



TUGAS AKHIR - TF145565

PERANCANGAN SISTEM PANEL SURYA SEBAGAI SUMBER ENERGI PADA *SMART CLASSROOM*

HESTY AMELIA WINDA KESUMA
105 1 15 000 00 050

Pembimbing 1 :
Dr.Ir. Purwadi Agus Darwito, M.Sc
NIP. 19620802 198803 1 001

Pembimbing 2 :
Murry Raditya, S.T, M.T
NPP. 1988 2017 11055

PROGRAM STUDI D3 TEKNOLOGI INSTRUMENTASI
DEPARTEMEN TEKNIK INSTRUMENTASI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



FINAL PROJECT - TF145565

**DESIGN OF SOLAR PHOTOVOLTAIC SYSTEM AS A
SOURCE OF ENERGY ON SMART CLASSROOM**

HESTY AMELIA WINDA KESUMA
105 1 15 000 00 050

Supervisor 1 :
Dr.Ir. Purwadi Agus Darwito, M.Sc
NIP. 19620802 198803 1 001

Supervisor 2 :
Murry Raditya, S.T, M.T
NPP. 1988 2017 11055

STUDY PROGRAM D3 INSTRUMENTATION TECHNOLOGY
INSTRUMENTATION ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Vocational
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2018

LEMBAR PENGESAHAN I

“PERANCANGAN SISTEM PANEL SURYA SEBAGAI SUMBER ENERGI PADA *SMART CLASSROOM*”

TUGAS AKHIR

Oleh :

HESTY AMELIA WINDA KESUMA

NRP. 105 1 15 000 00 050

Surabaya, 27 Juli 2018

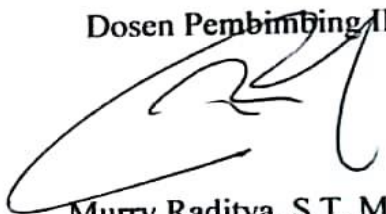
Mengetahui / Menyetujui

Dosen Pembimbing I



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

Dosen Pembimbing II



Murry Raditya, S.T, M.T
NPP. 1998 2017 11055

Kepala Departemen
Teknik Instrumentasi FV-ITS



Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, MSc
NIP. 19620822 198803 1 001

LEMBAR PENGESAHAN II

“PERANCANGAN SISTEM PANEL SURYA SEBAGAI SUMBER ENERGI PADA *SMART CLASSROOM*”




TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memperoleh salah satu syarat
Untuk memperoleh gelar Ahli Madya
Pada
Program studi D3 Teknologi Instrumentasi
Departemen Teknik Instrumentasi
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

HESTY AMELIA WINDA KESUMA
NRP.105 1 15 000 00 050

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, M.Sc  Pembimbing I
2. Murry Raditya, S.T, M.T.  Pembimbing II
3. Ir. Tutug Dhanardono, M.T  Penguji

SURABAYA
2018

PERANCANGAN SISTEM PANEL SURYA SEBAGAI SUMBER ENERGI PADA *SMART CLASSROOM*

Nama : Hesty Amelia Winda Kesuma
NRP : 1051150000050
Departemen : Teknik Instrumentasi FV-ITS

Abstrak

Energi surya merupakan sumber energi terbarukan yang tersedia secara berlimpah di Indonesia. Salah satu cara memanfaatkan energi surya adalah dengan mengubahnya menjadi energi listrik menggunakan modul fotovoltaik atau modul surya yang disebut pembangkit listrik tenaga surya (PLTS). Pemanfaatan energi surya sebagai pembangkit tenaga listrik berkembang pesat, akan tetapi belum ada standard terkait pembangunan PLTS di Indonesia. Pembangunan PLTS dapat mempercepat rasio kelistrikan dan mengurangi konsumsi bahan bakar minyak di daerah terpencil. Pada tugas akhir ini dibahas konfigurasi dasar PLTS, spesifikasi teknis peralatan utama seperti modul surya, inverter dan baterai serta pertimbangan dalam menentukan kapasitas PLTS.

Kata kunci: energi surya, fotovoltaik,

DESIGN OF SOLAR PHOTOVOLTAIC SYSTEM AS A SOURCE OF ENERGY ON SMART CLASSROOM

Name : Hesty Amelia Winda Kesuma
NRP : 1051150000050
Department : *Instrumentation Engineering FV-ITS*

Abstract

Solar energy as a source of primary energy is a renewable energy. It is available abundantly in Indonesia. One of the technological utilization of solar energy into electrical energy is the use of photovoltaic or solar modules, called Photovoltaic Power Plant or PLTS. At present, the utilization of solar energy for power generation sources is growing rapidly in a wider range of power scaling. However, there is no standard was established in Indonesia in connection with the construction of photovoltaic power generation. Photovoltaic power plant currently purposed to speed up electrification ratio and reduce the consumption of fuel in remote area, which generally scale power plants below 1 MW. This paper describes the base-configuration of photovoltaic system, important technical specifications of main equipment such as solar modules, inverters and batteries, the consideration to choose the capacity is also included.

Keywords : *solar energy, photovoltaic*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas berkat, rahmat dan kebesaran-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul “PERANCANGAN SISTEM PANEL SURYA SEBAGAI SUMBER ENERGI PADA *SMART CLASSROOM*”

Selama menyelesaikan Tugas Akhir ini penulis telah banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih ang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, MSc selaku kepala departemen teknik instrumentasi ITS, Surabaya.
2. Bapak Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, MSc selaku dosen pembimbing pertama Tugas Akhir.
3. Bapak Murry Raditya, S.T,M.T selaku dosen pembimbing kedua Tugas Akhir.
4. Keluarga tercinta, orangtua penulis terima kasih atas dorongan semangatnya, bantuan dan dukungannya selama ini sehingga laporan ini dapat selesai dengan baik.
5. Rekan-rekan team tugas akhir *Smart Classroom* atas kekompakan dan kerjasamanya.
6. Teman-teman D3 Teknik Instrumentasi angkatan 2015 yang membantu dan mensupport selama kegiatan Tugas Akhir berlangsung.
7. Chintya Sagita Goestien dan Heru atas bantuan pengerjaan tugas akhir ini.
8. Seluruh karyawan dan staff Departemen Teknik Instrumentasi yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa kesempurnaan hanya milik Allah SWT. Oleh karena itu, penulis sangat berterimakasih atas

segala masukan, kritik dan saran yang membangun dari pembaca agar laporan ini menjadi lebih baik lagi untuk di kemudian hari. Demikian laporan ini penulis buat, semoga laporan ini dapat memberikan manfaat selain bagi penulis sendiri, dan bagi pembaca sekalian.

Surabaya, 27 Juli 2018
Penulis

Hesty Amelia Winda Kesuma
NRP. 10 5115 00000 050

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN I	ii
LEMBAR PENGESAHAN II	iv
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Manfaat	2
BAB II DASAR TEORI.....	5
2.1 Photovoltaic (PV).....	5
2.2 Pemodelan Sel Surya.....	6
2.2.1 Model Sel Surya Ideal	6
2.2.2 Model Sel Surya Satu Dioda.....	9
2.2.3 Model Sel Surya Dua Dioda.....	10
2.2.4 Model Sel Surya Banyak Dioda.....	11
2.3 Modul Photovoltaic	11
2.4 Performansi Panel Surya	13

2.5	<i>Solar Charge Controller (SCC) atau Battery Charge Controller (BCC)</i>	15
2.6	<i>Inverter</i>	16
2.7	Baterai	17
2.8	Aplikasi Photovoltaic Pada Bangunan.....	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		21
3.1	Diagram Penelitian	21
3.2	Perancangan Sistem.....	24
3.2.1	Perhitungan Luas Ruang, Jumlah Komponen pada Ruang serta Jumlah Total Daya yang Dibutuhkan	24
3.2.2	Perhitungan Tilt Angle dan Spesifikasi Panel Surya	26
3.2.3	Pemodelan Matematis Sistem Panel Surya.....	29
3.2.4	Pembuatan Program Simulasi.....	29
3.2.5	Analisis Hasil	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		31
4.1	Hasil Perancangan <i>Smart Classroom</i>	31
4.1.1	Menghitung Luas Ruang.....	31
4.1.2	Menghitung Daya yang Dibutuhkan Ruang	33
4.1.3	Perhitungan <i>Tilt Angle</i> dan Penempatan Modul....	37
4.2	Pemodelan Matematis	38
4.3	Simulasi Pemodelan	39
4.4	Pembahasan.....	44
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		47
5.1	Kesimpulan	47
5.2.	Saran	47

DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN A
LAMPIRAN B

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Perpindahan Elektron [9]	6
Gambar 2. 2 P-N Junction [9]	6
Gambar 2. 3 Rangkaian setara sel surya ideal	7
Gambar 2. 4 Kurva I-V Sel Surya Ideal	8
Gambar 2. 5 Rangkaian Sel Surya Satu Dioda	9
Gambar 2. 6 Rangkaian Sel Surya Satu Dioda	10
Gambar 2. 7 Rangkaian Sel Surya Banyak Dioda	11
Gambar 2. 8 Sambungan Seri Fotovoltaik.....	12
Gambar 2. 9 Konstruksi Karakteristik Modul dengan 36 Sel (Irradiasi $G = 400 \text{ W/m}^2$, $T = 300\text{K}$).....	12
Gambar 2. 10 Sambungan Paralel dari n Sel Surya	13
Gambar 2. 11 Karakteristik I-V dan P-V Sel Surya dengan <i>Maximum Power Point</i> (MPP)	13
Gambar 2. 13 <i>Bidirectional Inverter</i>	16
Gambar 2. 14 Shingle Modules PV	19
Gambar 2. 15 Integral Roof Modules PV	19
Gambar 3. 1 Blok Diagram Keseluruhan Sistem.....	21
Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian	23
Gambar 3. 3 Luas Ruang	24
Gambar 3. 4 Desain Pemasangan Panel Pada Atap	27
Gambar 3. 5 Two Axis Tracking Tampak Depan	28
Gambar 3. 6 Two Axis Tracking Tampak Samping	28
Gambar 4. 1 Bagian Ruang A-300.....	32
Gambar 4. 2 Zanetta 12V 100 Ah	36
Gambar 4. 3 Global solar Atlas Intensitas Matahari Teknik Instrumentasi	37
Gambar 4. 4 Pemasangan Modul Panel 200 WP pada <i>Rooftop</i>	38
Gambar 4. 5 Rangkaian Simulasi Banyak Dioda.....	40
Gambar 4. 6 Kurva I-V pada STC	40

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Piranti yang Membutuhkan Daya Pada Smart Classroom	25
Tabel 3. 2 Spesifikasi Panel Surya 200 Wp.....	26
Tabel 3. 3 Spesifikasi Panel Surya 100 Wp.....	28
Tabel 4. 1 Estimasi Kebutuhan Daya pada Smart Classroom	33
Tabel 4. 2 Data Peak Sun Hour	34
Tabel 4. 3 Spesifikasi Baterai	36
Tabel 4. 4 Parameter Panel Surya 200 WP	39
Tabel 4. 5 Pengambilan Data Langsung	43

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengalihan perhatian oleh negara-negara di dunia berkaitan dengan sumber energi terbarukan (*renewable energy source*) sebagai pengganti energi masa depan yang ramah lingkungan, perkembangan dan produksi sel maupun modul fotovoltaik meningkat [1][2]. Menurut Dr. Ir. Pekik Argo Dahono Pengajar di Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, ITB dalam buletin Engineer Weekly NO. 4 W Edisi III, Mei 2016, Indonesia menyimpan potensi besar untuk mengembangkan energi terbarukan, mengingat sumberdaya yang tersedia berlimpah. Namun, hingga kini, potensi tersebut belum dimanfaatkan secara maksimal. Diperkirakan baru 3 hingga 5 persen yang dimanfaatkan dari total penggunaan energi. Biaya riset dan investasi yang mahal yang menyebabkan harga dari energi terbarukan tidak bisa bersaing dengan harga energi fosil bersubsidi, kerap dituding sebagai biang keladi pengembangan energi ini berjalan lambat. Belum lagi harga minyak yang rendah saat ini, akibat peningkatan produksi shale oil besar-besaran. Di sisi lain, jika Indonesia tidak mulai mengembangkannya, ancaman krisis energi segera muncul di depan mata.

Sumber energi baru dan yang terbarukan di masa mendatang akan semakin mempunyai peran yang sangat penting dalam memenuhi kebutuhan energi. Hal ini disebabkan oleh penggunaan bahan bakar fosil untuk pembangkit - pembangkit listrik konvensional dalam jangka waktu yang panjang akan menguras sumber minyak bumi, gas dan batu bara yang cadangannya semakin lama semakin menipis [3] sehingga dilakukan banyak penelitian pada perguruan tinggi. Indonesia sebagai negara yang berada di garis khatulistiwa memiliki potensi yang sangat besar dalam hal pemanfaatan sumber energi terbarukan berupa energi surya. Wilayah sebelah barat Indonesia terpapar energi surya sekitar 4,5 kWh/m²/hari dengan deviasi bulanan sebesar 10%. Sedangkan untuk wilayah Indonesia sebelah timur memiliki paparan energi surya hingga 5,1 kWh/m²/hari dengan deviasi

bulanan sekitar 9%[4]. Fakta tersebut menunjukkan bahwa penerapan teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) untuk memanfaatkan potensi energi surya yang tersedia merupakan solusi yang tepat [5].

Departemen Teknik Instrumentasi sebagai salah satu departemen diploma III juga sedang mengembangkan teknologi energi baru terbarukan dengan melakukan penelitian *Smart Classroom*. *Smart Classroom* ini merupakan sebuah ruang kelas yang pintar, pintar disini dalam artian lebih canggih atau modern, yang mana manajemen daya ruang kelas ini akan di suplai oleh energi baru terbarukan dan tidak bergantung pada listrik dari PLN. Adapun untuk yaitu memiliki total daya sebesar 4400 Watt 220 V 2x10 A dengan rincian 36 Watt lampu sebanyak 10 buah totalnya 360 Watt, 2525 Watt AC 4 buah, dan 648 Watt proyektor sebanyak 1 buah. Salah satu sumber tenaga dari smart classroom ini adalah photovoltaic, dalam hal ini akan direalisasikan 500 Watt 220V 3A ini untuk menganalisis hasil rancangan panel surya sistem pembangkit listrik tenaga surya pada smart classroom agar mendapatkan rancangan yang sesuai dan efisien.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka permasalahan yang terdapat pada tugas akhir ini yaitu bagaimana merancang sistem panel surya dengan daya 4400 Watt 220 V 2x10 A sebagai sumber energi pada *smart classroom*?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari tugas akhir ini berdasarkan rumusan masalah diatas adalah menghasilkan rancangan sistem panel surya dengan daya 4400 220 V 2x10 A sebagai sumber energi pada *smart classroom*.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini yaitu terkait perancangan sistem panel surya yang digunakan untuk menjadi sumber energi pada smart classroom dengan daya 4400 Watt 220 V 2x10 A dengan realisasi 500 Watt 220 V.

1.5 Manfaat

Manfaat dari tugas akhir ini ini adalah untuk membantu meminimalkan penggunaan energi fosil yang sampai saat ini masih

dominan digunakan dibandingkan energi terbarukan, dengan cara melakukan simulasi agar lebih efisien dalam melakukan suatu eksperimen nantinya. Manfaat lain dari penelitian ini adalah agar intensitas matahari dapat kita manfaatkan sehubungan dengan keadaan Indonesia yang berada dekat dengan garis khatulistiwa selain itu buku tugas akhir ini juga dimanfaatkan sebagai panduan jika ingin menambah realisasi.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

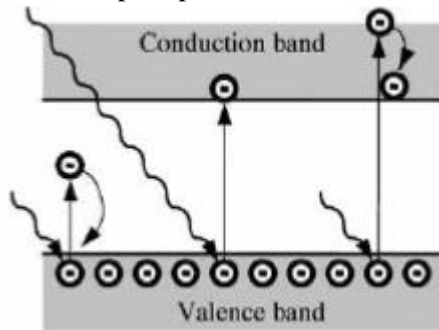
BAB II DASAR TEORI

2.1 Photovoltaic (PV)

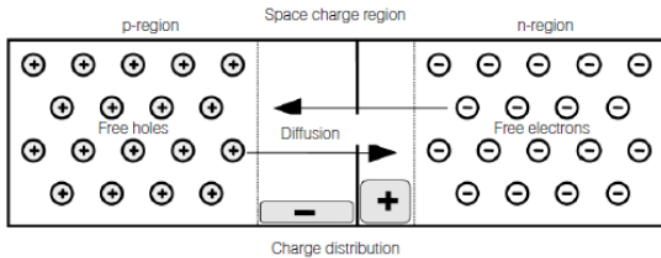
Photovoltaic (PV) merupakan sebuah lempengan logam yang menghasilkan sejumlah arus listrik jika dikenai cahaya (foton) [6],[7]. Arus yang dihasilkan oleh *photovoltaic* tersebut dipengaruhi oleh beberapa besaran fisis yaitu intensitas cahaya (iradiansi) dan temperature dari modul photovoltaic itu sendiri, semakin besar intensitas cahaya yang mengenai photovoltaic tersebut, maka arus yang dihasilkan akan semakin besar [8]. Cara kerja sel fotovoltaiik identik dengan piranti semikonduktor dioda. Foton-foton yang merupakan partikel cahaya mengenai sel surya dan menabrak elektron. Ketika energi foton tersebut cukup maka elektron akan didorong keluar dari pita valensi (*valence band*) melewati pita pemisah (*band gap*) menuju pita konduksi (conduction band). Perbedaan tegangan pada terminal sel fotovoltaiik akan menyebabkan elektron pada pita konduksi bergerak. Elektron yang bergerak inilah yang disebut sebagai arus listrik. Sistem fotovoltaiik menggunakan semikonduktor. Resistansi listrik spesifik adalah antara $10^{-5} \Omega \text{ m}$ dan $10^7 \Omega \text{ m}$. Band konduksi semikonduktor kosong, seperti pada isolator, namun karena celah pita yang lebih rendah (misalnya $<5 \text{ eV}$), elektron dapat lebih mudah diangkat ke pita konduksi, seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.1. Elevasi elektron ke pita konduksi oleh foton disebut *inner* atau *internal photo effect*[9].

Proses konversi dari energi cahaya matahari menjadi energi listrik pada sel surya terjadi karena adanya cahaya atau foton yang diserap. Seperti halnya yang terjadi pada bahan semikonduktor, perpindahan muatan yang terjadi pada sel surya menggunakan prinsip p-n *junction*. Jika semikonduktor tipe-p dan tipe-n ditempatkan dalam kontak, yang disebut sambungan p-n (*p-n junction*) dibuat. Karena pembawa mayoritas yang berbeda,

elektron akan berdifusi dari daerah n ke daerah p, dan *hole* dari daerah p ke daerah n seperti pada Gambar 2.2



Gambar 2. 1 Perpindahan Elektron [9]



Gambar 2. 2 P-N Junction [9]

2.2 Pemodelan Sel Surya

Penggunaan rangkaian listrik setara memungkinkan untuk membuat model karakteristik sel surya. Metode yang digunakan diimplementasikan pada program MATLAB untuk simulasi. Metode yang sama juga dapat digunakan untuk mensimulasikan modul sel surya.

2.2.1 Model Sel Surya Ideal

Model sel surya ideal merupakan model rangkaian yang mengabaikan adanya hambatan dalam peranti, sehingga arus yang mengalir hanya melalui dioda ideal [10]. Persamaan rapat arus-tegangan (I-V) yang mewakili rangkaian setara ditunjukkan oleh rangkaian di atas adalah:

$$I = I_{ph} - I_d = I_{ph} - I_o \left(e^{\frac{qV}{KT}} - 1 \right) \quad (2.1)$$

Dengan:

I_{ph} : Arus keluaran sel surya (A)

I_d : Arus dioda (A)

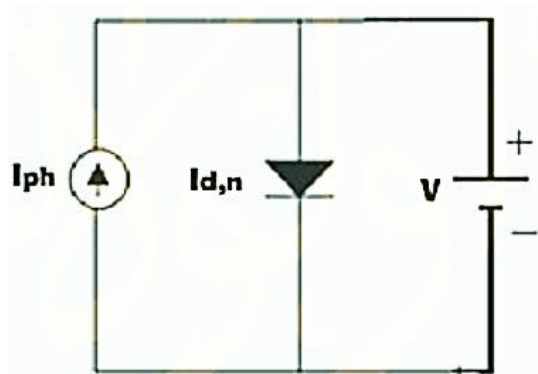
I_o : Arus saturasi sel surya (A)

q : Muatan elektron ($1,6 \times 10^{-19}$ coulomb)

V : Tegangan (V)

K : Konstanta Boltzman ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K)

T : Suhu (kelvin)



Gambar 2. 3 Rangkaian setara sel surya ideal

Persamaan rapat arus-tegangan (I-V) yang mewakili rangkaian setara ditunjukkan oleh rangkaian di atas adalah:

$$I = I_{ph} - I_d = I_{ph} - I_o \left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right) \quad (2.2)$$

Dengan:

I_{ph} : Arus keluaran sel surya (A)

I_d : Arus dioda (A)

I_o : Arus saturasi sel surya (A)

q : Muatan elektron ($1,6 \times 10^{-19}$ coulomb)

V : Tegangan (V)

K : Konstanta Boltzman ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K)

T : Suhu (kelvin)

Arus saturasi sel surya pada dioda (I_o) dalam keadaan konstan di bawah suhu yang konstant dan ditemukan dengan

menetapkan sirkuit terbuka. Menggunakan persamaan (2.2) untuk menentukan nilai I_0 dengan $I=0$ (tidak ada arus yang keluar):

$$\begin{aligned}
 0 &= I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right) \\
 I_{ph} &= I_0 \left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right) \\
 I_0 &= \frac{I_{ph}}{\left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right)} \quad (2.3)
 \end{aligned}$$

Jika nilai I_{sc} dapat diketahui dari *datasheet*, di bawah kondisi *standart* $G_0 = 1000\text{W/m}^2$ pada massa udara (AM) = 1,5, G (W/m²), diberikan dengan:

$$I_{sc} |_G = \left(\frac{G}{G_0} \right) I_{sc} |_{G_0} \quad (2.4)$$

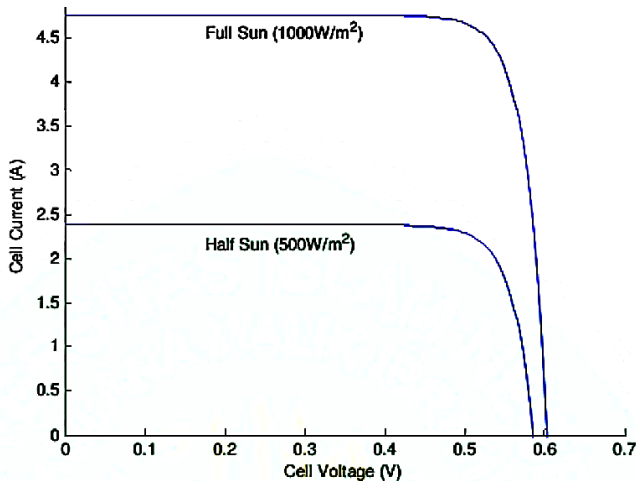
Dengan:

$I_{sc} |_G$:Arus hubung singkat saat kondisi radiasi (A)

G :Arus hubung singkat saat kondisi radiasi standart (A)

G_0 :Kondisi radiasi (W/m²)

$I_{sc} |_{G_0}$:Kondisi radiasi standart (W/m²)



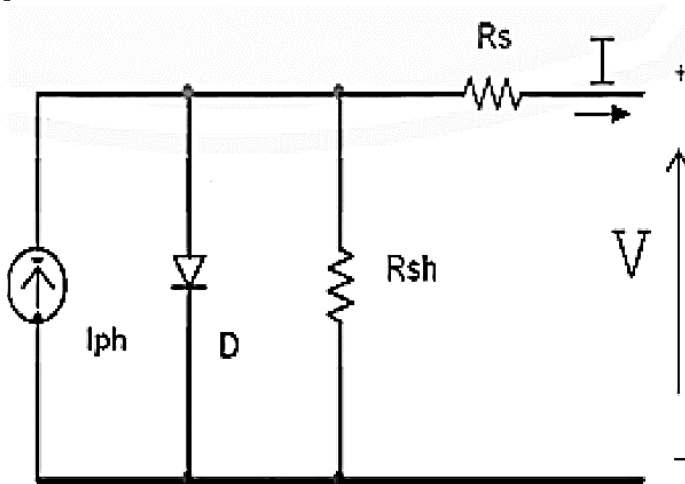
Gambar 2. 4 Kurva I-V Sel Surya Ideal

Gambar 2.4 menunjukkan bahwa hubungan arus dan tegangan (sering disebut sebagai kurva I-V) dari sel surya yang ideal disimulasikan dengan MATLAB menggunakan model

rangkaian sederhana setara. *Output* sel surya terbatas oleh arus sel dan tegangan sel, dan hanya dapat menghasilkan tenaga dengan setiap kombinasi dari arus dan tegangan pada kurva I-V. Hal ini juga menunjukkan bahwa saat ini sel sebanding dengan radiasi tersebut [11]

2.2.2 Model Sel Surya Satu Dioda

Untuk model sel surya ideal satu dioda, ditambahkan adanya hambatan pada rangkaian. Hambatan yang diterapkan pada rangkaian dibagi menjadi dua hambatan yaitu hambatan seri dan hambatan paralel seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.10 [12] :



Gambar 2. 5 Rangkaian Sel Surya Satu Dioda

R_s adalah hambatan yang merepresentasikan sebagai daya yang terbuang (*losses*) karena resistivitas bahan dan R_{sh} adalah hambatan yang merepresentasikan daya yang terbuang karena adanya hubung singkat pada daerah emitor atau karena adanya *shunt* sepanjang batasan sel. Keluaran dari sel surya ini adalah arus I_{pv} dan tegangan V_{pv} .

$$I = I_{ph} - I_d - I_{sh} \quad (2.5)$$

Dengan :

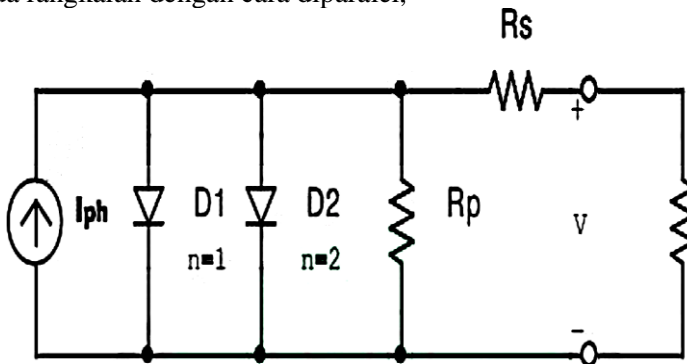
$$\begin{aligned}
 I_{ph} &= [I_{sc} + K(T - T_0)] \left(\frac{G}{G_0}\right) \\
 I_d &= I_0 \left[\exp\left(\frac{V_d}{nKT/q}\right) - 1 \right] = I_0 \left[\exp\left(\frac{V_d}{V_t}\right) - 1 \right] \\
 I_0 &= I_{0,r} \left(\frac{T}{T_0}\right)^3 \exp\left[\frac{qE_g}{nk} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T}\right)\right] \\
 E_g &= E_{g0} - \frac{\alpha T^2}{T + \beta} \\
 V_t &= \frac{nKT}{q} \\
 T_0 &= (T_{01} - 32) + 273 \\
 V_{sh} &= V_d \text{ dan } V_d = V + IR_s \\
 I_{sh} &= \frac{V_{sh}}{R_{sh}} = \frac{V_d}{R_{sh}} = \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \tag{2.6}
 \end{aligned}$$

Dengan :

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp\left(\frac{V_d}{nKT/q}\right) - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \tag{2.7}$$

2.2.3 Model Sel Surya Dua Dioda

Untuk model sel surya ideal dua dioda, ditambahkan dioda pada rangkaian dengan cara diparalel,

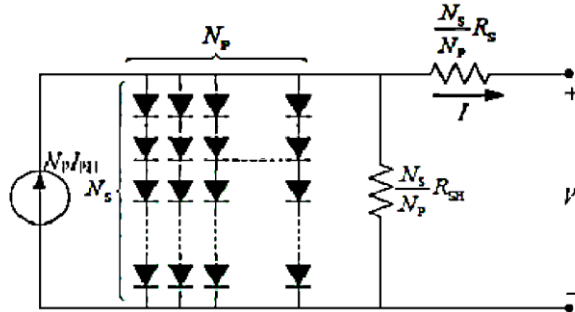


Gambar 2. 6 Rangkaian Sel Surya Satu Dioda

Hubungan arus-tegangan dari sel surya dapat ditulis sebagai berikut:

$$I = I_{ph} - I_{01} \left[\exp \left(\frac{V_d}{KT/q} \right) - 1 \right] - I_{02} \left[\exp \left(\frac{V_d}{2KT/q} \right) - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (2.8)$$

2.2.4 Model Sel Surya Banyak Dioda



Gambar 2. 7 Rangkaian Sel Surya Banyak Dioda

Daya yang dihasilkan oleh satu sel surya saja tidaklah cukup besar. Oleh karena itu, biasanya sel-sel surya digabungkan dalam suatu modul sel surya agar mampu menghasilkan daya yang cukup besar dan dapat digunakan. Suatu modul sel surya terdiri dari beberapa sel surya yang dihubungkan baik secara seri ataupun paralel tergantung pada konfigurasi yang digunakan. Bila terdapat sejumlah N_p sel surya yang terpasang paralel dan sejumlah N_s sel surya tersebut seperti pada gambar [13] :

Memiliki persamaan karakteristik seperti pada persamaan:

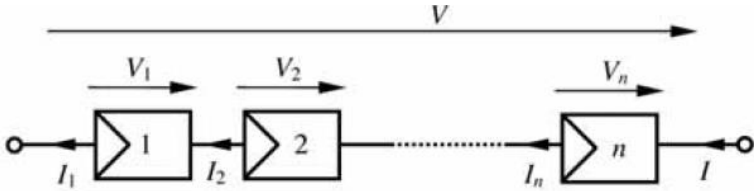
$$I = N_p I_{ph} - N_p I_0 \left[\exp \left(\frac{V + \frac{N_s R_s}{N_p}}{\frac{N_s n K T}{q}} \right) - 1 \right] - \frac{V + \frac{N_s R_s}{N_p}}{R_{sh}}$$

$$I = N_p I_{ph} - N_p I_0 \left[\exp \left(\frac{\frac{V}{N_s} + \frac{I R_s}{N_p}}{\frac{n K T}{q}} \right) - 1 \right] - \frac{\frac{V N_p}{N_s} + I R_s}{R_{sh}} \quad (2.9)$$

2.3 Modul Photovoltaic

Sel surya biasanya tidak dioperasikan secara terpisah karena voltase rendahnya. Pada modul fotovoltaik, sel sebagian besar dihubungkan secara seri. Sambungan dari modul ini secara seri, kombinasi paralel atau seri-paralel membangun sistem fotovoltaik.

a. Sambungan seri



Gambar 2. 8 Sambungan Seri Fotovoltaik

Arus I_i yang melalui semua sel i dari sambungan seri dari n sel adalah sama, berdasarkan hukum Kirchoff. Sedangkan tegangan sel V_i ditambahkan untuk mendapatkan tegangan keseluruhan modul.

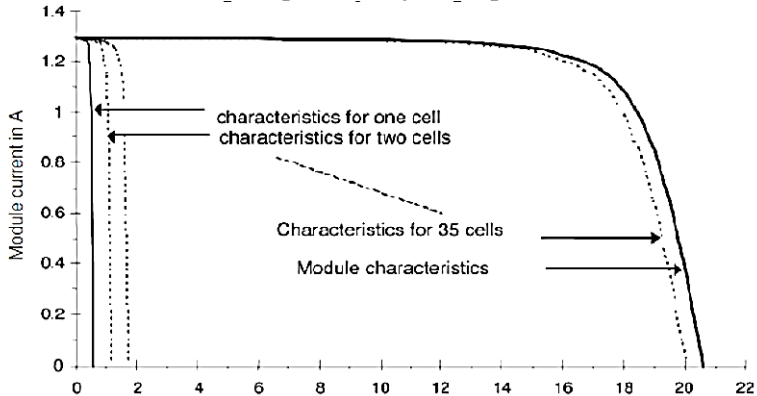
$$I = I_{1c} = I_2 = \dots = I_n \quad (2.10)$$

$$V = \sum_{i=1}^n V_i \quad (2.11)$$

Dengan diberikan semua sel adalah sama dan pada kondisi irradiasi yang sama serta temperatur yang sama, maka total tegangan dapat dinyatakan sebagai

$$V = n \cdot V_i \quad (2.9)$$

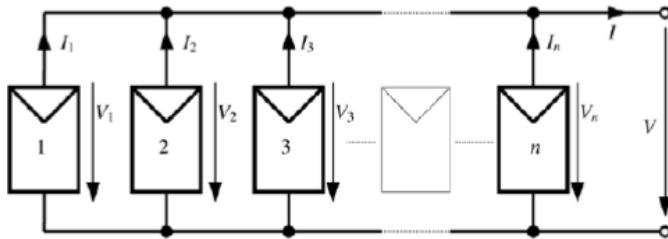
Karakteristik sel tunggal memberi kemudahan karakteristik I-V untuk koneksi seri seperti ditunjukkan pada Gambar 2.5



Gambar 2. 9 Konstruksi Karakteristik Modul dengan 36 Sel (Irradiasi $G = 400 \text{ W/m}^2$, $T = 300\text{K}$)

b. Sambungan paralel

Sambungan paralel dari sel surya sangat memungkinkan. Sambungan paralel kurang sering digunakan daripada koneksi seri karena kenaikan arus terkait menghasilkan kerugian transmisi yang lebih tinggi. Sel surya yang terhubung paralel seperti ditunjukkan pada Gambar 2.7 semua memiliki tegangan yang sama V . Arus sel i ditambahkan untuk mendapatkan arus keseluruhan I [9]:

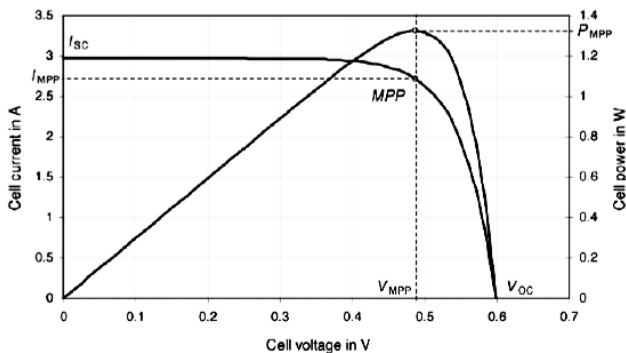


Gambar 2. 10 Sambungan Paralel dari n Sel Surya

$$V = V_1 = V_2 = \dots = V_n \quad (2.10)$$

$$I = \sum_{i=1}^n I_i \quad (2.11)$$

2.4 Performansi Panel Surya



Gambar 2. 11 Karakteristik I-V dan P-V Sel Surya dengan *Maximum Power Point (MPP)*

Perancangan sistem panel surya perlu dilakukan perhitungan kapasitas panel surya untuk mengetahui banyak modul yang dibutuhkan dengan daya ruangan

$$CPV = \frac{W_h}{Q \times 1/G} \times C_f \quad (2.12)$$

Keterangan:

CPV= Kapasitas Fotovoltaik (kWp)

W_h = Konsumsi Energi harian (kWh)

Q = Input energi matahari pada PV (kWh/m²/hari)

C_f = Faktor koreksi / *losses*

G = Radiasi matahari pada kondisi standar (1 kW/m)

Selanjutnya hasil dari kapasitas panel surya dimasukan pada persamaan dibawah ini untuk mendapatkan banyak modul yang dibutuhkan system :

$$CPV = \frac{W_h}{W_p \text{ Modul}} \quad (2.13)$$

Sel surya menghasilkan daya maksimum pada tegangan tertentu. Gambar 2.14 menunjukkan karakteristik tegangan-arus dan juga tegangan-daya. Ini menunjukkan dengan jelas bahwa kurva daya memiliki titik daya maksimal. Titik ini disebut *Maximum Power Point* (MPP).

Tegangan pada MPP, V_{MPP} , kurang dari tegangan rangkaian terbuka V_{OC} . Arus MPP, I_{MPP} , lebih rendah dari arus rangkaian pendek I_{SC} . Arus dan tegangan MPP memiliki hubungan yang sama dengan irradiansi dan temperatur pada saat arus rangkaian pendek dan tegangan rangkaian terbuka. Daya maksimum P_{MPP} dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$P_{MPP} = V_{MPP} \cdot I_{MPP} < V_{OC} \cdot I_{SC} \quad (2.14)$$

Untuk memungkinkan perbandingan antara sel surya dan modul, daya MPP diukur berdasarkan kondisi uji standar (*Standart Test Conditions, STC*) ($E = 1000 \text{ W/m}^2$, $\theta = 25^\circ \text{ C}$, AM 1.5). Daya yang dihasilkan dari modul surya di bawah kondisi cuaca sebenarnya biasanya lebih rendah. Oleh karena itu daya STC memiliki unit W_p (Wattpeak).

Mengingat ketergantungan irradiansi, arus mendominasi perilaku perangkat, sehingga daya MPP hampir proporsional terhadap irradiansi G . Parameter lainnya adalah faktor pengisian (*Fill Factor*, FF) dengan definisi:

$$FF = \frac{P_{mpp}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} = \frac{V_{mpp} \cdot I_{mpp}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \quad (2.15)$$

Faktor pengisian adalah kriteria kualitas sel surya yang menggambarkan seberapa baik kurva I-V sesuai dengan persegi panjang V_{oc} dan I_{sc} . Nilai selalu lebih kecil dari 1 dan biasanya antara 0,75 dan 0,85. Bersama-sama, daya MPP, P_{MPP} , irradiansi G dan area sel surya, A , memberikan efisiensi sel surya[9] η :

$$\eta = \frac{P_{mpp}}{G \cdot A} = \frac{FF \cdot V_{oc} \cdot I_{sc}}{G \cdot A} \quad (2.16)$$

2.5 Solar Charge Controller (SCC) atau Battery Charge Controller (BCC)

Charge controller berfungsi memastikan agar baterai tidak mengalami kelebihan pelepasan muatan (*over discharge*) atau kelebihan pengisian muatan (*over charge*) yang dapat mengurangi umur baterai. *Charge controller* mampu menjaga tegangan dan arus keluar masuk baterai sesuai kondisi baterai.

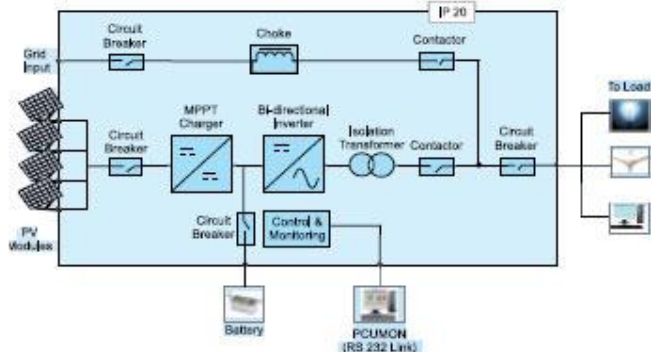
Charge controller sering disebut dengan *solar charge controller* atau *battery charge controller*. Jika *charge controller* menghubungkan panel surya ke baterai atau peralatan lainnya seperti *inverter* maka disebut *solar charge controller*. Jika bagian ini terhubung dari *inverter* ke baterai lazim disebut *battery charge controller*, namun hal tersebut tidak baku. Walaupun kedua alat ini berfungsi sama, berbeda dengan SCC, BCC tidak dilengkapi oleh PWM-MPPT (*Pulse Width Modulation-Maximum Power Point Tracking*), yaitu kemampuan untuk mendapatkan daya listrik dari panel surya pada titik maksimumnya. Untuk menghitung kapasitas *solar charger controller* menggunakan rumus sebagai berikut :

$$C_{scc} = n_{string} \times I_{sc} \times C_f \quad (2.17)$$

2.6 Inverter

Inverter adalah “jantung” dalam sistem suatu PLTS. *Inverter* berfungsi mengubah arus searah (DC) yang dihasilkan oleh panel surya menjadi arus bolak balik (AC). Tegangan DC dari panel surya cenderung tidak konstan sesuai dengan tingkat radiasi matahari. Tegangan masukan DC yang tidak konstan ini akan diubah oleh inverter menjadi tegangan AC yang konstan yang siap digunakan atau disambungkan pada sistem yang ada, misalnya jaringan PLN. Parameter tegangan dan arus pada keluaran *inverter* pada umumnya sudah disesuaikan dengan standar baku nasional/internasional.

Pemilihan jenis *inverter* dalam merencanakan PLTS disesuaikan dengan desain PLTS yang akan dibuat [14]. Jenis inverter untuk PLTS disesuaikan apakah PLTS *On Grid* atau *Off Grid* atau Hibrid. Inverter untuk sistem *On Grid* (*On Grid Inverter*) harus memiliki kemampuan melepaskan hubungan (*islanding system*) saat grid kehilangan tegangan. Inverter untuk sistem PLTS hibrid harus mampu mengubah arus dari kedua arah yaitu dari DC ke AC dan sebaliknya dari AC ke DC. Oleh karena itu *inverter* ini lebih populer disebut *bi-directional inverter*.



Gambar 2.12 *Bidirectional Inverter*

Bi-directional Inverter atau *inverter 2 arah* berfungsi untuk charger baterai AC-DC bila mendeteksi ketersediaan suplai AC dan mampu mengubah mode operasional DC-AC. Kapasitas daya input inverter harus lebih besar 25 – 30% dari daya total beban, hal ini

untuk faktor keamanan *inverter* terhadap arus start motor-motor induksi pada AC, pompa air dan lain sebagainya. [15]

2.7 Baterai

Baterai berfungsi menyimpan arus listrik yang dihasilkan oleh modul surya sebelum dimanfaatkan untuk menggerakkan beban, selama waktu adanya matahari, array panel menghasilkan daya listrik. Pada PLTS, baterai yang berfungsi untuk penyimpanan (*storage*) juga berbeda dari baterai untuk *buffer* atau stabilitas. Baterai untuk pemakaian PLTS lazim dikenal dan menggunakan *deep cycle lead acid*, artinya muatan baterai jenis ini dapat dikeluarkan (*discharge*) secara terus menerus secara maksimal mencapai kapasitas nominal.

Depth of Discharge (DoD) adalah penentuan batas kedalaman pengeluaran daya (*discharge*) yang terdapat pada aki tersebut. Kedalaman pengeluaran DoD 100%, pabrik baterai selalu memberi rating DoD baterai 80%, yang berarti bahwa hanya 80% dari energi yang tersedia yang dikeluarkan dan 20% tetap di cadangan. Waktu pengisian aki selama 12 s/d 16 jam.

$$C_{bat} = \frac{D_a \times W_h}{V_n \times DoD \times E_{bat}} \quad (2.18)$$

2.8 Aplikasi Photovoltaic Pada Bangunan

Aplikasi Modul-modul PV pada sebuah rumah sangat sederhana dan mudah dipasang, hanya dibutuhkan extra “ruang utilitas” untuk penempatan/menyimpan alat “regulator”, *inverter*, *baterai* dan lainnya. (lihat skema dibawah ini)

Deretan Modul PV integrasi dengan struktur perumahan secara arsitektur pada aplikasi :

- a. atap (miring-pelana, perisai atau datar).
- b. *lisplank overstack* (*leufel*, *canopy*).
- c. dinding *facade*

Sedangkan agar dapat memperoleh energi optimum dari sisi perletakkan modul/deretan PV baik pada unit perumahan maupun bangunan komersial, maka ada 5 cara perletakkan deretan/modul PV:

1. *Fixed Array*
2. *Seasonally Adjusted Tilting*
3. *One axis tracking*
4. *Two axis tracking*
5. *Concentrator Arrays*

1. Fixed Array

Deretan modul PV diletakkan pada struktur penyanggah PV (rangka tersendiri) atau menyatu ke struktur atap. Pemasangan secara “PV Tetap” sering dilakukan karena paling mudah dalam pelaksanaan dan biaya sedikit. Perhitungan sudut kemiringan (*tilt angle*) pada suatu lokasi berdasarkan “*Latitude*” optimum pada posisi 21 Maret & 21 September (*solstices*) yaitu :

“Latitude Angle Location + 23 derajat” [16]

Padahal sudut “altitude” dari matahari berubah secara konstan dalam hitungan hari dalam setahun, maka sudut deklinasi harus diperhitungkan untuk posisi matahari, yaitu :

posisi tepat-->

desember 21 = - 23.45 derajat

maret 21 = 0 derajat

juni 21 = + 23.45 derajat

september 21 = 0 derajat

maka untuk “*Tilt Angle*” berdasarkan sudut altitude matahari pada suatu lokasi dalam suatu waktu

**Altitude Angle = 90 derajat - latitude angle
+ declination angle [17]**

Atau untuk suatu lokasi yang energi radiasi hampir konstan dalam setahun (sangat dekat ke Equator) maka dapat juga pakai rumus ini untuk “*Tilt Angle*” optimum fixed arrays, :

Latitude + 15 derajat [17]

Disamping menemukan “*tilt angle*” optimum, maka deretan modul-modul PV tetap diarahkan ke Utara untuk lokasi di latitude Selatan, dan sebaliknya.

Ada 2 macam pemasangan “*Roof-Mounted Photovoltaics Arrays/Modules*” pada atap rumah, yaitu :

1. *Shingle Module*

Pada gambar 2.14 deretan modul-modul PV dipasang dan dikaitkan dengan besi/rangka PV diatas penutup atap “sirap atau asbes gelombang”, genteng metal juga dimungkinkan karena cukup datar untuk perletakan rangka PV .

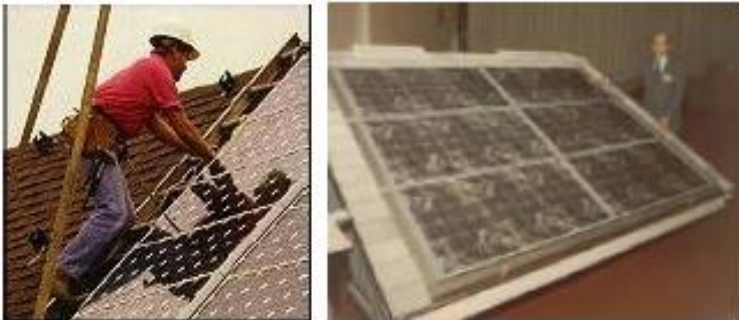


Sumber, Home Power Magazine # 64, p.38

Gambar 2. 13 *Shingle Modules PV*

2. *Integral Roof Modules*

Deretan modul PV dipasang secara integrasi dengan struktur rangka atap (dibutuhkan gording dan jurai); modul PV sebagai pengganti sebagian atau seluruh penutup atap sesuai luasan modul PV yang dikehendaki. Sistem modul PV integrasi dengan atap harus kedap air hujan baik pada deretan modul PV sendiri maupun pada hubungan modul PV dengan penutup atap lainnya.



Sumber : www6.50megs.com/pvroofs/

Gambar 2. 14 *Integral Roof Modules PV*

2. *Seasonally Adjusted Tilting*

Deretan modul PV dapat dirubah secara manual sesuai waktu (Maret/Juni/Sept./Des.) yang dikehendaki untuk pengoptimalan “tilt angle”. Untuk lokasi yang terletak pada “*Midlatitude*” dapat mengubah sudut modul PV setiap 3 bulan, dan akan meningkatkan produksi energi surya $\pm 5\%$.

3. *One Axis Tracking*

Panel modul PV dapat mengikuti lintasan pergerakan matahari dari Timur ke Barat secara otomatis; akan mendapatkan efisiensi $\pm 20\%$ dibandingkan *Fixed Arrays*.

4. *Two Axis Tracking*

Panel modul PV dapat mengikuti lintasan pergerakan matahari dari Timur ke Barat serta orientasi Utara-Selatan secara otomatis; akan mendapatkan efisiensi $\pm 40\%$ dibandingkan *Fixed Arrays*.

5. *Concentrator Arrays*

Deretan lensa optik dan cermin yang memfokuskan pada suatu area Sel Surya (PV) efisiensi tinggi.

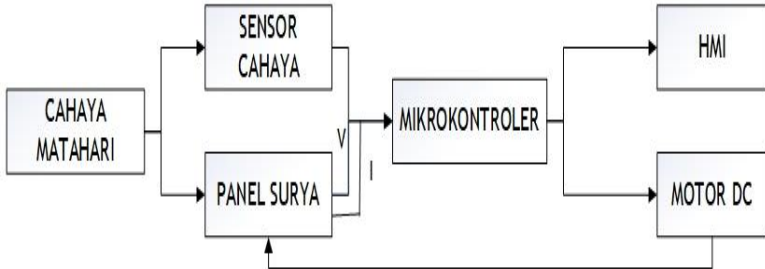
2.9 PSIM

PSIM adalah paket perangkat lunak simulasi sirkuit elektronik, yang dirancang khusus untuk digunakan dalam elektronika daya dan simulasi penggerak motor, tetapi dapat digunakan untuk mensimulasikan sirkuit elektronik apa pun. Dikembangkan oleh *Powersim*. PSIM menyediakan antarmuka penangkapan skematik dan penampil bentuk gelombang Simview. PSIM memiliki beberapa modul yang memperluas fungsinya ke dalam area tertentu dari rangkaian simulasi dan desain termasuk: teori kontrol, motor listrik, *photovoltaics* dan turbin angin PSIM digunakan oleh industri untuk penelitian dan pengembangan produk dan digunakan oleh lembaga pendidikan untuk penelitian dan pengajaran.[18]

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Penelitian

Pada perancangan tugas akhir ini memiliki keterkaitan dengan sistem yang lainnya. Adapun blok diagram sistem keseluruhan alat adalah sebagai berikut :



Gambar 3. 1 Blok Diagram Keseluruhan Sistem

Dari blok diagram keseluruhan alat diatas terdapat sistem panel surya sebagai bagian yang akan dibahas, dimana bagian tersebut merupakan perancangan sistem modul panel surya sebagai sumber untuk memenuhi kebutuhan energi dalam *Smart Classroom*. Adapun pengerjaan alat yang nantinya disederhanakan dalam bentuk diagram alir seperti pada Gambar 3.2 dijelaskan dalam tahapan-tahapan sebagai berikut :

A. Studi Literatur

Penelitian ini dimulai dengan melakukan studi literatur. Literatur yang digunakan berupa buku teks, paper, prosiding, dan laman internet dengan topik seputar fotovoltaik.

B. Perancangan Sistem Panel Surya

Tahap penelitian dilanjutkan dengan menghitung luas, jumlah komponen yang terdapat pada ruangan serta jumlah daya yang dibutuhkan.

C. Pemilihan dan Perhitungan Jumlah Panel Surya

Penelitian dilanjutkan dengan pemilihan modul panel surya yang tepat sesuai dengan kebutuhan dan melakukan perhitungan jumlah modul panel surya

D. Menentukan *Tilt Angle*

Tahap selanjutnya merupakan menentukan perhitungan orientasi sudut matahari yang akan digunakan untuk acuan peletakan modul panel surya.

E. Menentukan Spesifikasi Modul Panel Surya

Tahap penelitian dilanjutkan dengan menentukan spesifikasi sistem berupa spesifikasi modul fotovoltaik (daya maksimum PMPP, arus maksimum IMPP, tegangan maksimum VMPP, arus hubung singkat ISC, dan tegangan rangkaian terbuka VOC).

F. Pemodelan Modul Panel Surya

Penelitian dilanjutkan dengan memodelkan sistem berupa pemodelan modul fotovoltaik. Dengan melakukan pemodelan dapat diketahui karakteristik modul fotovoltaik.

G. Perancangan Program Pemodelan Modul Panel Surya

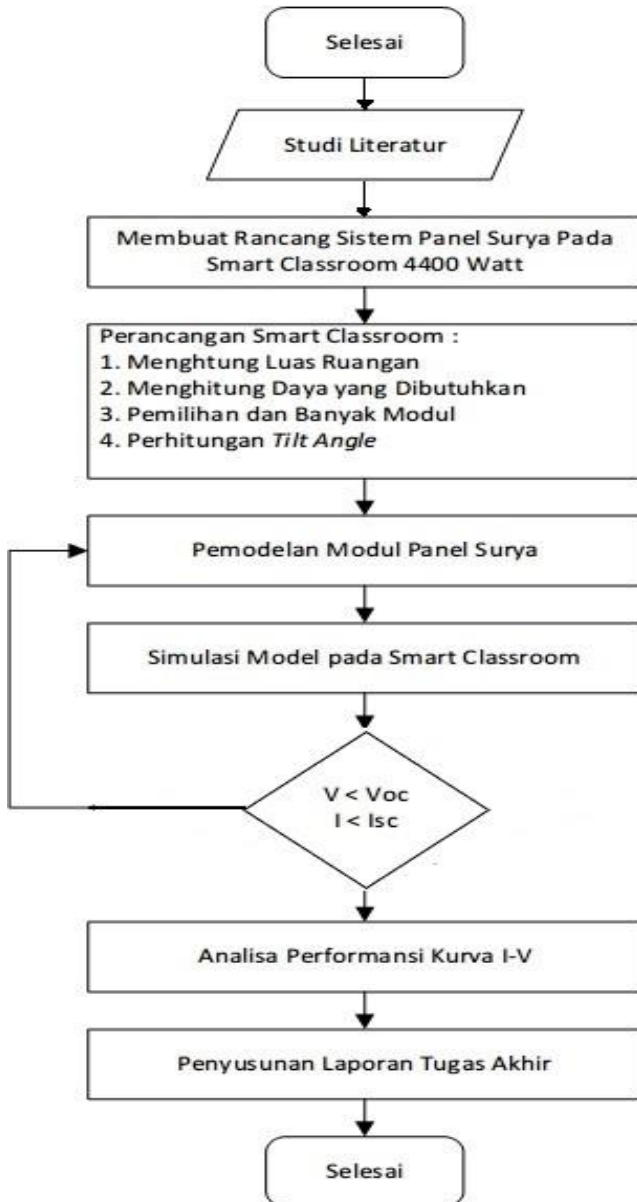
Berdasarkan karakteristik yang diperoleh dari tahap sebelumnya. Perancangan program meliputi penentuan variabel input dan output; perolehan dan pemilahan pasangan data input-output.

H. Simulasi Pemodelan Modul Panel Surya

Tahap simulasi perlu dilakukan untuk mengetahui performansi sistem panel surya yang telah dirancang. Apabila unjuk kerja sistem sudah sesuai dengan kriteria yang diharapkan maka proses akuisisi data mulai dilakukan. Simulasi dilakukan menggunakan bantuan PSIM.

I. Analisa Performansi Sistem Panel Surya

Data yang telah diperoleh dari proses sebelumnya kemudian diolah dan dianalisis untuk mengetahui performansi sistem panel surya melalui kurva I-V karakteristik modul panel surya yang dihasilkan. Selanjutnya hasil penelitian disusun dan dilaporkan dalam bentuk buku laporan Tugas Akhir.



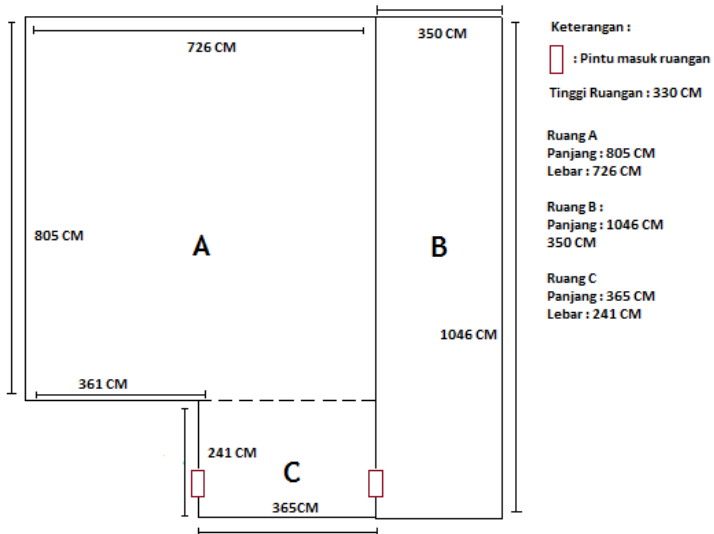
Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian

3.2 Perancangan Sistem

Pada perancangan sistem ini dijelaskan dalam poin-poin sebagai berikut.

3.2.1 Perhitungan Luas Ruangan, Jumlah Komponen pada Ruangan serta Jumlah Total Daya yang Dibutuhkan

Langkah awal dalam perancangan sistem panel surya ini adalah mengukur luas permukaan ruangan yang akan digunakan sebagai *smart classroom*. Gambar 3.3 menunjukkan ukuran panjang, lebar dan tinggi *smart classroom*.



Gambar 3. 3 Luas Ruangan

Dari gambar diatas dapat dihitung luas permukaan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$L_p = 2 (p.l) + 2 (p.t) + 2 (l.t) \quad (3.1)$$

Setelah melakukan perhitungan luas permukaan ruangan dengan menggunakan rumus luas permukaan balok selanjutnya dilakukan perhitungan jumlah komponen-komponen yang membutuhkan energi listrik dengan rincian seperti Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Piranti yang Membutuhkan Daya Pada *Smart Classroom*

Peralatan	Jumlah
Pendingin ruangan	2
Lampu TL	10
Proyektor	1

Jumlah total konsumsi daya / jam perlu ditambahkan 20% untuk save margin dimana listrik yang digunakan oleh perangkat selain panel surya, yakni *inverter* sebagai pengubah arus DC (searah) menjadi AC (bolak - balik) (karena pada umumnya peralatan rumah tangga menggunakan arus AC), dan *controller* (sebagai pengatur arus) yakni menutup arus ke baterai jika tegangan sudah berlebih di baterai dan memberhentikan pengambilan arus dari baterai jika baterai sudah hampir kosong. Pada penelitian ini pemilihan modul panel surya menggunakan dua modul yang berbeda yaitu 200 Wp untuk *Fixed Array* dan 100 Wp untuk *Two Axis Tracking*. Lalu dihitung kebutuhan kapasitas (kWp) panel surya ditentukan oleh besar energi (kWh) yang dibutuhkan beban dalam satu periode dan tingkat radiasi matahari di lokasi. Beberapa faktor dapat mempengaruhi efisiensi panel seperti temperatur, koneksi kabel, *inverter*, baterai, dan lain-lain [9]. Kapasitas fotovoltaik ditentukan berdasarkan spesifikasi beban harian, dengan menggunakan rumus 2.12 dapat ditentukan kapasitas PV sebagai berikut

Selanjutnya berdasarkan dari rumus-rumus diatas maka didapatkan rumus untuk menghitung jumlah banyak modul panel surya yang dibutuhkan mengacu pada persamaan 2.13

Dimana Wp modul adalah pemilihan kapasitas watt peak modul yang akan digunakan pada system. Umumnya sistem panel surya dilengkapi dengan baterai penyimpanan (aki) untuk menyediakan energi pada beban ketika beroperasi pada malam hari atau pada waktu cahaya matahari kurang. Penentuan kapasitas

battery dapat menggunakan rumus yang mengacu pada persamaan 2.18

Dimana C_{bat} adalah kapasitas baterai untuk menyimpan energi listrik dengan satuan *Ampere Hour* (Ah), W_h konsumsi energi harian yang dibutuhkan dan D_a adalah waktu autonomi atau waktu cadangan hari tanpa matahari. V_n adalah tegangan nominal dari baterai, dan DoD adalah *depth of discharge*. Karena umumnya baterai mempunyai kemampuan sampai 80%, maka kapasitas minimum baterai yang akan dipilih harus dibagi lagi dengan faktor 0,8.

Kapasitas *Solar Charger Controller* untuk mengatur *input* dan *output* dari panel surya ke baterai. Berdasarkan spesifikasi panel surya adalah menggunakan persamaan 2.17

Kapasitas inverter ditentukan berdasarkan kebutuhan daya puncak yang terjadi pada beban. *Rating inverter* harus lebih besar 25 – 30% dari daya total beban.

3.2.2 Perhitungan Tilt Angle dan Spesifikasi Panel Surya

Pada penelitian ini terdapat dua cara perletakan deretan modul panel surya yaitu *Fixed Array* dan *Two Axis Tracking*.

A. *Fixed array*

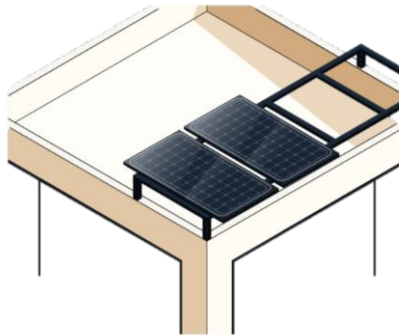
Tabel 3. 2 Spesifikasi Panel Surya 200 Wp

Module Type	[M]	GH200M72
Power Output	[W]	200
Modul Efficiency	[%]	15.3
V_{mpp}	[V]	37.1
I_{mpp}	[A]	5.4
Voc	[V]	45.3
Isc	[A]	5.7

Fixed Array merupakan deretan modul panel surya yang diletakkan pada struktur penyanggah PV (rangka tersendiri) atau menyatu ke struktur atap. Pada penelitian ini modul surya yang dipilih untuk *fixed array* adalah modul 200 Wp dengan spesifikasi yang ditunjukkan pada tabel 3.2 diatas.

Pemasangan secara “PV Tetap” sering dilakukan karena paling mudah dalam pelaksanaan dan biaya sedikit. Perhitungan sudut kemiringan (*tilt angle*) pada suatu lokasi berdasarkan “*Latitude*” optimum, dimana untuk suatu lokasi yang energi radiasi hampir konstan dalam setahun (sangat dekat ke *Equator*) maka dapat digunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Latitude} + 15^\circ \quad (3.2)$$



Gambar 3. 4 Desain Pemasangan Panel Pada Atap

Disamping menemukan “*tilt angle*” optimum, maka deretan modul-modul panel surya tetap diarahkan ke Utara untuk lokasi di latitude Selatan, dan sebaliknya. Rancangan perletakan pada *fixed array* ditunjukkan pada gambar diatas.

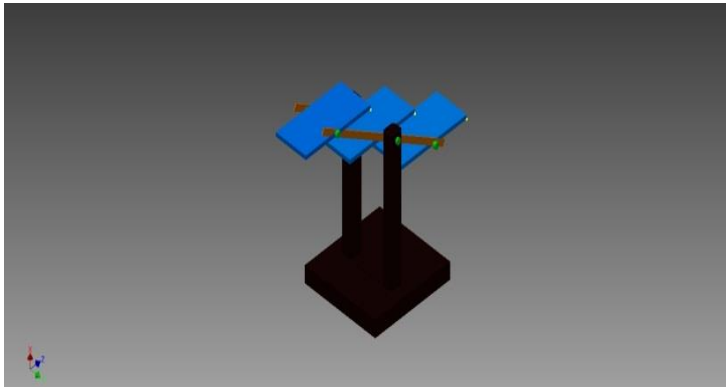
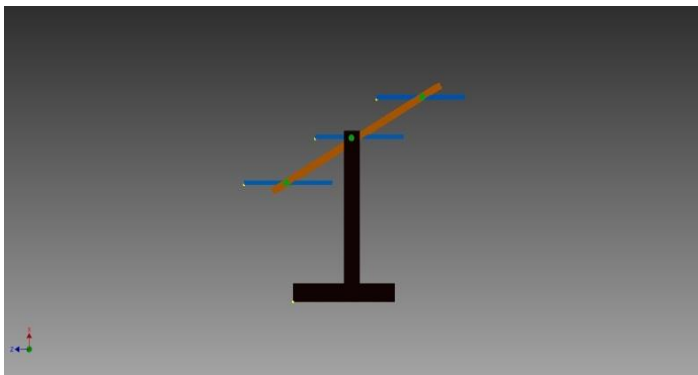
B. Two Axis Tracking

Deretan modul dengan cara *Two Axis Tracking* dapat mengikuti lintasan pergerakan matahari dari Timur ke Barat serta orientasi Utara-Selatan secara otomatis; akan mendapatkan efisiensi $\pm 40\%$ dibandingkan *Fixed Arrays* . Pada penelitian ini modul surya yang dipilih untuk *fixed array* adalah modul 100 Wp dengan spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 3. 3 Spesifikasi Panel Surya 100 Wp

Module Type	[P]	P100E36
Power Output	[W]	100
Modul Efficiency	[%]	17.2
Vmpp	[V]	18.05
Impp	[A]	5.54
Voc	[V]	21.90
Isc	[A]	5.29

Rancangan pada *Two Axis Tracking* ditunjukkan pada gambar 3.7 dan 3.8.

**Gambar 3. 5** *Two Axis Tracking* Tampak Depan**Gambar 3. 6** *Two Axis Tracking* Tampak Samping

3.2.3 Pemodelan Matematis Sistem Panel Surya

Rangkaian sel surya yang digunakan pada model sistem panel surya adalah model sel banyak dioda. Daya yang dihasilkan oleh satu sel surya saja tidaklah cukup besar. Oleh karena itu, biasanya sel-sel surya digabungkan dalam suatu modul sel surya agar mampu menghasilkan daya yang cukup besar dan dapat digunakan. Suatu modul sel surya terdiri dari beberapa sel surya yang dihubungkan baik secara seri ataupun paralel tergantung pada konfigurasi yang digunakan. Bila terdapat sejumlah N_p sel surya yang terpasang paralel dan sejumlah N_s sel surya tersebut merujuk pada gambar 2.7. Ada dua macam hambatan dari pada gambar 2.7, yaitu hambatan seri (R_s) dan hambatan paralel (R_{sh}). R_s merupakan hambatan yang merepresentasikan daya yang terbuang (*losses*) akibat adanya resistivitas bahan. Sedang R_{sh} merupakan hambatan yang merepresentasikan daya yang terbuang akibat adanya hubungan singkat pada daerah emitor atau karena *shunt* sepanjang batasan sel.

Dimana I dan V merupakan arus dan tegangan pada panel *photovoltaics*. n merupakan *ideality factor*, K adalah konstanta Boltzman ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K) dan T merupakan suhu. Sedangkan I_{ph} dan I_0 adalah arus sel surya dan arus saturasi dioda. Kemudian q merupakan muatan elektron ($1,6 \times 10^{-19}$ C). Sedangkan R_s dan R_{sh} merupakan hambatan seri dan hambatan paralel.

3.2.4 Pembuatan Program Simulasi

Persamaan (3.1) kemudian dimasukkan ke dalam simulasi PSIM dengan menggunakan hubungan input/output. Program (*scrip listedt*) yang digunakan dalam PSIM adalah seperti yang tertulis dalam lampiran 1. Simulasi yang dilakukan adalah simulasi performa dengan menggunakan metode panel surya yang kemudian hasilnya dinyatakan dalam bentuk grafik. langkah pertama dalam simulasi ini adalah membangun dan menganalisa sebuah persamaan yang digunakan dalam eksperimen berbahan silicon. Kemudian setelah diketahui output dari persamaan tersebut, dilakukan simulasi performa panel surya dengan menggunakan PSIM. Hasil dari simulasi kemudian dilakukan

pembuktian dengan data hasil eksperimen dari referensi yang digunakan.

3.2.5 Analisis Hasil

Analisis hasil merupakan tahap yang penting dan menentukan hasil. Karena pada tahap ini sistem dikerjakan dan dimanfaatkan sedemikian rupa sampai berhasil menyimpulkan kebenaran yang diinginkan dalam penelitian. Analisis yang dilakukan dalam penelitian ini adalah dengan membuat simulasi dalam bentuk grafik yang kemudian dilanjutkan pembuatan untuk menghasilkan kurva karakteristik I-V. Dari simulasi tersebut, dapat diketahui besar keluaran daya, arus dan tegangan output yang diperoleh dari masukan yang sudah dijelaskan dalam pemodelan. Analisis yang dilakukan meliputi hubungan arus dan tegangan dalam grafik karakteristik I-V. Kemudian membandingkan grafik hasil simulasi dengan hasil eksperimen. Langkah selanjutnya, hasil analisis tersebut dibahas berdasarkan karakteristik-karakteristik yang ada untuk kemudian ditarik suatu kesimpulan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perancangan *Smart Classroom*

Perancangan smart classroom adalah tahapan penelitian yang berisi tentang perhitungan-perhitungan yang dibutuhkan pada perancangan sistem panel surya. Pada perancangan ini terdapat beberapa perhitungan sebagai berikut:

4.1.1 Menghitung Luas Ruangan

Langkah awal dalam perancangan sistem panel surya ini adalah mengukur luas permukaan ruangan yang akan digunakan sebagai *smart classroom*. Gambar 4.1 menunjukkan tiga bagian ruang yang mana (a) ruang A, (b) ruang B, dan (c) ruang C.



(a) Ruang A



(b) Ruang B



(c) Ruang C

Gambar 4. 1 Bagian Ruangan A-300

Dari gambar 3.3 ditunjukkan ukuran ruangan A-300 Teknik Instrumentasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember, dimana terdapat tiga bagian yaitu ruang A, ruang B dan ruang C. Lalu dimasukkan pada persamaan 3.1 sebagai berikut :

1. Ruang A

$$\begin{aligned}
 L_{pA} &= 2 (p. l) + 2 (p. t) + 2 (l. t) \\
 L_{pA} &= 2 (8,05.7,26) + 2 (8,05.3,3) + 2 (7,26.3,3) \\
 L_{pA} &= 2 (58,443) + 2 (26,565) + 2 (23,958) \\
 L_{pA} &= 116,886 + 53,130 + 47,916 \\
 L_{pA} &= 217,932 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

2. Ruang B

$$\begin{aligned}
 L_{pB} &= 2 (p. l) + 2 (p. t) + 2 (l. t) \\
 L_{pB} &= 2 (10,46.3,5) + 2 (10,46.3,3) + 2 (3,5.3,3) \\
 L_{pB} &= 2 (36,61) + 2 (34,518) + 2 (11,55) \\
 L_{pB} &= 73,22 + 69,036 + 23,1 \\
 L_{pB} &= 165,356 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

3. Ruang C

$$L_{pC} = 2 (p. l) + 2 (p. t) + 2 (l. t)$$

$$L_{pC} = 2 (3,65.2,41) + 2 (3,65.3,3) + 2 (2,41.3,3)$$

$$L_{pC} = 2 (8,7965) + 2 (12,045) + 2 (7,953)$$

$$L_{pB} = 17,593 + 24,09 + 15,906$$

$$L_{pB} = 57,589 \text{ m}^2$$

Kemudian dari ketiga perhitungan ruangan A, B dan C diatas didapatkan hasil total penjumlahan ruangan A-300 yaitu

$$L_p = L_{pA} + L_{pB} + L_{pC}$$

$$L_p = 217,932 + 165,356 + 57,589$$

$$L_p = 340,777 \text{ m}^2$$

4.1.2 Menghitung Daya yang Dibutuhkan Ruangan

Berikutnya setelah mendapatkan luas ruangan adalah menghitung daya yang dibutuhkan ruangan yang terdiri dari beberapa komponen dengan perhitungan kebutuhan daya yang ditunjukkan pada tabel 4.1 seperti dibawah ini :

Tabel 4. 1 Estimasi Kebutuhan Daya pada Smart Classroom

Peralatan	Jumlah	Daya Terpasang (Watt)	Jam Terpasang/ Hari (Hour)
Pendingin ruangan A	1	1660	12
Pendingin ruangan B	1	2040	12
Lampu TL	10	36	12
Proyektor	1	648	12
Total Konsumsi Daya / Jam			4.708
Total Konsumsi Daya / Jam + 20% (Wh)			5.649,6
Total Konsumsi Daya / Hari + 20%			67.795,2

Pada penelitian ini pemilihan modul panel surya menggunakan dua modul yang berbeda yaitu 200 Wp untuk *Fixed Array* dan 100 Wp untuk *Two Axis Tracking*. Lalu dihitung

kebutuhan kapasitas (kWp) panel surya ditentukan oleh besar energi (kWh) yang dibutuhkan beban dalam satu periode dan tingkat radiasi matahari di lokasi. Kapasitas fotovoltaik ditentukan berdasarkan spesifikasi beban harian, dengan menggunakan rumus yang mengacu pada persamaan 2.12

Dimana Q merupakan *peak sun hour* yang di dapat berdasarkan data via *NASA Surface meteorology and Solar Energy* yang tertera pada lampiran A.3 , dimana data yang dimasukkan adalah data lokasi teknik instrumentasi, fakultas vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang terletak di kota Surabaya, Provinsi Jawa Timur. Data yang dimasukkan dalam bentuk *longitude* dan *latitude* lokasi, perhatikan tabel 4.2 yang bersumber dari(<https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/retscreen.cgi?email=&step=1&lat=7.2782928&lon=112.7901936&submit=Submit>).

Tabel 4. 2 Data Peak Sun Hour

Bulan	Peak Sun Hour (kWh/m²/day)
Januari	4,77
Februari	4,82
Maret	4,94
April	4,98
Mei	4,92
Juni	4,73
Juli	5,03
Agustus	5,54
September	6,05
Oktober	5,94
Nopember	5,3
Desember	4,99
PSH/Tahun	5,1675

Data yang terdapat terdapat nilai *peak sun hour* selama 12 bulan, terdapat juga data kecepatan angin dominan selama 15 jam

pada ketinggian 10 meter, tiap-tiap bulan selama 1 tahun, lalu data diatas di sederhanakan dalam bentuk tabel yang ditunjukkan pada tabel 4.2 dimana diketahui nilai *peak sun hour* rata-rata dalam setahun adalah $5,1675 \text{ kWh/m}^2/\text{day}$

Selanjutnya nilai dari tabel 4.1 untuk perhitungan estimasi daya ruangan dan nilai dari tabel 4.2 untuk perhitungan *peak sun hour* dimasukan pada persamaan 2.12

$$CPV = \frac{67.795,2}{5,1675 \times 1/1} \times 1,5$$

$$CPV = \frac{101.692,8}{5,1675}$$

$$CPV = 19,679 \text{ kWp}$$

Perhitungan banyaknya modul :

Pada tugas akhir ini akan digunakan dua *Watt Peak* modul panel surya yang berbeda yaitu 100 WP dan 200 WP. Misal yang dimasukkan pada rumus adalah 200 WP dengan menggunakan persamaan 2.13.

$$\text{Jumlah Modul PV} = \frac{CPV}{Wp \text{ modul}}$$

$$\text{Jumlah Modul PV} = \frac{19,679 \text{ kWp}}{200 \text{ Wp}}$$

$$\text{Jumlah Modul PV} = 98,395 \text{ Modul}$$

Maka banyak modul yang digunakan adalah sebanyak 98 modul untuk kebutuhan energi sebesar $19,679 \text{ kWp}$.

Setelah menghitung kapasitas dan banyaknya modul panel yang dibutuhkan pada ruangan kelas dari panel surya, dalam sistem ini juga dibutuhkan komponen-komponen lainnya seperti solar charger *controller*, baterai dan *inverter*.

Baterai yang digunakan adalah merek *Zanetta Battery* 12V 100 Ah, dengan spesifikasi yang ditunjukkan tabel 4.3

Dari tabel spesifikasi 4.3 maka dapat dihitung kapasitas baterai dengan menggunakan persamaan 2.18 :

$$C_{bat} = \frac{3 \times 67.795,2}{12 \times 0,8 \times 0,6}$$

$$C_{bat} = \frac{203.385,6}{5,76}$$

$$C_{bat} = 35.312 \text{ Ah}$$

Tabel 4. 3 Spesifikasi Baterai

Spesifikasi	Keterangan
Model	VRLA/SHS Battery
Nominal Voltage	12V
Rated Capacity	100Ah
Weight	37kg

**Gambar 4. 2** Zanetta 12V 100 Ah

Sistem panel surya membutuhkan *solar charger controller* (SCC) untuk memastikan agar baterai tidak mengalami kelebihan pelepasan muatan (*over discharge*) atau kelebihan pengisian muatan (*over charge*) yang dapat mengurangi umur baterai. Untuk itu dilakukan perhitungan kapasitas SCC menggunakan persamaan 2.17 Dan tabel 3.1 spesifikasi modul panel surya 200 WP:

$$C_{scc} = n_{string} \times I_{sc} \times C_f$$

$$C_{scc} = 98 \times 5,7 \times 1,3$$

$$C_{scc} = 98 \times 5,7 \times 1,3$$

$$C_{scc} = 726,18 A$$

Untuk *rating inverter* yang digunakan adalah 25%-30% dari total daya ruangan yaitu sebesar 5,804 kW.

dekat papan reklame jurusan sistem informasi ditunjukkan pada gambar 4.5.



Gambar 4. 4 Pemasangan Modul Panel 200 WP pada *Rooftop*

4.2 Pemodelan Matematis

Pemodelan matematis yang digunakan untuk mengetahui keluaran yang dihasilkan dari panel surya adalah menggunakan pemodelan banyak dioda dengan menggunakan persamaan 3.9 :

$$I = N_s I_{ph} - N_p I_o - \left[\exp \left(\frac{\frac{V}{N_s} + \frac{IR_s}{N_p}}{\frac{nKT}{q}} \right) - 1 \right] - \frac{V}{N_s} + \frac{IR_s}{N_p} R_{sh}$$

Dimana pemodelan matematis diatas berdasarkan banyaknya sambungan (*junction*) paralel maupun seri yang akan mempengaruhi nilai arus keluaran modul panel surya. Data-data yang dibutuhkan untuk pemodelan sistem panel surya adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 4 Parameter Panel Surya 200 WP

Notasi	Keterangan	Nilai dan Satuan
NS	<i>Number of cells in series</i>	72
NP	<i>Number of cells in parallel</i>	1
Nmod	<i>Total number of module</i>	1
C0	<i>Coeff. of light gen. current density</i>	0.451 V-1
C1	<i>Temperature coefficient</i>	0.1786E-04 V-1 K-1
C01	<i>coeff. of sat. current density</i>	38.1786 Am-2K-3
C02	<i>coeff. of sat. current density</i>	0.12200 Am-2K-5/2
rs	<i>series resistance</i>	0.0135 Ω m2
rsh	<i>shunt resistance</i>	1000 Ω m2
Io	<i>Saturation Current</i>	0.99
k	<i>Constant Boltzman</i>	1.3854e-23 J/K
eo	<i>charge of a electron</i>	1.6021e-19 As
Ugap	<i>Band Energy of Silicon</i>	1.12 Jkg-1K-1
T	<i>initial value of cell temperature</i>	25°C

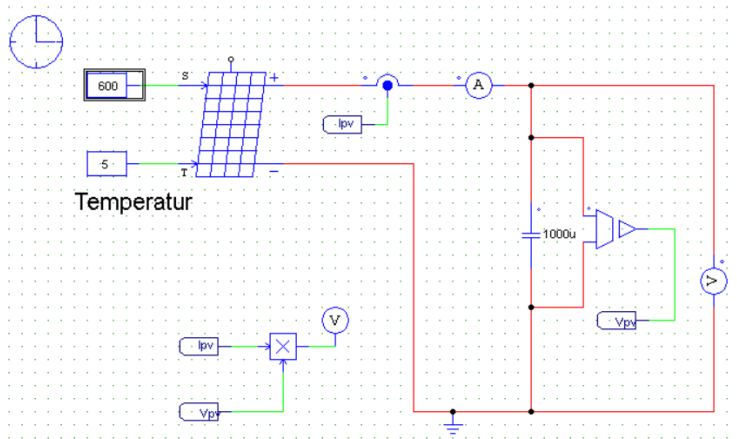
Parameter-parameter diatas selanjutnya dimasukkan pada program simulasi PSIM .

4.3 Simulasi Pemodelan

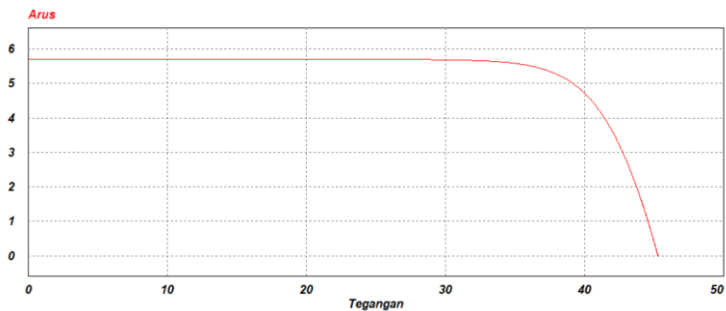
Simulasi pemodelan modul panel surya digunakan untuk memperoleh kurva arus, tegangan dan daya maksimum kerja panel. Simulasi dengan menggunakan software PSIM menggunakan persamaan 3.9 dengan memasukkan parameter yang diperoleh dari tabel 4.4. Rangkaian simulasi ditunjukkan oleh gambar 4.6

Rangkaian simulasi terdiri dari *solar module physical model* dimana dimasukkan data parameter yang dibutuhkan modul panel surya dari tabel 4.4. Lalu terdapat sensor arus dan tegangan yang digunakan untuk mendeteksi pada saat saat pengukuran arus dan tegangan dari keluaran modul panel surya yang nilainya dapat

berubah-ubah sesuai dengan inputan yang diberikan. Masukkan modul terdiri dari 2 besaran fisis temperatur dan radiasi matahari.



Gambar 4. 5 Rangkaian Simulasi Banyak Dioda

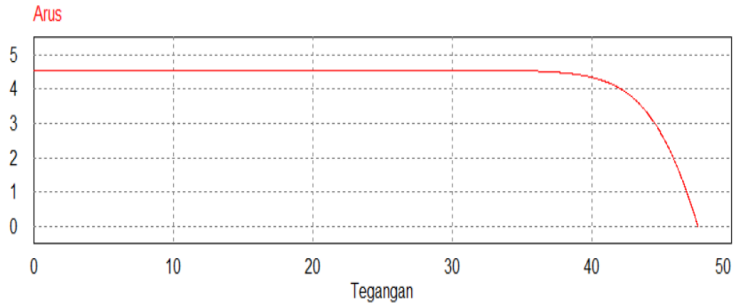


Gambar 4. 6 Kurva I-V pada STC

Simulasi pemodelan pada PSIM pada STC (*Standard Test Condition*), $W = 1000 \text{ W/m}^2$ $T = 25^\circ \text{ C}$) didapatkan nilai tegangan pada saat maksimum sebesar 37,44 V dengan arus 5,37 A dan dihasilkan daya sebesar 201,05 W.

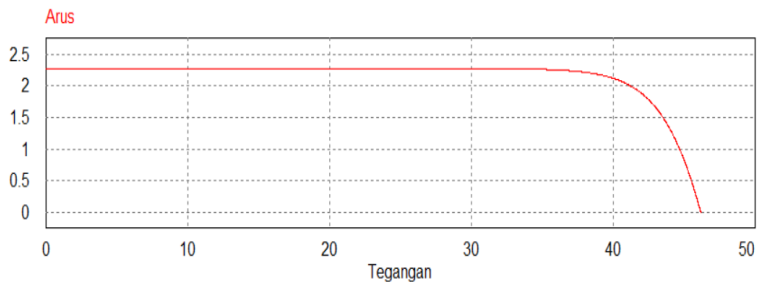
Simulasi dilakukan beberapa kali dengan mengganti parameter radiasi matahari (800, 400, 200 W/m^2).

Kurva pada gambar 4.7 menunjukkan daya maksimum ketika tegangan 37,24 V dan arus 4,72 A. Kurva semakin menurun ketika parameter radiasi matahari yang didapatkan diturunkan. Sedangkan daya yang dihasilkan adalah sebesar 159,94 Watt.



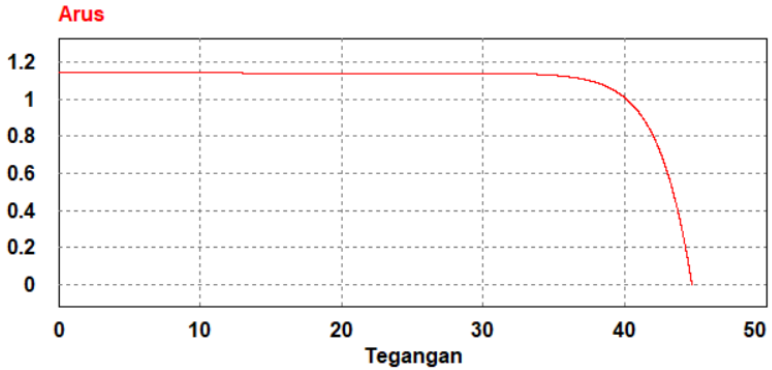
Gambar 4. 7 Kurva I-V pada saat radiasi 800 W/m²

Kurva pada gambar 4.8 menunjukkan karakteristik modul panel surya ketika diberikan radiasi matahari sebesar 400 W/m². Tegangan yang dihasilkan sebesar 36,34 V dan arusnya sebesar 2,15A. Sedangkan dayanya adalah sebesar 77,98 Watt.



Gambar 4. 8 Kurva I-V pada saat radiasi 400 W/m²

Kurva pada gambar 4.9 menunjukkan karakteristik modul 200 WP panel surya ketika diberikan radiasi matahari sebesar 400 W/m². Tegangan yang dihasilkan sebesar 35,16 V dan arusnya sebesar 1,07A. Sedangkan dayanya adalah sebesar 37,66 Watt.



Gambar 4. 9 Kurva I-V pada saat radiasi 200 W/m²

Selanjutnya pengambilan data dilakukan secara langsung menggunakan *AVO meter* dan *Clamp meter* menghasilkan V_{oc} dan I_{sc} . Masing-masing sebesar 41.3 V dan 5.5 A. Lalu dilakukan pengambilan data langsung dengan menggunakan beban exhaust fan DC 24-48V merk SUNON type PMD4812PMBX-A.



Gambar 4. 10 Beban DC *Exhaust Fan* 48V

Tabel 4. 5 Pengambilan Data Langsung

JAM	TEGANGAN (VOLT)	ARUS (AMPERE)	DAYA (WATT)
10:00	41	0,59	24,19
11:00	41	0,65	26,65
12:00	41	0,74	30,58
14:00	41	0,60	24,60
15:00	40	0,58	23,20

Telah dilakukan pengambilan data langsung terhadap modul panel surya dengan diberi beban berupa DC *exhaust fan* 48V dengan rentang waktu yang berbeda-beda dan dihasilkan data yang disajikan berupa tabel 4.5.

4.3 Performansi Panel Surya

Tegangan pada MPP, VMPP, kurang dari tegangan rangkaian terbuka VOC. Arus MPP, IMPP, lebih rendah dari arus rangkaian pendek ISC. Arus dan tegangan MPP memiliki hubungan yang sama dengan irradiansi dan temperatur pada saat arus rangkaian pendek dan tegangan rangkaian terbuka. Untuk menghitung performansi dari panel surya dihitung dengan menggunakan persamaan 2.10

$$FF = \frac{P_{mpp}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} = \frac{V_{mpp} \cdot I_{mpp}}{V_{oc} \cdot I_{sc}}$$

$$FF = \frac{37,1 \cdot 5,4}{45,3 \cdot 5,7}$$

$$FF = \frac{200,34}{258,21}$$

$$FF = 0,77$$

Selanjutnya dimasukkan pada persamaan 2.11 untuk memperoleh pperformansi dari modul panel surya

$$\eta = \frac{P_{mpp}}{G \cdot A} = \frac{FF \cdot V_{oc} \cdot I_{sc}}{G \cdot A}$$

$$\eta = \frac{154,26}{13,76}$$

$$\eta = 11 \%$$

4.4 Pembahasan

Tugas Akhir ini difokuskan pada pemanfaatan panas matahari (*Daily Solar Radiation* 5,48 kWh/m²/day) sebagai sumber energi solar pada pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), dengan total pemakaian energi listrik selama 24 jam sejumlah 19,679 kWh. Bila panel surya menyuplai daya listrik 100 % dari total keseluruhan konsumsi energi listrik 19,679 kWh di Departemen Teknik Instrumentasi ditambah *save margin* 15 % selama 24 jam. Insolasi matahari $Q = 5,167$ kWh/m²/hari. Modul yang dibutuhkan dari adalah sebanyak 98 modul panel surya 200WP. Kapasitas dari baterai berdasarkan kapasitas modul panel surya adalah sebesar 35.135 Ah, sedangkan untuk charger controllernya sebesar, 76,28A. Sedangkan untuk *rating inverter* yang nantinya akan digunakan untuk menyalurkan daya listrik ada lebih besar 25-30% daya ruangan. Selanjutnya untuk perletakkan modul panel surya terdapat metode yaitu *fixed array* dan solar tracker. Dimana untuk perletakkan *fixed array* dihitung sudut kemiringan tempat dari letak lintang. Departemen Teknik Instrumentasi terletak didekat daerah *equator* didapatkan sudut kemiringan 7,3456°. Yang diletakkan pada orientasi belahan bumi utara karena terletak dibelahan bumi selatan. Lalu dilakukan pemodelan matematis dengan memasukan beberapa parameter yang diperlukan untuk mendapatkan karakteristik panel surya.

Karakteristik output dari *solar cell* panel dapat dilihat dari kurva performansi, disebut I-V *curve*. I-V *curve* menunjukkan hubungan antara arus dan voltase. Tipikal kurva I-V. Voltase (V) adalah sumbu horizontal. Arus (I) adalah sumbu vertikal. Kebanyakan kurva I-V diberikan dalam *Standar Test Conditions* (STC) 1000 watt per meter persegi radiasi (atau disebut satu matahari puncak/ one peak sun hour) dan 25 derajat *Celcius*/ 77 derajat *Fahrenheit* suhu solar cell panel. *Maximum Power Point* V_{mp} dan I_{mp} , adalah titik operasi, dimana maksimum pengeluaran/ output yang dihasilkan oleh solar cell panel saat kondisi operasional. Dengan kata lain, V_{mp} dan I_{mp} dapat diukur pada saat solar cell panel diberi beban pada 25 derajat *Celcius* dan radiasi 1000 watt per meter persegi. Pada kurva saat kondisi STC di dapatkan voltase 37,1 volts adalah V_{mp} , dan I_{mp} adalah 5,37

ampere. Jumlah watt pada batas maksimum ditentukan dengan mengalikan V_{mp} dan I_{mp} , maksimum jumlah watt pada STC adalah 200 watt. Untuk efisiensi modul panel surya sebesar 11%.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis data yang telah dilakukan, didapatkan beberapa kesimpulan dari tugas akhir mengenai perancangan system panel surya sebagai sumber energi pada *smart classroom* untuk evaluasi modul fotovoltaik adalah sebagai berikut:

- Model solar sel/modul fotovoltaik GH SOLAR 200WP dengan nilai parameter telah diketahui.
- Perancangan sistem panel surya diperoleh Konsumsi energi listrik harian 19,67 kWh, sedangkan PLTS mampu membangkitkan energi listrik rata-rata harian 5,17 kWh
- Pemanfaatan model solar sel/modul fotovoltaik dapat menunjukkan pengaruh irradiasi dan temperatur sel terhadap efisiensi. Kenaikan temperatur sel mengakibatkan naiknya arus tetapi menurunkan tegangan sehingga secara keseluruhan menurunkan daya yang dihasilkan oleh fotovoltaik sedangkan kenaikan radiasi matahari mengakibatkan naiknya tegangan tetapi menurunkan arus sehingga secara keseluruhan menurunkan daya yang dihasilkan oleh fotovoltaik.

5.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, disarankan untuk dilakukan simulasi menggunakan ETAP untuk mengetahui efisiensi dari sistem serta menambah modul panel surya.

(Halaman sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Amuniv, (2015, Feb. 3), "Pemanfaatan Energi Surya Melalui Fotovoltaik Sebagai Upaya Pengembangan Energi Baru Terbarukan Dalam Rangka Diversifikasi Energi Mix di Indonesia,"[online], Available:<http://www.vedcmalang.com/pppptkboemlg/index.php/artikel-coba-2/listrikelectro/1060-jos1>
- [2] A. Goetzberger and V.U. Hoffmann, "Photovoltaic Solar Energy Generation," Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005.
- [3] Anggara, I.W.G.A, Kumara, I.N.S., Giriantari, I.A.D, (2014), Studi Terhadap Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya 1,9 Kw Di Universitas Udayana Bukit Jimbaran, Spektrum, 1(1): 118-122.
- [4] Veldhuis, A., & Reinders, A. (2015). Reviewing the potential and cost-effectiveness of off-grid PV systems in Indonesia on a provincial level . *Renewable and Sustainable Energy Reviews* , 52, 757–769.
- [5] Subandi, Slamet Hani, (2015), Pembangkit Listrik Energi Matahari Sebagai Penggerak Pompa Air Dengan Menggunakan Solar Cell, Jurnal Teknologi Technoscientia, 7(2): 157-163.
- [6] Takun, Pongkasor. (2011). Maximum Power Point Tracking using Fuzzy Logic Control for Photovoltaic Systems. *IMECS*.
- [7] S. A. Kalogirou, "Solar Thermal Collectors And Applications," vol.231–295, 2004.
- [8] Algazar, M.M. (2012). Maximum Power Point Tracking Using Fuzzy Logic Control. El Sevier.
- [9] Quaschnig, Volker. "*Understanding Renewable Energy Systems*". London, Sterling, VA: Earthscan. 2005.
- [10] Sholihun. 2009. komputasi parameter internal sel surya organik dan penentuan pola keterkaitannya terhadap intensitas menggunakan metode LANBV.Tesis. Yogyakarta : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Gadjah Mada
- [11] Akihiro, Oi. 2005. Design And Simulation Of Photovoltaic Water Pumping System. A Thesis Presented to the Faculty of California Polytechnic State University, San Luis Obispo.
- [12] Hernanz, Ramos.2010. Modelling of Photovoltaic Module. IJAIEM, 23-25 march 2010.

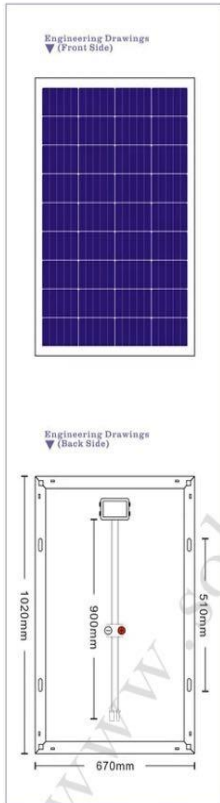
- [13] Tsai, Tu, & Su. 2008. Development Of Generalized Photovoltaic Model Using MATLAB/SIMULINK. October 22-24 2008, San Francisco, USA.
- [14] T. Maskvart dan L. Castaner. Practical Handbook of Photovoltaics. UK: Elsevier Science, Ltd., 2003
- [15] Bhoje, H., and Gaurang S. 2014. An Analysis of One MW Photovoltaic Solar Power Plant Design International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering (IJAREEIE) Vol 3, January 2014.
- [16] Stong, Steven J, The Solar Electric House, p. 56.
- [17] Strong, Steven J, The Solar Electric House, p. 69.
- [18] Bambang, Sujanarko., & Wijayanto, Yagus (2012). Dasar-dasar Pemograman Simulink MATLAB Serta Antar Muka Menggunakan PCI1710HG. Karya Pengabdian Masyarakat. Universitas Jember.

LAMPIRAN A

A.1 Datasheet Panel Sular Yunde 100WP

25 year
power output
warranty
P100W

Technical Parameters



Electrica Parameters		Model	P100A36
Rated Maximum Power	100Wp		
Power Tolerance	0~+5W		
cell efficiency	17.2%		
Maximum Power Voltage (Vmp)	18.05V		
Maximum Power Current(Imp)	5.54A		
Open Circuit Voltage(Voc)	21.90V		
Short Circuit Current(Isc)	5.92A		
Mechanical Parameters			
Dimensions	1020*670*30mm		
weight	7.5Kg		
Cell Technology	Poly-Si 156*104mm/4*9		
Glass	3.2mm Tempered Glass		
encapsulation	EVA		
Backplane	Multilayer Composite		
Aluminum-frame	Silvery Anodized Aluminium Alloy		
Junction-box	IP65/IP67		
Cable	2.5m ² ,900mm		
Connector	MC4 and Mc4 Compatible		
Performance Parameters			
Maximum System Voltage	DC 700V		
Maximum Series Fuse Rating	10A		
Operating Temperature	-45~+80°C		
Temperature Coefficient of Isc	+0.06%		
Temperature Coefficient of Voc	-0.32%		
Temperature Coefficient of Pmp	-0.45%		
Maximum Load(Wind/Snow)	2400Pa/5400Pa		
Applications Class	Class A		
Package Parameters			
Package Configuration	2pcs/CTN		
Package Dimensions	1035*685*75mm		
Package Gross weight	16.5Kg		

STC: irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25°C, Spectrum AM: 1.5

10-years 90% of Min. rated output power, and 25-years 80% of Min. rated output power warranty

we focus on new energy

YSP/PAW

A.2 Datasheet Panel Surya GH Solar 200 WP



GH 72 PCS MONO SERIES 1580x808x35MM

Electrical parameters

Electrical parameters at STC(1.000W/m²), 25°C, AM 1.5 according to EN 60904-3

Module type	[P]	GH200M72
Power output	[W]	200
Power output tolerances	[%]	±3
Module efficiency	[%]	15.3
Voltage at Pmax, Vmpp	[V]	37.1
Current at Pmax, Imp	[A]	5.4
Open circuit voltage Voc	[V]	43.3
Short circuit current Isc	[A]	5.7

Parameters of thermal characteristics

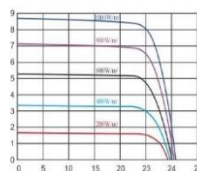
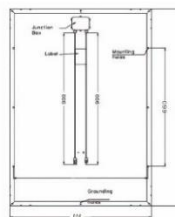
NOCT(Nominal Operating Cell Temperatures)	[°C]	46 ± 2
Temperature coefficient beta of Isc	[1/K]	+0.0005
Temperature coefficient alpha of Voc	[1/K]	-0.0037
Temperature coefficient gamma of Pmp	[1/K]	-0.0045

Mechanical parameters

Dimensions(mm)	1580x808x35MM
Weight(kg)	16.2
Cell type(quantity/technology)	72/mono crystalline/156x156
Encapsulation materials	Ethylene Vinyl Acetate(EVA)
Frame	Robust anodized aluminum alloy

Working conditions

Maximum system voltage	DC 1000V(TUV)/600V(UL)
Operating temperature	-40°C~+85°C
Maximum series fuse	15A
Max. wind load/Max. snow load	2400Pa/5400Pa
Grounding conductivity	< 0.1
Insulation resistance	≥ 100M
Application class	Class A



Latitude **-12.78** / Longitude **112.79** was chosen.

Latitude
Longitude
Elevation
Heating design temperature
Cooling design temperature
Earth temperature amplitude
Frost days at site

Unit
°N
°E
m
°C
°C
°C
day

Climate data location
-7.278
112.79
163
20.91
28.74
7.07
0

A.3 Data Solar Energi NASA

Measured at (m)

Month	Air temperature °C	Relative humidity %	Daily solar radiation -horizontal kWh/m ² /d	Atmospheric pressure kPa	Wind speed m/s	Earth temperature °C	Heating degree-days °C-d	Cooling degree-days °C-d
January	25.1	86.6%	4.77	99.1	3.2	26.2	0	470
February	25.1	86.2%	4.82	99.1	3.4	26.0	0	431
March	25.4	85.9%	4.94	99.1	2.3	26.4	0	479
April	25.4	85.4%	4.98	99.1	2.7	26.4	0	465
May	25.1	84.7%	4.92	99.2	3.7	25.8	0	470
June	24.5	83.6%	4.73	99.2	4.3	25.2	0	440
July	24.2	79.9%	5.03	99.3	4.7	25.0	0	442
August	24.6	75.2%	5.54	99.3	4.8	25.9	0	453
September	25.3	73.9%	6.05	99.3	4.2	27.0	0	458
October	25.8	76.9%	5.94	99.2	3.2	27.6	0	487
November	25.5	83.5%	5.30	99.1	2.5	27.0	0	464
December	25.2	86.2%	4.99	99.1	2.3	26.4	0	472
Annual	25.1	82.3%	5.17	99.2	3.4	26.2	0	5531

10.0

0.0

A.4 Datasheet Exhaust Fan 48V SUNON

SUNON.

120x120x38 mm

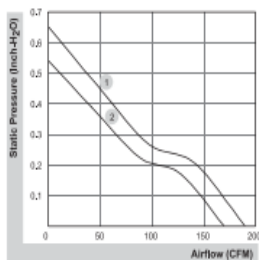
170.0~190.0 CFM



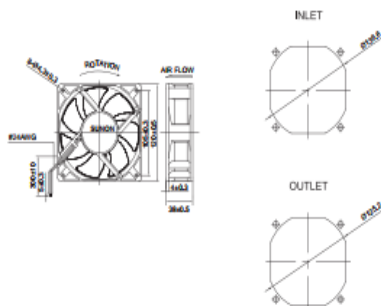
■ Specifications

Model	Bearing	Rating Voltage	Power Current	Power Consumption	Speed	Air Flow	Static Pressure	Noise	Weight	Curve
	φ BALL φ Sleeve	(VDC)	(mA)	(WATTS)	(RPM)	(CFM)	(Inch-H ₂ O)	(dB(A))	(g)	
PMD1212PMB1-A (2).GN	φ	12	1600	19.2	4200	190.0	0.65	54.0	330.0	1
PMD1212PMB2-A (2).GN	φ	12	1200	14.4	3800	170.0	0.54	51.0	330.0	2
PMD2412PMB1-A (2).GN	φ	24	760	18.2	4200	190.0	0.65	54.0	330.0	1
PMD2412PMB2-A (2).GN	φ	24	570	13.7	3800	170.0	0.54	51.0	330.0	2

■ Air Flow-Static Pressure Characteristics



■ External dimensions(mm)



*All model could be customized. Please contact with Sunon Sales.

*Specifications are subject to change without notice. Please Visit SUNON website at www.sunon.com for update information.

LAMPIRAN B

B.1 Data simulasi pada saat radiasi 1000 W/m²

Radiasi Matahari	
1000	
Tegangan	Arus
0.056992926083934942	5,7E+16
0.1139858462309131	5,7E+16
0.17097875846194327	5,7E+16
0.22797166277701797	5,7E+16
0.28496455917612951	5,7E+15
0.34195744765926994	5,7E+16
0.39895032822643117	5,7E+16
0.45594320087760443	5,7E+16
0.51293606561278116	5,7E+16
0.56992892243195237	5,7E+16
0.62692177133510851	5,7E+16
0.68391461232224005	5,7E+16
0.74090744539333731	5,7E+16
0.79790027054838997	5,7E+15
0.85489308778738771	5,7E+16
0.91188589711031964	5,7E+16
0.96887869851717412	5,7E+15
1,02587E+16	5,7E+16
1,08286E+16	5,7E+16
1,13986E+16	5,7E+13
1,19685E+16	5,7E+16
1,25384E+16	5,7E+16
1,31084E+16	5,7E+16
1,36783E+14	5,7E+16
1,42482E+15	5,7E+16
1,48181E+16	5,7E+16

1,53881E+16	5,7E+16
1,5958E+14	5,7E+15
1,65279E+16	5,7E+16
1,70978E+16	5,7E+16
1,76678E+16	5,7E+16
1,82377E+16	5,7E+16
1,88076E+16	5,7E+16
1,93776E+15	5,7E+15
1,99475E+16	5,7E+16
2,05174E+16	5,7E+16
2,10873E+16	5,7E+16
2,16573E+16	5,7E+16
2,22272E+16	5,7E+16
2,27971E+16	5,7E+16
2,3367E+16	5,7E+16
2,3937E+16	5,7E+16
2,45069E+15	5,7E+16
2,50768E+16	5,7E+15
2,56467E+16	5,7E+16
2,62167E+16	5,7E+16

B.2 Data simulasi pada saat radiasi 800 W/m²

Radiasi Matahari	
800 W/m ²	
Tegangan	Arus
0.045592972873181876	4,5593E+16
0.091185940996968418	4,5593E+16
0.13677890278822499	4,5593E+16
0.18237185824694785	4,5593E+16
0.2279648073731331	4,55929E+16
0.27355775016677686	4,55929E+16

0.3191506866278751	4,55929E+15
0.36474361675642358	4,55929E+16
0.41033654055241814	4,55929E+16
0.45592945801585416	4,55929E+16
0.50152236914672721	4,55929E+16
0.54711527394503268	4,55929E+16
0.59270817241076568	4,55929E+16
0.63830106454392166	4,55929E+16
0.68389395034449529	4,55929E+16
0.72948682981248159	4,55929E+16
0.77507970294787509	4,55929E+15
0.82067256975067071	4,55929E+16
0.86626543022086255	4,55929E+16
0.91185828435844518	4,55929E+16
0.95745113216341282	4,55928E+14
1,00304E+15	4,55928E+16
1,04864E+16	4,55928E+16
1,09423E+16	4,55928E+16
1,13982E+15	4,55928E+16
1,18542E+16	4,55928E+16
1,23101E+16	4,55928E+16
1,2766E+16	4,55928E+16
1,32219E+16	4,55928E+16
1,36779E+16	4,55928E+16
1,41338E+16	4,55928E+16
1,45897E+16	4,55928E+16
1,50456E+16	4,55928E+16
1,55016E+16	4,55928E+16
1,59575E+16	4,55928E+16
1,64134E+16	4,55927E+16
1,68694E+16	4,55927E+16

1,73253E+16	4,55927E+16
1,77812E+16	4,55927E+16
1,82371E+16	4,55927E+16
1,86931E+16	4,55927E+16
1,9149E+16	4,55927E+16
1,96049E+16	4,55927E+16
2,00608E+16	4,55927E+16

B.3 Data simulasi pada saat radiasi 400 W/m²

Radiasi Matahari	
400 W/m ²	
Tegangan	Arus
0.022793066450981708	2,27931E+16
0.045586130527643598	2,27931E+16
0.068379191438545373	2,27931E+16
0.091172249183686715	2,27931E+16
0.1139653037630672	2,27931E+16
0.13675835517668639	2,2793E+16
0.15955140342454391	2,2793E+16
0.18234444850663933	2,2793E+16
0.2051374904229723	2,2793E+15
0.22793052917354234	2,2793E+16
0.250723564758349	2,2793E+15
0.27351659717739185	2,2793E+16
0.29630962643067033	2,2793E+16
0.31910265251818404	2,2793E+16
0.34189567543993254	2,2793E+16
0.36468869519591529	2,2793E+16
0.38748171178613172	2,2793E+16
0.41027472521058134	2,2793E+16
0.4330677354692638	2,2793E+16
0.45586074256217834	2,2793E+16

0.47865374648932446	2,2793E+16
0.5014467472507016	2,2793E+16
0.52423974484630931	2,2793E+16
0.54703273927614693	2,2793E+15
0.56982573054021379	2,2793E+16
0.59261871863850935	2,2793E+14
0.61541170357103292	2,2793E+16
0.63820468533778396	2,2793E+16
0.6609976639387618	2,2793E+16
0.68379063937396589	2,2793E+16
0.70658361164339567	2,2793E+16
0.72937658074705003	2,2793E+16
0.75216954668492852	2,2793E+16
0.77496250945703038	2,2793E+16
0.79775546906335515	2,2793E+16
0.82054842550390206	2,2793E+16
0.84334137877866999	2,2793E+15
0.8661343288876584	2,27929E+16
0.88892727583086695	2,27929E+14
0.9117202196082943	2,27929E+16
0.93451316021993969	2,27929E+16
0.95730609766580255	2,27929E+16

B.4 Data simulasi pada saat radiasi 200 W/m²

Radiasi Matahari	
200 W/m ²	
Tegangan	Arus
0.011393113239602159	1,13931E+16
0.022786225292404854	1,13931E+16
0.034179335762808287	1,13931E+16
0.045572444650812512	1,13931E+16

0.05696555195641758	1,13931E+16
0.068358657679623513	1,13931E+16
0.079751761820430367	1,13931E+16
0.091144864378838175	1,13931E+16
0.10253796535484699	1,13931E+16
0.11393106474845686	1,13931E+16
0.1253241625596678	1,13931E+16
0.13671725878847987	1,13931E+16
0.14811035343489307	1,13931E+16
0.15950344649890746	1,13931E+16
0.17089653798052312	1,13931E+14
0.18228962787974001	1,13931E+16
0.1936827161965583	1,13931E+16
0.20507580293097785	1,13931E+16
0.21646888808299877	1,13931E+16
0.22786197165262115	1,13931E+16
0.23925505363984498	1,13931E+16
0.25064813404467029	1,13931E+16
0.26204121286709703	1,13931E+16
0.27343429010712539	1,13931E+16
0.28482736576475537	1,13931E+15
0.29622043983998697	1,13931E+15
0.30761351233281997	1,13931E+16
0.31900658324325465	1,13931E+16
0.33039965257129106	1,13931E+16
0.34179272031692909	1,13931E+16
0.35318578648016885	1,13931E+16
0.36457885106101023	1,13931E+16
0.37597191405945324	1,13931E+16
0.38736497547549809	1,13931E+16
0.39875803530914472	1,13931E+15

0.41015109356039309	1,13931E+15
0.42154415022924341	1,13931E+16
0.43293720531569529	1,13931E+16
0.44433025881974908	1,13931E+16
0.4557233107414046	1,13931E+16
0.46711636108066201	1,1393E+16
0.47850940983752127	1,1393E+16
0.48990245701198232	1,1393E+16
0.50129550260404532	1,1393E+16

B.5 Pengambilan Data Langsung

ARUS		
JAM 10.00		
TANGGAL (2018)		
20 JULI	21 JULI	22 JULI
0,59	0,6	0,6
0,55	0,63	0,58
0,56	0,6	0,57
0,56	0,57	0,57
0,56	0,58	0,57
0,56	0,57	0,57
0,57	0,6	0,57
0,56	0,63	0,55
0,57	0,63	0,55
0,56	0,63	0,56
0,57	0,63	0,6
0,56	0,63	0,57
0,55	0,63	0,55
0,55	0,63	0,55
0,55	0,63	0,55

0,55	0,63	0,55	
0,55	0,63	0,55	
0,55	0,63	0,55	
0,55	0,63	0,56	
0,57	0,57	0,56	
0,57	0,58	0,56	
0,57	0,6	0,56	
0,56	0,6	0,56	
0,560435	0,611304	0,563478	RATA- RATA

TEGANGAN		
JAM 10.00 WIB		
TANGGAL (2018)		
20 JULI	21 JULI	22 JULI
40,9	41,02	40,99
40,99	41,02	40,99
40,99	41,02	40,98
40,99	41,03	40,98
40,99	41,03	40,98
40,99	41,03	40,98
40,99	41,03	40,98
40,99	41,04	40,98
40,99	41,04	40,98
40,99	41,04	40,98
40,99	41,04	40,98
40,99	41,03	40,98
40,99	41,03	40,98
40,99	41,03	40,98
40,98	41,02	40,98
40,99	41,02	40,98

40,98	41,03	40,99	
40,98	41,02	40,97	
40,99	41,01	40,97	
40,98	41,01	40,97	
40,98	41,01	40,98	
40,98	41	40,99	
40,98	41	40,99	
RATA- RATA	40,98304	41,02391	40,98087

TEGANGAN		
JAM 11.00 WIB		
TANGGAL (2018)		
20 JULI	21 JULI	22 JULI
41,4	41,62	40,9
41,66	41,72	40,9
41,68	41,76	40,9
41,67	42,76	40,9
41,68	41,77	40,9
41,68	41,78	40,9
41,68	41,77	40,9
41,68	41,76	40,9
41,68	41,76	40,9
41,68	41,76	40,9
41,68	41,76	40,9
41,68	41,76	40,9
41,68	41,76	40,9
41,68	41,76	40,9
41,67	41,76	40,9
41,67	41,76	40,91
41,67	41,77	40,91
41,67	41,77	40,91

41,65	41,77	40,91	
41,65	41,77	40,91	
41,65	41,77	40,9	
41,63	41,73	40,9	
41,63	41,73	40,9	
41,63	41,73	40,9	
RATA- RATA	41,65435	41,79565	40,90217

ARUS		
JAM 11.00		
TANGGAL (2018)		
20 JULI	21 JULI	22 JULI
0,46	0,47	0,48
0,47	0,47	0,48
0,47	0,47	0,48
0,47	0,47	0,47
0,47	0,47	0,47
0,47	0,47	0,46
0,47	0,48	0,46
0,46	0,46	0,46
0,48	0,45	0,46
0,48	0,48	0,46
0,48	0,47	0,46
0,48	0,47	0,46
0,48	0,46	0,46
0,48	0,47	0,46
0,48	0,47	0,46
0,48	0,47	0,46
0,48	0,47	0,46
0,47	0,47	0,48

0,46	0,47	0,47	
0,46	0,47	0,46	
0,46	0,48	0,46	
0,46	0,48	0,46	
0,46	0,48	0,46	
0,47087	0,470435	0,464783	RATA- RATA

TEGANGAN		
JAM 12.00 WIB		
TANGGAL (2018)		
20 JULI	21 JULI	22 JULI
41,68	41,65	41,68
41,7	41,69	41,68
41,72	41,79	41,68
41,78	41,79	41,68
41,78	41,79	41,68
41,78	41,79	41,68
41,78	41,79	41,68
41,78	41,79	41,72
41,78	41,79	41,76
41,78	41,79	42,76
41,78	41,79	41,77
41,77	41,8	41,78
41,76	41,81	41,77
41,76	41,81	41,76
41,76	41,81	41,76
41,76	41,81	41,76
41,76	41,81	41,76
41,76	41,81	41,77

41,76	41,81	41,77	
41,76	41,85	41,77	
41,75	41,85	41,77	
41,75	41,85	41,77	
41,75	41,85	41,77	
RATA- RATA	41,75826	41,79652	41,78174

ARUS		
JAM 12.00 WIB		
TANGGAL (2018)		
20 JULI	21 JULI	22 JULI
0,66	0,73	0,75
0,66	0,75	0,75
0,7	0,78	0,75
0,72	0,8	0,75
0,73	0,8	0,75
0,75	0,85	0,75
0,78	0,85	0,75
0,85	0,85	0,75
0,87	0,87	0,75
0,87	0,87	0,75
0,87	0,72	0,75
0,87	0,73	0,75
0,87	0,75	0,75
0,87	0,75	0,75
0,73	0,75	0,76
0,75	0,75	0,76
0,78	0,75	0,76
0,85	0,75	0,76

0,87	0,75	0,76	
0,66	0,75	0,76	
0,7	0,66	0,76	
0,72	0,7	0,76	
0,87	0,72	0,76	
RATA- RATA	0,782609	0,768696	0,753913

TEGANGAN		
JAM 13.00 WIB		
TANGGAL (2018)		
20 JULI	21 JULI	22 JULI
40,47	40,67	40,8
40,48	40,67	40,81
40,49	40,67	40,8
40,66	40,67	40,8
40,64	40,67	40,8
40,61	40,67	40,8
40,6	40,65	40,8
40,6	40,66	40,8
40,59	40,68	40,82
40,6	40,68	40,82
40,6	40,68	40,82
40,6	40,68	40,82
40,6	40,68	40,82
40,6	40,68	40,82
40,6	40,68	40,82
40,6	40,68	40,82
40,6	40,65	40,82
40,6	40,65	40,82
40,6	40,65	40,83

40,59	40,65	40,83	
40,6	40,65	40,83	
40,61	40,65	40,83	
40,61	40,67	40,83	
40,61	40,67	40,83	
RATA-RATA	40,58957	40,66652	40,81609
ARUS			
JAM 13.00 WIB			
TANGGAL (2018)			
20 JULI	21 JULI	22 JULI	
0,4	0,5	0,57	
0,6	0,55	0,58	
0,65	0,56	0,59	
0,66	0,56	0,59	
0,66	0,56	0,59	
0,67	0,56	0,59	
0,64	0,56	0,59	
0,63	0,56	0,6	
0,63	0,62	0,61	
0,63	0,62	0,61	
0,63	0,62	0,62	
0,63	0,62	0,62	
0,63	0,62	0,62	
0,63	0,62	0,62	
0,66	0,61	0,62	
0,67	0,61	0,62	
0,64	0,61	0,62	
0,63	0,61	0,58	
0,64	0,58	0,59	

0,64	0,58	0,59	
0,64	0,58	0,59	
0,64	0,58	0,59	
0,64	0,58	0,59	
RATA- RATA	0,63	0,585652	0,599565

TEGANGAN		
JAM 14.00 WIB		
TANGGAL (2018)		
20 JULI	21 JULI	22 JULI
40,47	40,36	40,39
40,48	40,3	40,4
40,49	40,35	40,41
40,48	40,36	40,42
40,48	40,37	40,42
40,48	40,37	40,42
40,48	40,37	40,42
40,48	40,37	40,42
40,48	40,37	40,42
40,48	40,37	40,42
40,48	40,37	40,38
40,48	40,37	40,37
40,48	40,35	40,37
40,48	40,35	40,37
40,48	40,35	40,37
40,47	40,35	40,37
40,47	40,35	40,37
40,47	40,35	40,37
40,47	40,35	40,39
40,47	40,36	40,39
40,47	40,37	40,39

40,48	40,37	40,38	
40,48	40,37	40,37	
40,48	40,37	40,39	
RATA- RATA	40,47739	40,3587	40,3913

ARUS		
JAM 14.00 WIB		
TANGGAL (2018)		
20 JULI	21 JULI	22 JULI
0,41	0,46	0,48
0,43	0,46	0,47
0,44	0,46	0,46
0,45	0,46	0,46
0,45	0,46	0,46
0,45	0,46	0,46
0,45	0,47	0,46
0,45	0,48	0,47
0,44	0,48	0,47
0,44	0,48	0,47
0,44	0,48	0,47
0,44	0,48	0,47
0,44	0,48	0,47
0,46	0,47	0,46
0,41	0,46	0,48
0,42	0,45	0,47
0,42	0,45	0,46
0,42	0,45	0,49
0,42	0,45	0,49
0,43	0,45	0,49
0,43	0,45	0,49

0,43	0,45	0,49	
0,43	0,45	0,49	
RATA- RATA	0,434783	0,462609	0,473043

TEGANGAN		
JAM 15.00 WIB		
TANGGAL (2018)		
20 JULI	21 JULI	22 JULI
39,95	38,6	37,55
39,94	38,7	37,56
39,94	38,5	37,56
39,94	38,5	37,56
39,94	38,6	37,56
39,94	38,6	37,6
39,94	38,6	37,6
39,94	38,6	37,6
39,95	38,6	37,6
39,95	38,6	37,7
39,95	38,6	37,7
39,95	38,3	37,7
39,95	38,3	37,7
39,95	38,2	37,7
39,95	38,2	37,5
39,95	38,2	37,5
39,94	38,2	37,5
39,94	38,2	37,5
39,94	38,2	37,43
39,94	38,2	37,43
39,94	38,2	37,43
39,95	38,4	37,43

BIODATA PENULIS



Penulis yang bernama Hesty Amelia Winda Kesuma dilahirkan di Pamekasan pada tanggal 27 Mei 1998. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dari orang tua Bapak Erwin dan Ibu Ida. Penulis menempuh pendidikan formal SMAN 1 Pamekasan Kemudian penulis melanjutkan ke jenjang yang lebih tinggi yaitu di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, tepatnya di Departemen Teknik Instrumentasi Fakultas Vokasi di tahun 2015 dan terdaftar dengan NRP 10 51 15 000 00 050.

Di Departemen Teknik Instrumentasi ini penulis aktif di beberapa organisasi kemahasiswaan seperti di HIMATEKINS ITS SATU sebagai Sekretaris Divisi Hubungan Luar periode 2017/2018. Pada laporan ini, penulis telah melaksanakan Tugas Akhir Program Studi DIII Teknologi Instrumentasi Departemen Teknik Instrumentasi FV ITS.

Selesaiannya Tugas Akhir ini diajukan penulis untuk memenuhi syarat memperoleh gelar Ahli Madya di Departemen Teknik Instrumentasi Fakultas Vokasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Hestyamelia10@gmail.com