noorly Evalina, S.T., M.T



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA (UMSU)

FAKULTAS TEKNIK-TEKNIK ELEKTRO

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)

Nama : Syahlan Baldan
 NPM : 19077220034
 Fakultas/Jurusan : Teknik/ Teknik Elektro
 Judul Tugas Akhir : "Peningkatan Efisiensi Solar Cell Dengan MPPT Berdasarkan Algoritma Incremental Conductance Menggunakan Buck - Boost Converter Pada Budidaya Jamur"

No	Tanggal	Catatan Asistensi	Paraf Pembimbing
	11/9-2023	Perbaiki Bnb III dan IV	
	13/9-2023	Acc Suras.	

13/9-2023
 Acc Suras
 (Mengetahui,
 Pembimbing I
 Noorly Evalina S.T., M.T)



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA (UMSU)

FAKULTAS TEKNIK-TEKNIK ELEKTRO

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)

Nama : Syahlan Baldan
 NPM : 19077220034
 Fakultas/Jurusan : Teknik/ Teknik Elektro
 Judul Tugas Akhir : "Peningkatan Efisiensi Panel Surya Dengan MPPT Metode IC Menggunakan Buck - Boost Converter Pada Budidaya Jamur"

No	Tanggal	Catatan Asistensi	Paraf Pembimbing
	18/9-2023	Acc Sidang	

Acc Sidang
 Noorly Evalina S.T., M.T
 Mengetahui,
 Pembimbing I

PENINGKATAN EFISIENSI SOLAR CELL DENGAN MPPT METODE IC MENGUNAKAN BUCK - BOOST CONVERTER PADA BUDIDAYA JAMUR

Syahlan Baldan (1907220034)
syahlankhott@gmail.com
Program Studi Teknik Elektro
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Medan

Abstrak - Permasalahan utama pada pengguna panel surya adalah sistem PV yang memiliki efisiensi yang rendah karena daya yang dihasilkan PV tergantung pada kondisi lingkungan yang dapat mempengaruhi karakteristik output dari modul PV. Dimana permasalahan kebutuhan energi listrik terus bertambah salah satu contohnya kebutuhan listrik pada petani jamur. Oleh karena itu penulis ingin menggunakan MPPT metode IC (*increment conductance*) menggunakan *Buck-Boost Converter* sehingga sistem ini diharapkan mampu meningkatkan efisiensi guna membantu memenuhi kebutuhan listrik. Pada penelitian ini menggunakan solar cell 50 wp dan penyimpanan energi listrik berupa 2 aki yang masing-masing berkapasitas 12 volt, dimana aki pertama digunakan untuk pengujian menggunakan MPPT IC Buck-Boost Converter dan aki kedua digunakan untuk pengujian tanpa MPPT (PWM). Pengujian ini berhasil meningkatkan efisiensi dilihat dari daya input rata – rata sebesar 17,5 Watt dengan rata-rata daya output tanpa MPPT (PWM) adalah 15,15 Watt dengan efisiensi 85,12 %, sedangkan dengan menggunakan MPPT IC Buck-Boost Converter daya output lebih besar dengan rata – rata sebesar 16,63 Watt dengan efisiensi 94,6 %. Hal ini menunjukkan penggunaan MPPT IC Buck-Boost Converter jauh lebih baik

dibandingkan tanpa MPPT (PWM). Apabila menggunakan MPPT IC *Buck - Boost Converter* maka daya keluaran PLTS dapat mensuplai beban pada budidaya jamur dengan tingkat ketahanan selama 2,14 hari sedangkan tanpa MPPT dengan tingkat ketahanan 1,94 hari, dengan masing-masing daya keluaran PLTS yang dihasilkan satu hari.

Kata Kunci : Solar Cell, MPPT, IC, Buck - Boost Converter

Abstrack - *The main problem for solar panel users is that PV systems have low efficiency because the power produced by PV depends on environmental conditions which can affect the output characteristics of the PV module. Where the problem of electrical energy needs continues to increase, one example is the electricity needs of mushroom farmers. Therefore, the author wants to use the MPPT IC (increment conductance) method using a Buck-Boost Converter so that this system is expected to be able to increase efficiency to help meet electricity needs. This research used a 50 wp solar cell and stored electrical energy in the form of 2 batteries, each with a capacity of 12 volts, where the first battery was used for testing using an MPPT IC Buck-Boost Converter and the second battery was used for testing without MPPT (PWM). This test succeeded in increasing*

efficiency seen from the average input power of 17.5 Watts with the average output power without MPPT (PWM) being 15.15 Watts with an efficiency of 85.12%, while using the MPPT IC Buck-Boost Converter power output is greater with an average of 16.63 Watts with an efficiency of 94.6%. This shows that the use of the MPPT IC Buck-Boost Converter is much better than without MPPT (PWM). If you use the MPPT IC Buck-Boost Converter, the PLTS output power can supply the load for mushroom cultivation with a resistance level of 2.14 days, whereas without the MPPT the power output level is 1.94 days, with each PLTS output power produced being one day.

Keywords: *Solar Cell, MPPT, IC, Buck - Boost Converter*

1. PENDAHULUAN

Penggunaan sumber daya energi tak terbarukan untuk memenuhi kebutuhan energi masih sangat tinggi dari sektor ketenagalistrikan, saat ini pembangkit listrik di Indonesia masih didominasi oleh penggunaan bahan bakar fosil, namun ketersediaan energi di Indonesia untuk Oil dan Gas mengalami penurunan dari tahun ke tahun [1]. Tidak hanya itu kebutuhan energi listrik terus bertambah tiap tahunnya, sejalan dengan meningkatnya permintaan energi listrik yang terdiri atas pelanggan rumah tangga, bisnis, sosial, industri, pertumbuhan penduduk, salah satu contohnya kebutuhan listrik pada petani jamur [2].

Berdasarkan proyeksi kebutuhan listrik penduduk Indonesia hingga tahun 2024 nanti mencapai 50.000 MW, namun kebutuhan proyeksi tersebut masih belum mencukupi hingga saat ini. Sehingga untuk

memenuhi kebutuhan listrik penduduk Indonesia, maka pemerintah membangun mega proyek 35.000 MW yang merupakan proyeksi PLN hingga tahun 2024. Namun kondisi pada tahun 2015 yang masih sekitar 84% rasio elektrifikasi, serta akan sangat mungkin nilai tersebut akan meningkat seiring bertambahnya penduduk maka Indonesia perlu digencarkan pembangunan khususnya energi terbarukan yang ramah lingkungan [3]. Penggunaan energi matahari oleh photovoltaic menawarkan sumber energi yang ramah lingkungan. Faktor yang harus diperhatikan sebelum melaksanakan sumber energi terbarukan adalah mengukur secara akurat potensi sumber daya yang tersedia antara lain intensitas cahaya matahari [4]

Permasalahan utama pada pengguna panel surya adalah sistem PV yang memiliki efisiensi yang rendah karena daya yang dihasilkan PV tergantung pada kondisi lingkungan yaitu variasi isolasi dan suhu dapat mempengaruhi karakteristik output dari modul PV. Maximum Power Point Tracker digunakan untuk mengekstraksi daya maksimum dari modul PV surya dan mentransfer daya dari modul PV ke beban. Konverter DC-DC bertindak sebagai antarmuka antara modul PV dengan mengubah duty cycle impedansi beban disesuaikan dengan impedansi sumber untuk mendapatkan daya maksimum dari modul PV [5]. Titik daya maksimum adalah titik tegangan dimana daya maksimum yang dihasilkan oleh modul PV. Dalam metode incremental conductance (IC) penyesuaian tegangan terminal array sesuai dengan MPP tegangan yang dilakukan [6]. Keuntungan dari

metode IC atau Incremental Conductance method yaitu memiliki kelebihan dalam hal kecepatan untuk mencapai MPP, dan juga dapat menyesuaikan perubahan lingkungan, tetapi memiliki implementasi yang lebih kompleks dan menjadi solusi yang efektif pada perubahan kondisi lingkungan yang cepat berubah-ubah dibandingkan metode yang lainnya [7].

Energi listrik yang dihasilkan dari solar cells disimpan dalam perangkat penyimpanan energi, baterai dan superkapasitor, diantara penyimpanan energi tersebut memiliki efisiensi yang berbeda-beda yang dapat digunakan sesuai kebutuhan dan kemudian baru dapat digunakan sebagai sumber energi pada alat listrik [8]. Salah satu alat tersebut yang nantinya digunakan dalam sektor pertanian budidaya jamur guna membantu untuk memenuhi kebutuhan para petani dan sebagai cara mengatasi global warming, membantu mengurangi emisi gas rumah kaca, serta memperkuat sumber daya alam.

Berdasarkan latar belakang yang telah diungkapkan diatas maka penulis ingin desain implementasi yang berkaitan dengan MPPT berdasarkan metode increment conductance sehingga sistem diharapkan mampu menghasilkan optimasi yang lebih baik dibandingkan dengan algoritma yang lain guna membantu memenuhi kebutuhan listrik. Dimana algoritma pengogramannya yang akan dimasukkan ke dalam Arduino, karena dalam pemograman tersebut arus dan tegangan input ke Buck-Boost Converter dapat dikontrol melalui Arduino.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Sel surya menghasilkan listrik

DC dari suatu bahan semikonduktor ketika bahan tersebut dipaparkan pada cahaya. Selama cahaya mengenai bahan semikonduktor tersebut maka sel surya akan menghasilkan energi listrik, dan ketika sel surya tidak dipaparkan cahaya, maka sel surya akan berhenti menghasilkan listrik. Beberapa sel surya mampu tetap menghasilkan energi. Pada penelitian yang dilakukan [9].

Pada pengujian alat penyemprot pestisida dilakukan oleh Sarwono [10] dengan beberapa tahap seperti pengujian rangkaian, pengujian panel surya, pengujian sprayer, dan pengujian baterai. Pengujian rangkaian dilakukan untuk memastikan alat penyemprot pestisida dapat berfungsi dengan baik. Pengujian panel surya dilakukan dengan cara mengukur tegangan, arus, dan juga intensitas cahaya setiap jam selama 7 jam, dimulai dari pukul 08.00 sampai 15.00. Pengujian tegangan, arus, dan intensitas cahaya dilakukan pada panel surya untuk mengetahui keluaran dari panel surya tersebut.

Sel surya sendiri sering disebut juga photovoltaic yang terbuat dari bahan semikonduktor memiliki elektron yang terikat dengan lemah pada suatu pita energi yang disebut sebagai pita valensi. Ketika ada energi yang lebih besar dari batas threshold energi (band gap energy) yang diberikan pada elektron valensi tersebut, maka ikatan pada elektron tersebut putus sehingga elektron dapat bergerak bebas pada suatu pita energi baru yang disebut sebagai pita konduksi yang dapat menghasilkan listrik melalui bahan tersebut. Untuk mendapatkan serapan elektron dari sebuah cahaya yang optimal, photovoltaic sering dipasang di

daerah terbuka. beberapa metode dilakukan seperti proses tracking mekanik. Pada penelitian yang dilakukan rata-rata hasil optimasi dari solar panel dual axis dinamis (tracking mekanik) adalah bekisar 10 antara 5% jika dibandingkan dengan sistem solar panel konvensional [14]. Nilai iradiasi dan temperature yang diterima photovoltaic terdapat nilai maksimum yang dihasilkan. Hal ini dikemukakan oleh [15] dalam penilitiannya bahwa MPPT memiliki keuntungan salah satunya adalah mempercepat terpenuhnya nilai daya yang diperlukan oleh beban dari daya yang dihasilkan oleh photovoltaic (equilibrium photovoltaic). Penelitian mengenai photovoltaic telah menemukan berbagai metode untuk mengoptimalkan daya yang dibangkitkan oleh photovoltaic seperti metode pertubs and observing, incremental conductance.

Sel Surya atau Solar Cell adalah suatu perangkat atau komponen yang dapat mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip efek Photovoltaic [17]. Sel surya adalah sebuah alat yang tersusun dari material semikonduktor yang dapat mengubah sinar matahari menjadi tenaga listrik secara langsung. Sering juga dipakai istilah photovoltaic atau fotovoltaik. Sel surya pada umumnya memiliki ketebalan minimum 0,3 mm yang terbuat dari irisan bahan semikonduktor dengan kutub positif dan negatif. Pada sel surya terdapat sambungan (function) antara dua lapisan tipis yang terbuat dari bahan semikonduktor yang masing - masing yang diketahui sebagai semikonduktor jenis "P" (positif) dan semikonduktor jenis "N" (Negatif). Silikon jenis P merupakan lapisan permukaan yang dibuat sangat tipis

supaya cahaya matahari dapat menembus mencapai junction. Bagian P ini diberi lapisan nikel yang berbentuk cincin, sebagai terminal keluaran positif . Di bawah bagian P terdapat bagian jenis N yang dilapisi dengan nikel juga sebagai terminal keluaran negatif

Pulse Width Modulation (PWM) secara umum adalah sebuah cara memanipulasi lebar sinyal yang dinyatakan dengan pulsa dalam suatu perioda, untuk mendapatkan tegangan rata-rata yang berbeda. Beberapa contoh aplikasi PWM adalah pemodulasian data untuk telekomunikasi, pengontrolan daya atau tegangan yang masuk ke beban, regulator tegangan, audio effect dan penguatan, serta aplikasi-aplikasi lainnya. Aplikasi PWM berbasis mikrokontroler biasanya berupa pengendalian kecepatan motor DC, pengendalian motor servo, pengaturan nyala terang LED dan lain sebagainya.

Maximum Power Point Tracking (MPPT) merupakan sistem elektronik yang dapat dimanfaatkan untuk mengontrol sistem panel surya agar dapat beroperasi pada daya maksimum. MPPT adalah kontrol elektronis yang terkonsentrasi pada titik poin karakteristik tegangan dan arus pada panel surya, bukan sistem pelacakan mekanis.

Banyak sekali faktor yang mempengaruhi kinerja panel surya ketika beroperasi diantaranya suhu yang mempengaruhi besar tegangan, intensitas cahaya matahari yang mempengaruhi titik kerja arus yang dihasilkan, dsb. Sistem MPPT memungkinkan kondisi yang bervariasi itu dapat dilacak daya maksimumnya pada waktu dan saat tertentu

Buck-boost converter berfungsi

untuk mengubah level tegangan DC, baik ke level yang lebih tinggi maupun level yang rendah. Namun buck-boost converter mengubah polaritas dari tegangan input terhadap output. Konverter buck-boost sebagai salah satu regulator mode pensaklaran menghasilkan tegangan keluar yang lebih kecil atau lebih besar dibanding tegangan masukannya.

Microcontroller berbasis Arduino Uno (data sheet). Memiliki 14 pin input dimana 6 pin input tersebut dapat digunakan sebagai output PWM dan 6 pin input analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, jack power, ICSP header, dan tombol reset. Untuk mendukung Microcontroller agar dapat digunakan, cukup menghubungkan Board Arduino ke komputer dengan menggunakan kabel USB atau listrik dengan AC ke adaptor DC atau baterai untuk menjalankannya. Pin Analog Arduino Uno mempunyai 6 pin input analog yang berlabel A0 sampai A5 dimana masing-masing pin tersebut memberikan 10 bit resolusi. Berikut ini fungsi khusus dari beberapa pin analog. Pin A4 (SDA) dan pin A5 (SCL) berfungsi mendukung komunikasi TWI menggunakan library khusus. Pin Lainnya Pin (AREF), berfungsi mengatur tegangan referensi untuk input dialog. Pin (RESET), berfungsi untuk menjalankan atau memuat ulang program yang telah di-upload ke papan sirkuit.

Sensor ina219 merupakan suatu sensor yang pembacaannya lebih akurat dan lebih stabil Sensor INA219 merupakan sensor yang digunakan untuk mengukur arus dan tegangan dari panel surya. Rangkaian sensor INA219 ini juga berfungsi untuk membaca nilai arus dan tegangan yang mengalir dari panel

surya melalui Solar Charge Controller. Terminal Vin+ sensor INA219 dihubungkan dengan terminal positif langsung dari panel surya, sedangkan terminal Vin- sensor INA219 dihubungkan dengan terminal positif panel surya pada Solar Charge Controller. pembacaan nilai arus dan tegangan tersebut dikirim ke Microcontroller melalui pin SCL dan SDA pada sensor INA219, yang masing – masing dihubungkan ke pin 5 (SCL) dan pin 4 (SDA). Sedangkan, pin VCC dan GND sensor INA219 masing – masing dihubungkan ke pin 5V dan GND pada Microcontroller.

Pembagi tegangan merupakan rangkaian sederhana yang dapat mengubah tegangan yang tinggi menjadi tegangan yang lebih rendah. Dengan hanya menggunakan dua resistor yang dipasang secara seri dan dengan sebuah input tegangan, kita dapat membuat tegangan output yang mana tegangan output ini merupakan hasil perhitungan dari tegangan input

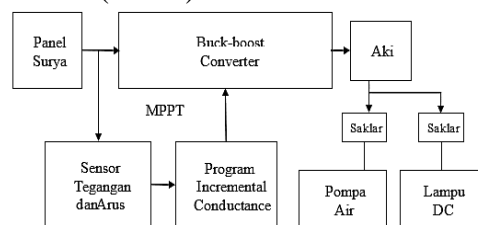
Sensor arus ACS712 adalah sensor arus yang bekerja berdasarkan efek medan. Sensor arus ini dapat digunakan untuk mengukur arus AC atau DC. Modul sensor ini telah dilengkapi dengan rangkaian penguat operasional, sehingga sensitivitas pengukuran arusnya meningkat dan dapat mengukur perubahan arus yang kecil. Sensor ini digunakan pada aplikasi-aplikasi bidang industri, komersial, maupun komunikasi. Contoh aplikasinya antara lain untuk sensor kontrol motor. Deteksi dan manajemen penggunaan daya, sensor untuk daya tersaklar, sensor proteksi terhadap arus lebih, dan lain sebagainya.

Jamur tiram atau *Pleurotus ostreatus* dalam bahasa latin adalah

jamur dari kelompok Basidiomycota dengan tubuh buah berwarna putih dan cekung seperti cangkang tiram. Tutup jamur tiram dengan ukuran mulai dari 5 - 20 cm akan berubah dari hitam, abu-abu, dan coklat menjadi putih. Menurut sub kelasnya, jamur dipisahkan menjadi dua kelompok: Ascomycetes dan Basidiomycetes. Karena ukurannya yang lebih besar, Basidiomycetes lebih mudah diperhatikan daripada Ascomycetes.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Jl. Marelan Pasar 1 Rel Lingkungan 3, Gg. Cipto, Kel. Tanah Enam Ratus, Kec. Medan Marelan, Kota Medan, Sumatera Utara. Penelitian ini berlangsung selama 6 bulan pada bulan Maret sampai Agustus 2023. Aki yang dipakai adalah aki 12 Volt sebanyak 2 buah dengan kapasitas yang sama untuk mengetahui perbandingan menggunakan MPPT Metode IC Buck – Boost Converter dan tanpa MPPT (PWM). Pengambilan data dilakukan pada saat sinar matahari dengan tingkat intensitas yang hampir sama. Melakukan perbandingan solar charger control yang menggunakan MPPT IC Buck-Boost Converter dengan yang tidak menggunakan MPPT (PWM).



Gambar 1. Diagram Blok Perancangan Sistem

Pada gambar 1 menunjukkan diagram blok system perancangan peralatan sederhana dimana dapat dilihat keluaran pada panel surya akan di

Buck - Boost Converter untuk mencharge Aki dan energi yang digunakan pada beban yang dimana keluaran Buck - Boost Converter akan dicontrol dengan program IC (Incremental Conductance) yang menjadi system MPPT dengan dideteksi oleh sensor arus dan sensor tegangan yang keluaran pada panel surya

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Beban Terpasang

Table 1 Beban Terpasang

Jenis Beban	Daya (Watt)	Waktu Penggunaan (Jam)	Total Beban Terpakai (Wh)
Lampu DC	12	1	12
Lampu DC	12	1	12
Pompa Air DC	72	0,5	36
Total			70

Maka dari tabel 1 dapat dilihat, dari 2 jenis beban yaitu lampu DC dan motor pompa. Total beban terpakai adalah sebesar 70 Wh. Sementara beban terpasang adalah Lampu DC berkapasitas 12 watt sebanyak 2 unit dan motor 72 watt adalah sebesar 96 Watt.

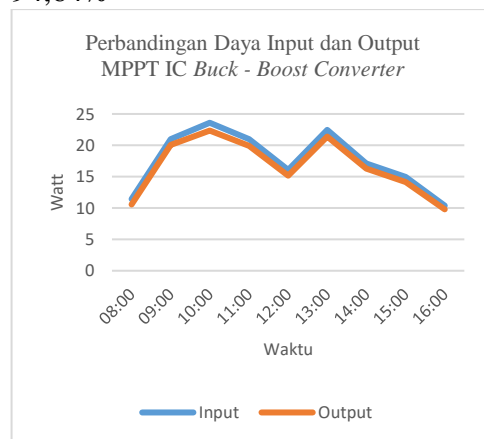
4.2. Hasil Pengujian Menggunakan

MPPT Incremental Conductance

Table 2 Pengambilan Data PLTS dengan MPPT IC *Buck-Boost Converter*

Waktu	Intensitas (W/m ²)	Suhu (°C)	Tegangan (V)		Arus (I)		Daya (W)	
			Input	Output	Input	Output	Input	Output
08:00	691,25	29,1	12,87	12,45	0,89	0,85	11,45	10,58
09:00	781,47	30,7	12,95	12,53	1,62	1,60	20,97	20,04
10:00	889,27	31,4	13,11	12,70	1,80	1,76	23,59	22,35
11:00	950,37	32,2	13,27	12,86	1,58	1,55	20,96	19,93
12:00	863,47	32,9	13,38	12,97	1,20	1,17	16,00	15,17
13:00	1003,48	33,2	13,46	13,05	1,67	1,64	22,47	21,40
14:00	823,65	33,4	13,57	13,15	1,26	1,24	17,09	16,30
15:00	723,75	32,7	13,61	13,20	1,10	1,07	14,97	14,12
16:00	352,53	29,4	13,66	13,24	0,76	0,74	10,38	9,79

Dari table 2 daya output yang dihasilkan PLTS tidak jauh terjadi drop daya dibandingkan dari data input, dimana rata – rata daya input adalah 17,5 Watt sedangkan pada output mengalami penurunan yang tidak signifikan yaitu 16,63 Watt dengan rata – rata efisiensi sebesar 94,64%



Gambar 2 Perbandingan Daya Input dan Output Menggunakan MPPT IC Buck-Boost Converter

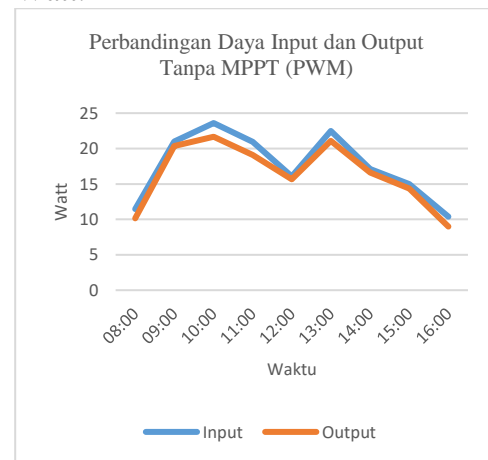
4.3. Hasil Pengujian dengan Tanpat MPPT (PWM)

Table 3 Pengambilan Data PLTS Tanpa MPPT (PWM)

Waktu	Intensitas (W/m ²)	Suhu (°C)	Tegangan (V)		Arus (I)		Daya (W)	
			Input	Output	Input	Output	Input	Output
08:00	751,23	29,8	12,90	12,72	0,72	0,55	9,28	6,99
09:00	831,21	30,9	12,96	12,79	1,37	1,20	17,75	15,34
10:00	919,46	31,5	13,12	12,95	1,78	1,63	23,35	19,92
11:00	950,42	32,2	13,28	13,11	1,68	1,52	22,31	19,92
12:00	1001,23	32,8	13,40	13,22	1,42	1,27	19,02	16,78
13:00	823,65	33,1	13,47	13,30	1,23	1,08	16,56	14,36
14:00	1012,12	33,5	13,58	13,41	1,51	1,36	20,50	18,23
15:00	877,89	32,2	13,61	13,45	1,27	1,11	17,28	14,92
16:00	454,65	30,7	13,63	13,47	0,92	0,74	12,54	9,96

Dari tabel 3 daya output yang dihasilkan PLTS lebih kecil dibandingkan dari data input, dimana rata – rata daya input adalah 17,6

Watt sedangkan pada output mengalami penurunan yaitu 15,5 Watt.



Gambar 3 Perbandingan Daya Input dan Output Tanpa MPPT (PWM)

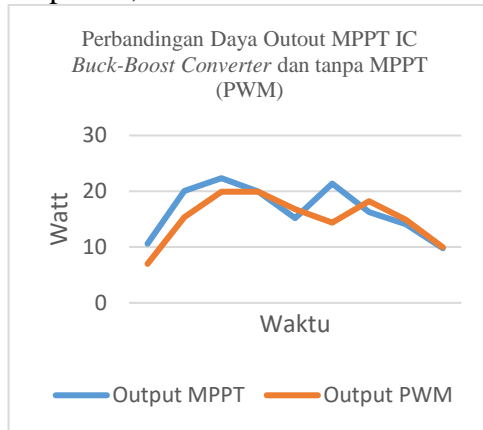
Dapat dilihat pada gambar 4.10 daya keluaran PLTS dengan menggunakan PWM output yang dihasilkan relatif lebih rendah dari input keluaran PLTS. Hal ini menunjukkan penggunaan PWM kurang efektif karena daya output yang dihasilkan PLTS ditunjukkan dengan grafik output berada dibawah dan berjarak dengan grafik input.

4.4. Perbandingan PWM dan MPPT Table 4 Perbandingan PWM dan MPPT IC Buck-Boost Converter

Waktu	Daya Input		Daya Output	
	MPPT	PWM	MPPT	PWM
08:00	11,45	9,28	10,58	6,99
09:00	20,97	17,75	20,04	15,34
10:00	23,59	23,35	22,35	19,92
11:00	20,96	22,31	19,93	19,92
12:00	16,00	19,02	15,17	16,78
13:00	22,47	16,56	21,40	14,36
14:00	17,09	20,50	16,30	18,23
15:00	14,97	17,28	14,12	14,92
16:00	10,38	12,54	9,79	9,96
Rata - Rata	17,54	17,62	16,63	15,15

Dari table 4 dapat dilihat daya keluaran yang dihasilkan oleh PLTS melalui MPPT lebih besar dengan

rata - rata input 17,54 V dan output 16,63 V lebih besar dibandingkan tanpa MPPT dengan rata – rata daya input yang hampir sama 17,62 V dan output 15,15 V.



Gambar 4 Perbandingan Daya Outout MPPT IC *Buck-Boost Converter* dan tanpa MPPT (PWM)

Dapat dilihat pada gambar 4 daya keluaran PLTS dengan menggunakan PWM output yang dihasilkan relatif lebih rendah dibandingkan keluaran PLTS menggunakan MPPT IC *Buck-Boost Converter*.

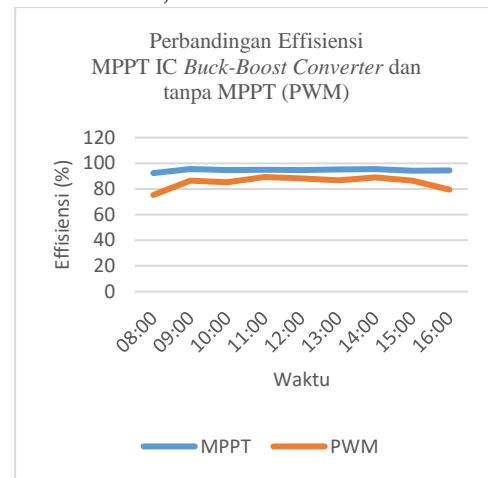
Adapun perbandingan efisiensi yang dihasilkan dari keluaran MPPT dan tanpa MPPT dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Table 5 Perbandingan Efisiensi MPPT IC *Buck-Boost Converter* dan Tanpa MPPT (PWM)

Waktu	Daya Input		Daya Output		Efisiensi %	
	MPPT	PWM	MPPT	PWM	MPPT	PWM
08:00	11,45	9,28	10,58	6,99	92,38	75,32
09:00	20,97	17,75	20,04	15,34	95,56	86,44
10:00	23,59	23,35	22,35	19,92	94,72	85,31
11:00	20,96	22,31	19,93	19,92	95,07	89,31
12:00	16,00	19,02	15,17	16,78	94,8	88,23
13:00	22,47	16,56	21,40	14,36	95,21	86,7
14:00	17,09	20,50	16,30	18,23	95,37	88,94
15:00	14,97	17,28	14,12	14,92	94,34	86,37
16:00	10,38	12,54	9,79	9,96	94,38	79,48
Rata - Rata	17,54	17,62	16,63	15,15	94,6	85,12

Dari tabel 5 dapat dilihat efisiensi menggunakan MPPT IC *Buck-Boost*

Converter lebih besar dengan rata-rata 94,6% dibandingkan dengan efisiensi tanpa MPPT (PWM) dengan rata-rata 85,12%.



Gambar 5 Perbandingan Efisiensi MPPT IC *Buck-Boost Converter* dan tanpa MPPT (PWM)

Dari gambar 5 dapat dilihat efisiensi yang dihasilkan oleh PLTS melalui MPPT lebih besar dibandingkan tanpa MPPT.

4.5. Kemampuan PLTS Mensuplai Beban

Kemampuan PLTS mensuplai beban adalah melihat apakah PLTS mampu untuk mensuplai beban yang ada dan berapa lama ketahanan PLTS untuk mensuplai beban yang ada. Diketahui total beban terpasang adalah sebesar 96 Watt dan kebutuhan beban dalam satu hari adalah hanya 70 Wh. Apabila rata – rata daya keluaran PLTS dengan menggunakan MPPT adalah 16,63 Watt dan pengambilan data dilakukan selama 9 Jam, maka daya yang dapat dihasilkan PLTS dengan menggunakan MPPT adalah sebesar :

$$\begin{aligned} \text{Daya Total} &= \text{Rata – Rata Daya} * \\ &\text{Jumlah Pengambilan Data} \\ &= 16,63 * 9 \\ &= 149,67 \text{ Watt.} \end{aligned}$$

Maka dalam satu hari PLTS yang digunakan dapat menghasilkan daya

dengan menggunakan MPPT adalah sebesar 149,67 Watt. Dapat dilihat daya keluaran PLTS jauh lebih besar dibandingkan daya yang dibutuhkan beban setiap hari, maka PLTS dapat mensuplai beban selama :

$$= 149,67 / 70$$

$$= 2,14 \text{ Hari}$$

PLTS dapat mensuplai beban selama 2,14 hari dengan daya keluaran PLTS yang dihasilkan satu hari.

5. KESIMPULAN

Adapun Kesimpulan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pada penelitian MPPT IC Buck - Boost Converter sudah dapat bekerja seperti yang diinginkan peneliti hal ini dapat dilihat dari daya input yang diberikan menghasilkan daya output dengan contoh: intensitas 863,47 W/m² dengan suhu 32,9°C dimana saat menggunakan MPPT IC *Buck-Boost Converter* didapati daya inputan sebesar 16,0 Watt dan output 15,17 Watt sedangkan pada saat tanpa menggunakan MPPT (PWM) dengan intensitas yang hampir sama 823,65 W/m² dan suhu 33,1°C daya input 16,56 Watt dan output 14,36 Watt, daya keluaran pada MPPT lebih besar dibandingkan ketika tidak menggunakan MPPT.
2. Daya output yang dihasilkan PLTS tanpa menggunakan MPPT lebih jauh rendah dan mengalami penurunan yang sangat signifikan dengan daya input yang dihasilkan oleh PLTS. Dimana daya input rata – rata sebesar 17,5 Watt sedangkan daya output dengan menggunakan PWM adalah 15,15 Watt dengan efisiensi 85,12 %. Sedangkan dengan menggunakan MPPT daya

output lebih besar dengan rata – rata sebesar 16,63 Watt dengan efisiensi 94,6 %. Hal ini menunjukkan penggunaan MPPT jauh lebih baik dibandingkan tanpa MPPT.

3. Pengujian ini berhasil meningkatkan efisiensi Solar cell dimana jika menggunakan MPPT IC *Buck-Boost Converter* maka daya keluaran PLTS dapat mensuplai beban pada budidaya jamur dengan tingkat ketahanan selama 2,14 hari dengan daya keluaran PLTS yang dihasilkan satu hari.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. Pahrudin, S. Fadillah, And N. F. Mutmainah, “Analisis Permintaan Dan Penyediaan Energi Fosil Dari Berbagai Subsektor Di Indonesia Pada Masa Mendatang,” *J. Eng. Environmental Energy Sci.*, Vol. 1, No. 1, Pp. 29–38, 2022, Doi: 10.31599/Jo.es.V1i1.977.
- [2] J. Pulungan, “Prediksi Kebutuhan Energi Listrik Menggunakan Metode Jaringan Syaraf Tiruan,” ... *Metod. Jar. Syaraf Tiruan*, Vol. 4, No. 1, Pp. 294–302, 2022, Doi: 10.47065/Bits.V4i1.1649.
- [3] A. Saleh, W. Hadi, And M. C. Anwar, “Desain Kontrol Maximum Power Point Traker (Mppt) Menggunakan Incremental Conductance (Inc) Pada Dc / Dc Tipe Sepic,” No. November, Pp. 1–2, 2017.
- [4] R. Rimbawati, U. Muhammadiyah, S. Utara, And M. Irwanto, “Analysis Of Hybrid Power Plant Scheduling System Diesel / Photovoltaic / Microhydro In Remote Area Analysis Of Hybrid Power Plant

- Scheduling System Diesel / Photovoltaic / Microhydro In Remote Area,” No. November, 2022, Doi: 10.1088/1742-6596/2193/1/012024.
- [5] D. Choudhary And A. R. Saxena, “Incremental Conductance Mppt Algorithm For Pv System Implemented Using Dc-Dc Buck And Boost Converter,” Vol. 4, No. 8, Pp. 123–132, 2014.
- [6] S. Bulle, S. S. Patil, D, And V. Kheradkar, V, “Implementation Of Incremental Conductance Method For Mppt Using Sepic Converter,” 2017.
- [7] B. Azmi Et Al., “Review Perbandingan Teknik Maximum Power Point Tracker (Mppt) Untuk Sistem Pengisian Daya Menggunakan Sel Surya Pp. 111–122, 2019.
- [8] M. Das And R. Mandal, “A Comparative Performance Analysis Of Direct, With Battery, Supercapacitor, And Battery-Supercapacitor Enabled Photovoltaic Water Pumping Systems Using Centrifugal Pump,” Sol. Energy, Vol. 171, No. February, Pp. 302–309, 2018, Doi: 10.1016/J.Solener.2018.06.069.
- [9] P. Seminar Et Al., “Portable Power Plan Solar Cell Irawadi Buyung 1* , Khoirul Azizi (2),” No. November, Pp. 332–342, 2016.
- [10] E. Sarwono, “Alat Penyempot Pestisida Tenaga Surya,” Electrician, Vol. 16, No. 1, Pp. 66–72, 2022, Doi: 10.23960/Elc.V16n1.2228.
- [11] J. Desember, S. Yuwono, And N. W. Pratama, “Energi Dan Kelistrikan : Jurnal Ilmiah Manfaat Pengadaan Panel Surya Dengan Menggunakan Metode On Grid Energi Dan Kelistrikan : Jurnal Ilmiah,” Vol. 13, No. 2, Pp. 161–171, 2021.
- [12] H. Asy’ari, Jatmiko, And Angga, “Intensitas Cahaya Matahari Terhadap Daya Keluaran Panel Sel Surya,” Simp. Nas. Rapi Xi Ft Ums, Pp. 52–57, 2012.
- [13] A. H. Sabry And P. J. Ker, “Improvement On Energy Consumption Of A Refrigerator Within Pv System Including Battery Storage,” Energy Reports, Vol. 7, Pp. 430–438, 2021, Doi: 10.1016/J.Egyr.2021.01.011.
- [14] A. Bahar, M. Munir, And T. Suheta, “Optimasi Output Photovoltaic Dengan Menggunakan Tracking Dinamis Berdasarkan Waktu Penyinaran Matahari,” Pp. 409–414, 2015.
- [15] S. R. I. Utami, S. Saodah, And A. Pudin, “Penggunaan Algoritma Incremental Conductance Pada Mppt Dengan Buck Converter Untuk Pengujian Indoor Dan Outdoor,” Vol. 6, No. 1, Pp. 97–109, 2018.
- [16] P. Singh, D. K. Palwalia, A. Gupta, And P. Kumar, “Comparison Of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques,” Pp. 401–404, 2015, Doi: 10.17148/Iarjset.
- [17] N. Evalina, “Analisis Karakteristik Pembangkit Listrik Hot Air Stirling Engine Dengan Bahan Bakar Metanol,” J. Tek. Elektro, Vol. 2, 2020.