

**OPTIMASI KINERJA PANEL SURYA *MONOCRYSTALLINE*  
DAN *POLYCRYSTALLINE* DENGAN PENGENDALI MPPT  
PADA BERBAGAI TINGKAT IRADIASI DAN TEMPERATUR  
: STUDI SIMULASI DENGAN MATLAB**

**LAPORAN TUGAS AKHIR**

Laporan Ini Disusun Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar S1  
Pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Industri Universitas Islam Sultan  
Agung Semarang



Disusun Oleh :

**HAFIDZ SAEFUL FIKRI**

**30602000001**

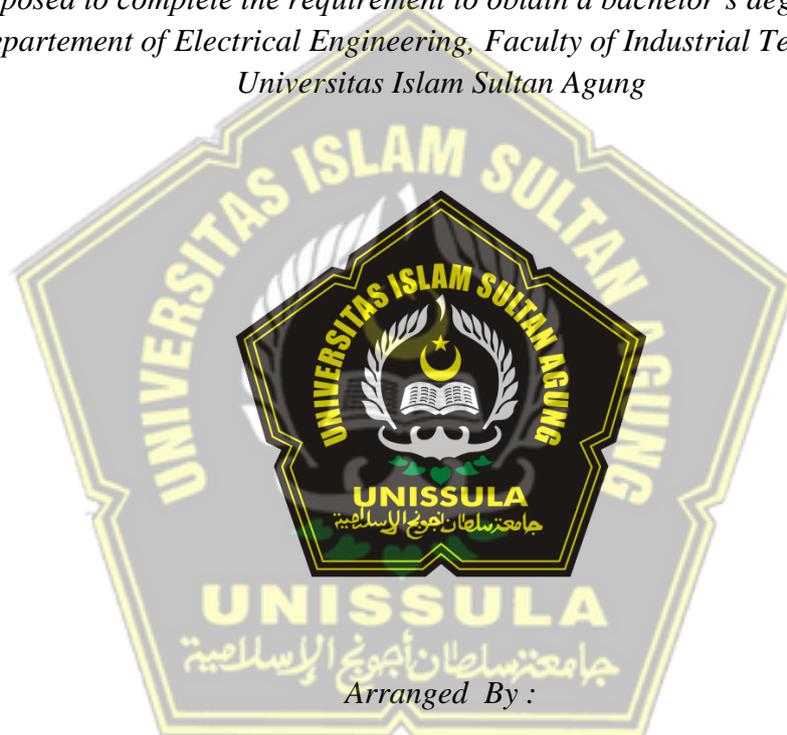
**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG  
SEMARANG**

**2024**

***OPTIMIZATION OF MONOCRYSTALLINE AND  
POLYCRYSTALLINE SOLAR PANEL PERFORMANCE WITH  
MPPT CONTROLLER AT VARIOUS LEVELS OF IRRADIATION  
AN TEMPERATURE : A SIMULATION STUDY USING MATLAB***

**FINAL PROJECT**

*Proposed to complete the requirement to obtain a bachelor's degree (S1) at  
Departement of Electrical Engineering, Faculty of Industrial Technology,  
Universitas Islam Sultan Agung*



*Arranged By :*

**HAFIDZ SAEFUL FIKRI**

**30602000001**

***MAJORING OF ELECTRICAL ENGINEERING  
INDUSTRIAL TECHNOLOGY FACULTY  
SULTAN AGUNG ISLAMIC UNIVERSITY***

***SEMARANG***

***2024***

## LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul “Optimasi Kinerja Panel Surya *Monocrystalline* Dan *Polycrystalline* Dengan Pengendali MPPT Pada Berbagai Tingkat Iradiasi Dan Temperatur : Studi Simulasi Dengan Matlab” ini disusun oleh :

Nama : Hafidz Saeful Fikri

NIM : 30602000001

Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan dan disetujui oleh dosen pembimbing pada :

Hari : Jumat

Tanggal : 23 Februari 2024

Pembimbing I

Pembimbing II

  
Dedi Nugroho, ST., MT.  
NIDN. 0628086501

  
Ir. Budi Pranomo Jati, MM., MT.  
NIDN. 0623126501

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Elektro

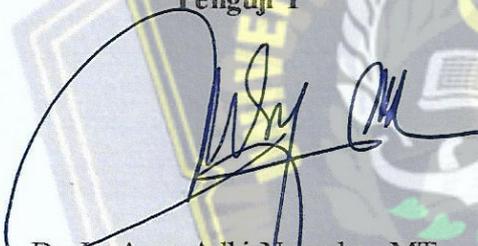
  
Jenny Putri Hapsari, ST., MT.  
NIDN. 0607018501

## LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul “Optimasi Kinerja Panel Surya *Monocrystalline* Dan *Polycrystalline* Dengan Pengendali MPPT Pada Berbagai Tingkat Iradiasi Dan Temperatur : Studi Simulasi Dengan Matlab” ini telah dipertahankan di depan Penguji sidang Tugas Akhir pada :

Hari : *Jum'at*  
Tanggal : *23 februari 2024*

Penguji I



Dr. Ir. Agus Adhi Nugroho, MT.  
NIDN. 0628086501

Penguji II



Ir. Suryani Alifah, MT., Ph.D.  
NIDN. 0625036901

Ketua Penguji



Dr. Gunawan, ST., MT.  
NIDN. 0607117101

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Hafidz Saeful Fikri

NIM : 30602000001

Program Studi : S1 Teknik Elektro

Fakultas : Teknologi Industri

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang saya buat dalam rangka menyelesaikan Pendidikan Strata Satu (S1) Teknik Elektro di Fakultas Teknologi UNISSULA Semarang dengan judul “Optimasi Kinerja Panel Surya Monocrystalline Dan Polycrystalline Dengan Pengendali MPPT Pada Berbagai Tingkat Iradiasi Dan Temperatur : Studi Simulasi Dengan Matlab”, adalah asli (orisinal) dan bukan menjiplak (plagiat) dan belum pernah diterbitkan/dipublikasikan dimanapun dalam bentuk apapun baik sebagian atau keseluruhan, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab. Apabila di kemudian hari ternyata terbukti bahwa Karya Tugas Akhir tersebut adalah hasil karya orang lain atau pihak lain, maka saya bersedia dikenakan sanksi akademis.

Semarang, 28 Februari 2024

Yang Menyatakan



Hafidz Saeful Fikri

**NIM. 30602000001**

## PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Hafidz Saeful Fikri

NIM : 30602000001

Program Studi : S1 Teknik Elektro

Fakultas : Teknologi Industri

Dengan ini menyatakan bahwa Karya Ilmiah Tugas Akhir dengan judul “**Optimasi Kinerja Panel Surya *Monocrystalline* Dan *Polycrystalline* Dengan Pengendali MPPT Pada Berbagai Tingkat Iradiasi Dan Temperatur : Studi Simulasi Dengan Matlab**”.

Menyetujui menjadi hak milik Universitas Islam Sultan Agung serta memberikan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif untuk disimpan, dialih mediakan, dikelola dalam pangkalan data dan publikasi di internet dan media lain untuk kepentingan akademis selama tetap mencantumkan nama penulis sebagai pemilik hak cipta. Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh, apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta/Plagiarisme dalam karya ilmiah ini, maka segala bentuk tuntutan hukum yang timbul akan saya tanggung secara pribadi tanpa melibatkan pihak Universitas Islam Sultan Agung.

Semarang, 28 Februari 2024

Yang Menyatakan



**Hafidz Saeful Fikri**

**NIM. 30602000001**

## HALAMAN PERSEMBAHAN

Pertama,

Tugas Akhir ini saya dengan tulus dan rendah hati saya persembahkan kepada kedua orang tua tercinta, Bapak Arifin dan Ibu Suharti. Doa, dukungan moral, dan kasih sayang yang tak pernah berhenti mengalir dari kalian adalah cahaya penerang dalam perjalanan ini. Tanpa kehadiran kalian, perjalanan ini tidak akan seberwarna dan berarti.

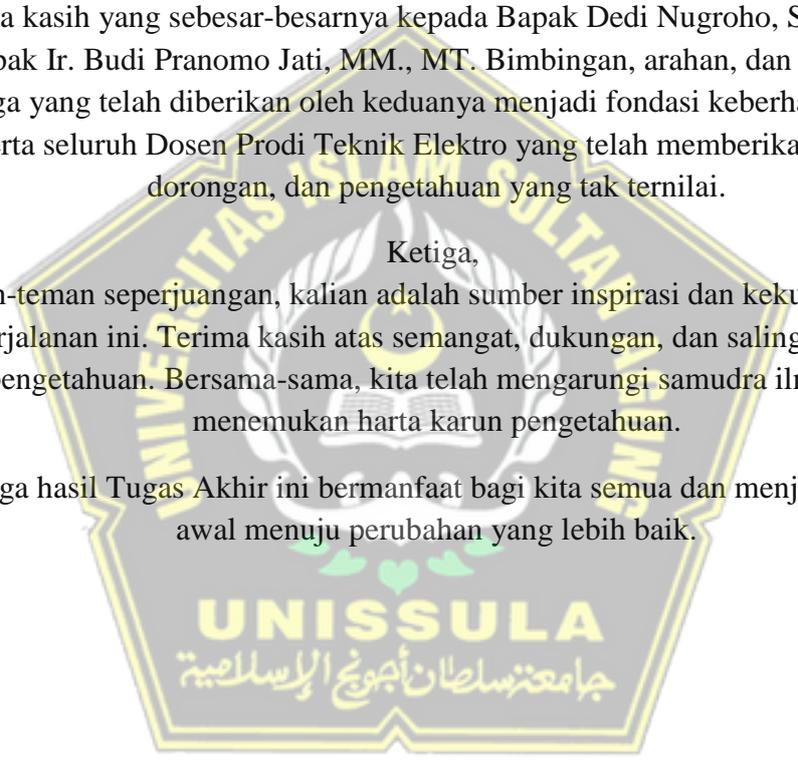
Kedua,

Terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Dedi Nugroho, ST., MT dan Bapak Ir. Budi Pranomo Jati, MM., MT. Bimbingan, arahan, dan wawasan berharga yang telah diberikan oleh keduanya menjadi fondasi keberhasilan skripsi ini. Serta seluruh Dosen Prodi Teknik Elektro yang telah memberikan semangat, dorongan, dan pengetahuan yang tak ternilai.

Ketiga,

Teman-teman seperjuangan, kalian adalah sumber inspirasi dan kekuatan selama perjalanan ini. Terima kasih atas semangat, dukungan, dan saling berbagi pengetahuan. Bersama-sama, kita telah mengarungi samudra ilmu dan menemukan harta karun pengetahuan.

Semoga hasil Tugas Akhir ini bermanfaat bagi kita semua dan menjadi langkah awal menuju perubahan yang lebih baik.



## HALAMAN MOTTO

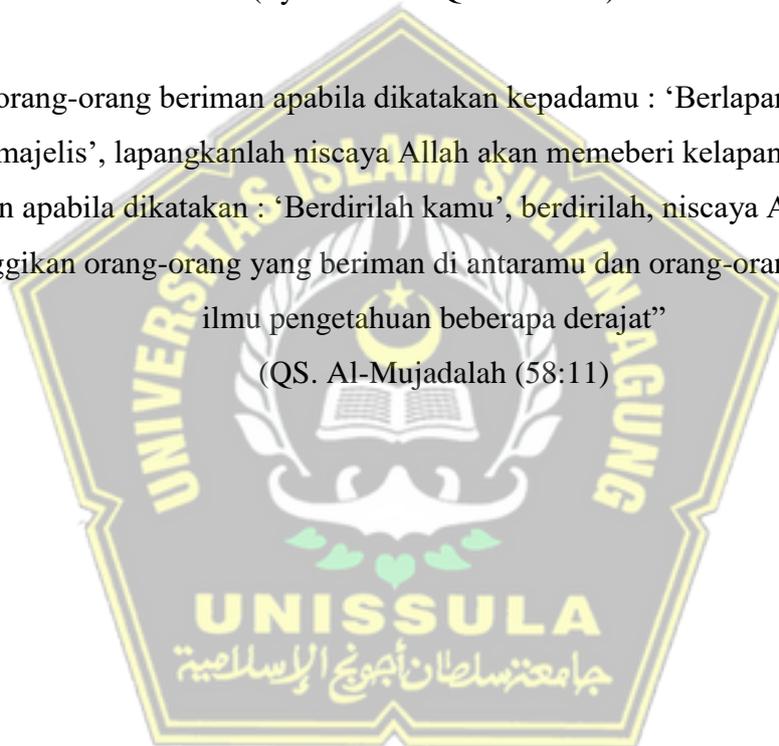
“Tuntutlah ilmu. Disaat kamu miskin, ia akan menjadi hartamu. Disaat kamu kaya, ia akan menjadi perhiasanmu”  
(Luqman al-Hakim)

“Aku lebih menghargai orang yang beradab daripada berilmu”  
“Kalau hanya berilmu iblis pun lebih tinggi ilmunya daripada manusia”  
(Syekh Abdul Qodir Jailani)

“Hai orang-orang beriman apabila dikatakan kepadamu : ‘Berlapang-lapanglah dalam majelis’, lapangkanlah niscaya Allah akan memberi kelapangan untukmu.

Dan apabila dikatakan : ‘Berdirilah kamu’, berdirilah, niscaya Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman di antaramu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat”

(QS. Al-Mujadalah (58:11))



## KATA PENGANTAR

*Bismillahirrahmannirrahim*

*Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Puji syukur Alhamdulillah, penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan karunia-Nya lah penulis diberikan kesehatan rohani dan jasmani sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul **“Optimasi Kinerja Panel Surya Monocrystalline Dan Polycrystalline Dengan Pengendali MPPT Pada Tingkat Iradiasi Dan Temperatur : Studi Simulasi Dengan Matlab”** ini dengan baik dan lancar.

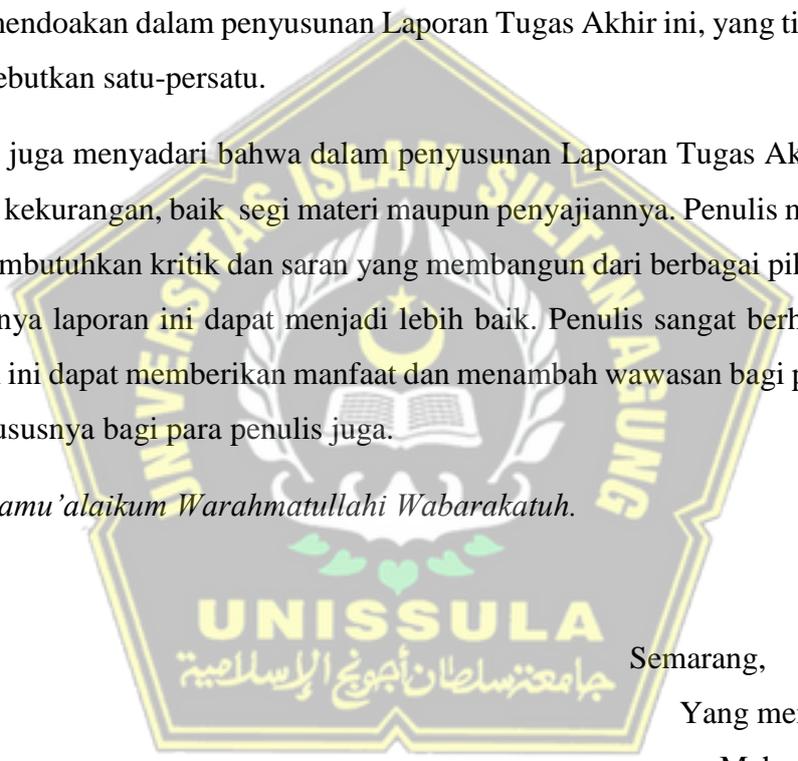
Penulisan Tugas Akhir ini adalah salah satu syarat yang menjadi kewajiban kita untuk meraih Gelar Sarjana (S1) Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Dalam penulisan Laporan Tugas Akhir ini, tentunya banyak orang yang membantu dan mendukung. Oleh karena itu penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua Orang Tua Saya Bapak Arifin dan Ibu Suharti serta keluarga yang sangat Saya cintai dan kagumi yang senantiasa memberikan support, doa, perhatian, dan kasih sayang yang tiada hentinya kepada penulis dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini.
2. Ibu Dr. Hj. Novi Marlyana, ST., MT Selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Ibu Jenny Putri Hapsari, ST., MT Selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
4. Bapak Dedi Nugroho, ST., MT Selaku Dosen Pembimbing pertama yang telah membimbing, mengarahkan, serta memotivasi dengan sangat baik dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Ir. Budi Pranomo Jati, MM., MT Selaku Dosen Pembimbing kedua yang juga telah membimbing dan mengarahkan dengan sangat baik dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini.

6. Kakak saya Aulia Nur Baeti dan adik saya Nabilla Syafa Rahma yang telah memberikan doa, dukungan, dan semangat pada saat penyusunan Laporan Tugas Akhir hingga selesai.
7. Kepada M. Fadel Ismail dan teman-teman jurusan Teknik Elektro khususnya angkatan 2020 yang telah memberikan semangat dan dukungan hingga Laporan Tugas Akhir ini dapat selesai, semoga teman-teman bisa segera untuk menyelesaikan Laporan Tugas akhirnya juga.
8. Dan juga kepada semua pihak yang telah membantu, mendukung dan mendoakan dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini, yang tidak bisa saya sebutkan satu-persatu.

Penulis juga menyadari bahwa dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan, baik segi materi maupun penyajiannya. Penulis meminta maaf dan membutuhkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak, sehingga kedepanya laporan ini dapat menjadi lebih baik. Penulis sangat berharap semoga laporan ini dapat memberikan manfaat dan menambah wawasan bagi para pembaca dan khususnya bagi para penulis juga.

*Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.*



Semarang,

Yang menyatakan  
Mahasiswa

Hafidz Saeful Fikri

NIM. 30602000001

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>FINAL PROJECT.....</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING .....</b>	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....</b>	<b>iv</b>
<b>SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR .....</b>	<b>v</b>
<b>PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLKASI KARYA ILMIAH.....</b>	<b>vi</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>	<b>vii</b>
<b>HALAMAN MOTTO .....</b>	<b>viii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xv</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>xvi</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xvii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Pembatasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Manfaat.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....</b>	<b>5</b>
2.1 Tinjauan Pustaka .....	5

2.2	Landasan Teori .....	6
2.2.1	Potensi Radiasi Energi Surya .....	6
2.2.2	Sel Surya .....	7
2.2.3	Rangkaian Ekuivalen Sel surya.....	12
2.2.4	Faktor Pengoperasian Panel Surya.....	15
2.2.5	Jenis Sel Surya .....	16
2.2.6	Maximum Power Point Tracking (MPPT).....	19
2.2.7	Algoritma Perturb and Observe (P&O).....	20
2.2.8	Matlab .....	22
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>		<b>25</b>
3.1	Metode Penelitian.....	25
3.2	Perancangan Sistem.....	25
3.3	Peralatan dan Data Penelitian .....	26
3.4	Langkah-langkah Penelitian .....	28
<b>BAB IV DATA DAN ANALISA .....</b>		<b>34</b>
4.1	Hasil Simulasi Panel Surya di Kota Semarang.....	35
4.2	Pengujian Simulasi Dengan Data Kota Baturaden.....	41
4.3	Pengujian Simulasi Dengan Data Kota Bandung.....	45
4.4	Kerja MPPT Dengan Algoritma P&O Terhadap Daya Keluaran PV ....	50
<b>BAB V PENUTUP .....</b>		<b>56</b>
5.1	Kesimpulan.....	56
5.2	Saran .....	56
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>58</b>
<b>LAMPIRAN – LAMPIRAN.....</b>		<b>61</b>

## DAFTAR GAMBAR

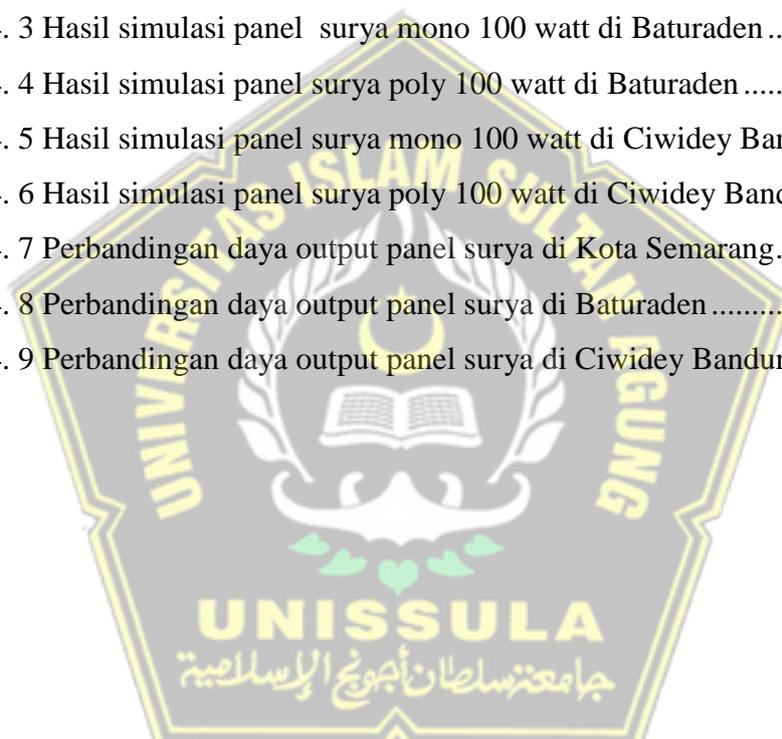
Gambar 2. 1 Radiasi sinar matahari ke bumi .....	7
Gambar 2. 2 Contoh sel surya .....	8
Gambar 2. 3 Konversi energi cahaya menjadi listrik.....	9
Gambar 2. 4 Kurva grafik I-V .....	10
Gambar 2. 5 36 sel surya dirangkai seri .....	12
Gambar 2. 6 Rangkaian ekivalen sel surya dengan hambatan seri dan paralel.....	12
Gambar 2. 7 Panel surya monocrystalline.....	16
Gambar 2. 8 Panel surya polycrystalline.....	17
Gambar 2. 9 Panel surya thin film .....	18
Gambar 2. 10 Kurva karakteristik panel surya.....	20
Gambar 2. 11 Flowchart dari algoritma perturb and observe .....	21
Gambar 2. 12 Ikon software matlab .....	22
Gambar 2. 13 Bagian window matlab.....	23
Gambar 2. 14 Tampilan model simulink pada matlab .....	24
Gambar 2. 15 Kotak dialog simulink library .....	24
Gambar 3. 1 Perancangan simulasi panel surya.....	25
Gambar 3. 2 Flowchart alur metode penelitian.....	29
Gambar 3. 3 Pemodelan arus photovoltaic .....	30
Gambar 3. 4 Pemodelan arus saturasi .....	31
Gambar 3. 5 Pemodelan arus output .....	32
Gambar 3. 6 Pemodelan arus reverse saturasi.....	32
Gambar 3. 7 Pemodelan mppt dengan algoritma p&o.....	33
Gambar 4. 1 Rangkaian pemodelaan panel surya pada Matlab .....	34
Gambar 4. 2 Gelombang output dari panel surya non MPPT.....	35
Gambar 4. 3 Gelombang output panel surya dengan MPPT.....	35
Gambar 4. 4 Variasi Iradiasi dan temperatur di Kota Semarang .....	38
Gambar 4. 5 Tegangan output mono dan poly 100 watt di Kota Semarang .....	39
Gambar 4. 9 Variasi waktu terhadap output di Baturaden .....	43
Gambar 4. 10 Tegangan output mono dan poly 100 watt di Baturaden .....	44
Gambar 4. 14 Variasi waktu terhadap output di Ciwidey Bandung .....	48

Gambar 4. 15 Tegangan output mono dan poly100 watt di Ciwidey Bandung...	49
Gambar 4. 19 Daya output panel surya.....	53
Gambar 4. 20 Perbandingan daya keluaran panel mono di Kota Semarang, Baturaden , Ciwidey Bandung .....	54
Gambar 4. 21 Perbandingan daya keluaran panel poly di Kota Semarang, Baturaden, Ciwidey Bandung .....	55



## DAFTAR TABEL

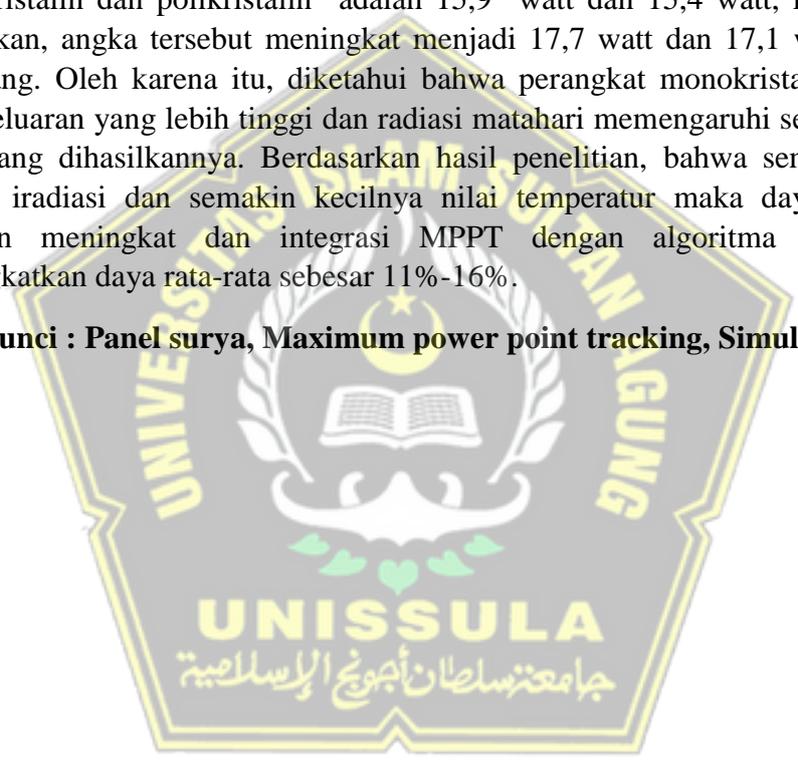
Tabel 3. 1 Datasheet panel surya monocrystalline 100 Watt .....	26
Tabel 3. 2 Datasheet panel surya polycrystalline 100 Watt .....	27
Tabel 3. 5 Data nilai iradiasi dan temperatur di Kota Semarang .....	27
Tabel 3. 6 Data nilai iradiasi dan temperatur di Baturaden.....	28
Tabel 3. 7 Data nilai iradiasi dan temperatur di Kota Ciwidey Bandung .....	28
Tabel 4. 1 Hasil simulasi panel surya mono 100 watt di Kota Semarang.....	36
Tabel 4. 2 Hasil simulasi panel surya poly 100 watt di Kota Semarang.....	36
Tabel 4. 3 Hasil simulasi panel surya mono 100 watt di Baturaden .....	41
Tabel 4. 4 Hasil simulasi panel surya poly 100 watt di Baturaden .....	41
Tabel 4. 5 Hasil simulasi panel surya mono 100 watt di Ciwidey Bandung .....	46
Tabel 4. 6 Hasil simulasi panel surya poly 100 watt di Ciwidey Bandung .....	46
Tabel 4. 7 Perbandingan daya output panel surya di Kota Semarang.....	50
Tabel 4. 8 Perbandingan daya output panel surya di Baturaden .....	51
Tabel 4. 9 Perbandingan daya output panel surya di Ciwidey Bandung .....	52



## ABSTRAK

Dalam upaya mengatasi keterbatasan energi konvensional dan mengatasi permasalahan global mengenai perubahan iklim, penggunaan sumber energi terbarukan, seperti energi surya, menjadi semakin penting. Memilih jenis panel surya yang tepat sangat penting dalam hal ini karena mempengaruhi seberapa baik dan efisien energi matahari diubah menjadi energi listrik. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menjelaskan seberapa baik kinerja panel surya saat terkena fluktuasi radiasi dan suhu. Pemodelan matematika Matlab Simulink akan dimanfaatkan bersama dengan MPPT untuk menghasilkan daya keluaran yang optimal. Saat mengukur panel surya dengan kapasitas 100 watt, keluaran daya rata-rata untuk monokristalin dan polikristalin adalah 15,9 watt dan 15,4 watt, ketika MPPT diterapkan, angka tersebut meningkat menjadi 17,7 watt dan 17,1 watt, di Kota Semarang. Oleh karena itu, diketahui bahwa perangkat monokristalin memiliki daya keluaran yang lebih tinggi dan radiasi matahari memengaruhi seberapa besar daya yang dihasilkannya. Berdasarkan hasil penelitian, bahwa semakin tinggi tingkat iradiasi dan semakin kecilnya nilai temperatur maka daya outputnya semakin meningkat dan integrasi MPPT dengan algoritma P&O dapat meningkatkan daya rata-rata sebesar 11%-16%.

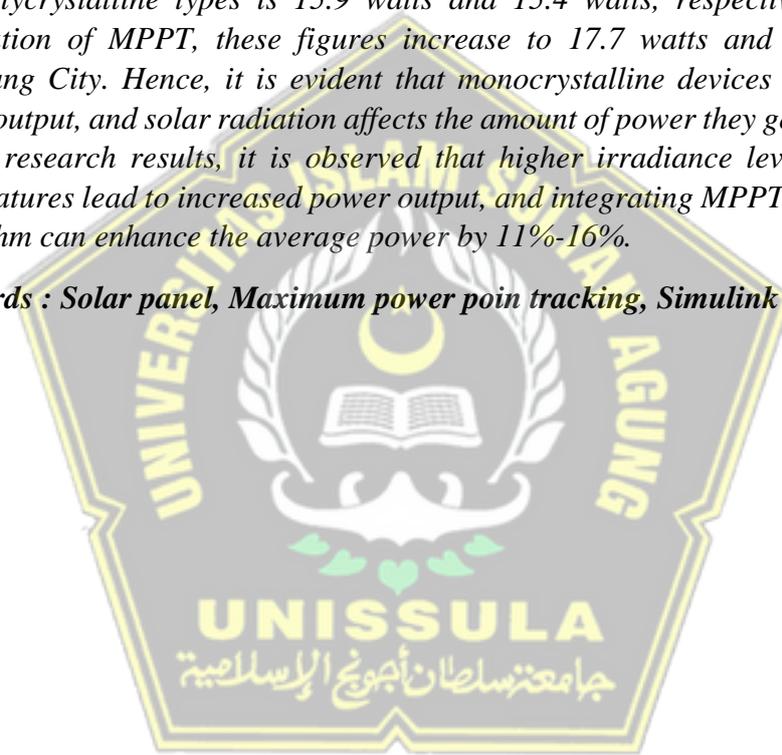
**Kata kunci : Panel surya, Maximum power point tracking, Simulink matlab**



## ABSTRACT

*In an effort to address the limitations of conventional energy and tackle global issues related to climate change, the use of renewable energy sources, such as solar energy, is becoming increasingly crucial. Selecting the right type of solar panels is highly important in this regard, as it influences how efficiently solar energy is converted into electricity. The objective of this research is to elucidate the performance of solar panels when subjected to fluctuations in radiation and temperature. Matlab Simulink mathematical modeling will be utilized along with Maximum Power Point Tracking (MPPT) to generate optimal power output. When measuring a 100-watt solar panel, the average power output for monocrystalline and polycrystalline types is 15.9 watts and 15.4 watts, respectively. With the application of MPPT, these figures increase to 17.7 watts and 17.1 watts in Semarang City. Hence, it is evident that monocrystalline devices exhibit higher power output, and solar radiation affects the amount of power they generate. Based on the research results, it is observed that higher irradiance levels and lower temperatures lead to increased power output, and integrating MPPT with the P&O algorithm can enhance the average power by 11%-16%.*

**Keywords :** *Solar panel, Maximum power poin tracking, Simulink matlab*



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Pemanfaatan sumber energi terbarukan, seperti energi surya, semakin penting sebagai upaya mengatasi keterbatasan energi konvensional dan kekhawatiran global terkait perubahan iklim. Salah satu teknologi umum untuk menghasilkan listrik dari energi matahari adalah penggunaan panel surya. Mengingat hal ini mempengaruhi efektivitas dan efisiensi konversi energi matahari menjadi energi listrik, pemilihan jenis panel surya yang tepat sangatlah penting dalam situasi ini.[1]

Energi surya pada skala kecil hingga menengah sering menggunakan panel *monocrystalline* dan *polycrystalline*, keduanya memiliki perbedaan dalam harga, kinerja, dan adaptasi terhadap lingkungan. Variasi radiasi matahari dan suhu juga mempengaruhi kinerja panel. Oleh karena itu, perbandingan kinerja kedua panel ini penting untuk optimasi sistem pembangkit listrik tenaga surya, khususnya di Semarang, Baturaden, dan Ciwidey Bandung. Ini membantu orang awam dalam memilih jenis panel surya yang tepat.

Pelacakan titik daya maksimum adalah teknik yang sering digunakan untuk memaksimalkan daya keluaran yang dihasilkan oleh panel surya yang bekerja sama untuk menentukan suhu pengoperasian terbaik berdasarkan kondisi lingkungan. Oleh karena itu, perbandingan kinerja kerja panel surya *monocrystalline* dan *polycrystalline* menggunakan pelacakan titik daya maksimum (MPPT) pada ambang batas radiasi dan suhu yang berbeda diperlukan untuk meningkatkan efisiensi panel surya dalam aplikasi yang berbeda.[2]

Dalam situasi ini, simulasi komputer terbukti menjadi alat yang sangat membantu, memungkinkan peneliti membuat model dan menganalisis sistem yang rumit, seperti panel surya, dengan biaya yang jauh lebih murah dibandingkan biaya pengujian langsung. Matlab telah terbukti menjadi lingkungan komputasi dan pemrograman numerik yang sangat berguna dalam simulasi ini karena

memungkinkan pemodelan matematis panel surya yang tepat dan simulasi kinerjanya dalam kondisi yang berbeda. Selain itu, Matlab menyediakan sejumlah alat dan komponen untuk analisis data dan visualisasi hasil, yang merupakan aspek yang sangat sederhana untuk diperiksa.

Penelitian ini berupaya mengetahui kinerja kerja monokristalin dan polikristalin pada berbagai variasi tingkat penyinaran sinar matahari dan nilai suhu lingkungan, dengan penelusuran titik daya maksimum, melalui pemodelan matematis dan simulasi menggunakan Simulink Matlab. Temuan penelitian ini diharapkan dapat membantu dalam memilih jenis panel surya yang sesuai untuk lingkungan operasional dan secara aktif memajukan bidang energi terbarukan.

### **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang informasi yang telah diberikan sebelumnya, maka rumusan masalah yang akan diteliti dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana perubahan variasi iradiasi dan temperatur lingkungan mempengaruhi kinerja panel surya *monocrystalline* dan *polycrystalline*?
2. Bagaimana teknologi MPPT yang digunakan dapat meningkatkan kinerja panel surya?
3. Apakah terdapat perbedaan yang signifikan dalam konversi energi surya menjadi listrik antara panel surya *monocrystalline* dan *polycrystalline*?

### **1.3 Pembatasan Masalah**

Peneliti menawarkan sejumlah batasan masalah yang menjadi parameter penyelidikan ini, mengacu pada rumusan masalah di atas. Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut ditinjau dari beberapa aspek, yaitu :

1. Melakukan simulasi kerja dari panel surya pada berbagai variasi tingkat iradiasi dan temperatur dengan menggunakan software *Simulink MATLAB*.
2. Membandingkan kinerja panel surya *monocrystalline* dan *polycrystalline* dengan MPPT menggunakan teknik algoritma P&O.

3. Parameter kinerja yang akan diukur, meliputi efisiensi konversi energi, tegangan dan arus keluaran, dan titik operasi terbaik dari kedua jenis panel surya.
4. Pengambilan data radiasi dan suhu dilakukan dengan menggunakan data dari *website* Indonesia solar maps.
5. Tidak membahas perbandingan antara panel surya yang asli dengan simulasi panel surya menggunakan Simulink Matlab.

#### 1.4 Tujuan

Peneliti menguraikan beberapa tujuan penelitian ini agar tetap fokus, antara lain :

1. Menilai dampak variasi iradiasi dan temperatur lingkungan terhadap kinerja panel surya *monocrystalline* dan *polycrystalline* guna mengetahui perbedaan kinerja di bawah kondisi lingkungan yang berbeda.
2. Mengevaluasi efektivitas teknologi MPPT dengan algoritma P&O dalam meningkatkan efisiensi kinerja panel surya.
3. Memeriksa secara rinci bagaimana sel surya monokristalin dan polikristalin mengubah cahaya menjadi listrik untuk menemukan variasi penting antara keluarannya masing-masing.

#### 1.5 Manfaat

Merujuk kembali tujuan-tujuan sebelumnya, peneliti juga mengantisipasi manfaat-manfaat berikut dari penelitian ini:

1. Penelitian ini dapat membantu dibidang keilmuan dalam pengembangan teknologi panel surya yang lebih efisien.
2. Memberikan hasil simulasi dan analisa kondisi radiasi dan suhu yang paling sesuai untuk MPPT dengan metode P&O.
3. Temuan keluaran penelitian ini diyakini akan menjadi kerangka dasar untuk penelitian masa depan tentang pengendalian daya maksimum menggunakan MPPT tipe P&O dalam teknologi panel surya.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Laporan tugas akhir ini menggunakan pendekatan sistematis melalui sistematika penulisan sebagai berikut agar lebih mudah dipahami:

### **BAB I : PENDAHULUAN**

Bab ini membahas mengenai latar belakang, perumusan masalah, pembatasan masalah, tujuan penelitian, manfaat dan sistematika penulisan laporan tugas akhir.

### **BAB II : TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI**

Bab ini membahas dasar teori panel surya dan tinjauan pustaka yang digunakan sebagai referensi pendukung untuk menyelesaikan laporan tugas akhir ini.

### **BAB III : METODE PENELITIAN**

Bab ini membahas metode penelitian, prosedur yang digunakan untuk memodelkan panel surya menggunakan maximum power point tracking, data penelitian yang digunakan, dan diagram alir penelitian.

### **BAB IV : HASIL DAN ANALISA**

Bab ini membahas hasil dan analisis dari simulasi pemodelan panel surya dengan menggunakan simulink matlab. Ini membahas perbandingan hasil output dari panel surya non mppt dan menggunakan mppt.

### **BAB V : PENUTUP**

Bab ini mencakup kesimpulan dan saran dari laporan tugas akhir ini.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Untuk menyelesaikan laporan tugas akhir ini, peneliti berkonsultasi dengan studi literatur selain berbagai penelitian terdahulu atau terdahulu yang dijadikan acuan. Sumber-sumber berikut dikonsultasikan untuk penelitian ini:

- a. Laporan tugas akhir sebelumnya yaitu “Simulasi Perbandingan Kinerja Panel Surya Monokristalin dan Polikristalin Terhadap Perubahan Suhu Panel Surya dan Radiasi Matahari Menggunakan Simulink Matlab” ditulis oleh Achmad Arie Prativi. Efektivitas panel surya monokristalin dan polikristalin dibandingkan menggunakan pemodelan matematika sebagai respons terhadap variasi suhu dan radiasi matahari. Hasil simulasi menunjukkan bahwa radiasi matahari dan suhu panel surya berpengaruh terhadap daya maksimum, tegangan maksimum, dan arus hubung singkat. [3]
- b. Kajian “Kinerja Karakteristik Tegangan, Arus, dan Daya Panel Surya Terhadap Variasi Radiasi Matahari Menggunakan Matlab Simulink” disusun oleh Yusuf Dewantoro Herlambang, Jopan Desandra Armanah, Zaki Fuadi Emzain, Ahmad Hamim Su’udy, Nur Fatowil Aulia, dan Fatahul Arifin. Tujuannya adalah dengan menggunakan Simulink Matlab untuk menghitung karakteristik sel surya guna menganalisis karakteristik I-V & P-V PLTS. Tingkat radiasi yang lebih besar juga akan menghasilkan nilai tegangan dan arus rangkaian yang lebih besar, serta nilai daya maksimum dan tegangan rangkaian yang lebih tinggi. [4]
- c. Alfonsus Haryo Sangaji dan Tri Rijanto telah menyiapkan penelitian berjudul “Pelacakan Titik Daya Maksimum (MPPT) Menggunakan Metode Jaringan Netral Buatan pada Panel Surya”. Tujuan dari penelitian ini adalah membandingkan daya keluaran panel surya ketika terdapat variasi radiasi matahari dan suhu permukaan panel, baik dengan maupun tanpa penggunaan MPPT. [5]
- d. Kris Witono, Asrori Asrori, dan Agus Harijono menyusun penelitian berjudul “Perbandingan Kinerja Panel Surya Polikristalin dan Amorf pada Kondisi Cuaca

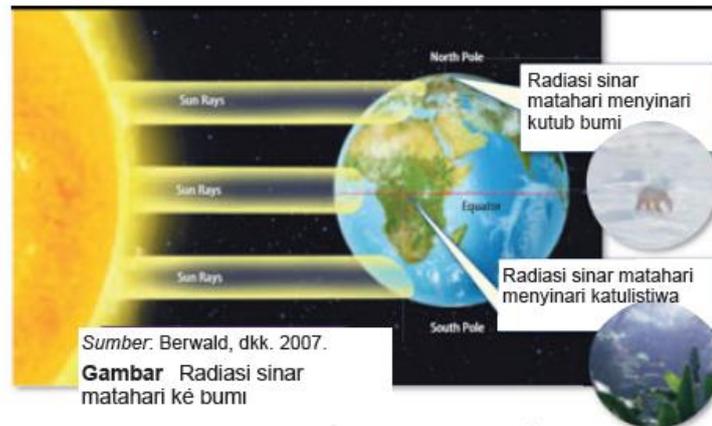
Kota Malang” dengan tujuan untuk mengetahui apakah panel surya polikristalin dapat menghasilkan daya aktual rata-rata sebesar 86,83 W, yaitu lebih tinggi dari panel surya amorf, dan 43,88 W, lebih kecil dari panel surya amorf. Efisiensi rata-rata panel surya polikristalin lebih tinggi dibandingkan panel surya amorf; yang pertama memiliki efisiensi 11,92% sedangkan yang kedua memiliki efisiensi 6,01%. [6]

- e. Kajian Mietra Anggara dan Widi Saputra bertajuk “Analisis Kinerja Sel Surya Monokristalin dan Polikristalin di Kabupaten Sumbawa NTB” berupaya mengetahui apakah panel surya monokristalin menghasilkan listrik lebih banyak dibandingkan panel surya polikristalin pada intensitas rendah dan tinggi, dengan selisih rata-rata sebesar 4,91. Watt. Efisiensi panel surya polikristalin adalah 12%, sedangkan panel surya monokristalin adalah 14%. [7]

## **2.2 Landasan Teori**

### **2.2.1 Potensi Radiasi Energi Surya**

Radiasi matahari merupakan gelombang elektromagnetik yang dikirim melalui proses kombinasi atom yang terjadi di pusat matahari. Energi gelombang pendek normal sebesar 1367 W/m<sup>2</sup> mencapai permukaan luar bumi pada iklim cerah, namun hanya sebagian kecil energi tersebut yang mencapai permukaan bumi dan lautan. Radiasi memasuki udara dalam berbagai siklus, beberapa di antaranya dikonsumsi oleh partikel-partikel di lingkungan, yang lain oleh permukaan. Radiasi sedunia, juga disebut sebagai radiasi genap seluruh dunia, terdiri dari dua jenis: radiasi langsung dan radiasi difus. Seluruh radiasi gelombang pendek yang mencapai permukaan bumi (datar) disebut radiasi global.[8]



Gambar 2. 1 Radisasi sinar matahari ke bumi

Indonesia terletak pada  $6^{\circ}$  LU- $11^{\circ}$  LS dan  $95^{\circ}$ - $141^{\circ}$  BT, tingkat radiasi harian rata-rata di sana adalah  $4,8 \text{ kWh/m}^2$ . Oleh karena itu, Indonesia memiliki sumber daya yang melimpah untuk memajukan teknologi fotovoltaik, yang menghasilkan listrik dari radiasi matahari. Bahan yang hanya dapat menghasilkan energi atau arus listrik jika terkena sinar matahari disebut fotovoltaik atau sel surya. Produksi energi diperkirakan akan menggantikan konsumsi bahan bakar fosil dan menghilangkan kebutuhan listrik di pulau-pulau kecil.[1]

Melalui RUPTL (Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik), pemerintah Republik Indonesia menargetkan 23% energinya berasal dari sumber baru dan terbarukan pada tahun 2025. Sementara itu, konsumsi energi surya diproyeksikan mencapai 45 GW pada tahun 2050, naik dari 6,5 GW pada tahun 2025. sekitar 22% dari potensi energi surya sebesar 207,9 GW. Indonesia memiliki lokasi yang ideal untuk memanfaatkan energi surya karena letaknya yang melintasi garis khatulistiwa. Radiasi matahari dipengaruhi oleh garis lintang, kualitas udara, dan sudut matahari terhadap garis khatulistiwa. [9]

### 2.2.2 Sel Surya

Alat penting untuk menghasilkan listrik bersih dari energi foton adalah sel surya. Modul PV akan tercipta jika komponen-komponen tersebut dihubungkan secara paralel dan seri. Setelah itu, susunan PV dibangun dengan menghubungkan modul-modul ini secara seri dan paralel, sehingga menghasilkan produksi listrik

yang lebih bersih dan ramah lingkungan. Salah satu cara untuk mengkonsep sel surya adalah sebagai bagian dari rangkaian listrik. Ia memiliki generator arus foto, yang mensimulasikan pembangkitan arus dari cahaya, sambungan pn yang dikenal sebagai dioda, dan dua resistor, satu disusun secara seri dan yang lainnya secara paralel, yang mensimulasikan efek joule dan kerugian rekombinasi. Model sel surya dioda tunggal kemudian digunakan untuk menggambarkan kombinasi ini. [10]

Sel surya juga disebut sebagai sel fotovoltaik. Arti lain dari frasa ini adalah cahaya listrik. Sel PV (fotovoltaik) menggunakan efek fotovoltaik untuk mengumpulkan energi matahari dan menciptakan aliran arus antara dua lapisan bermuatan. Desain umum sel surya digambarkan pada Gambar 2.2.



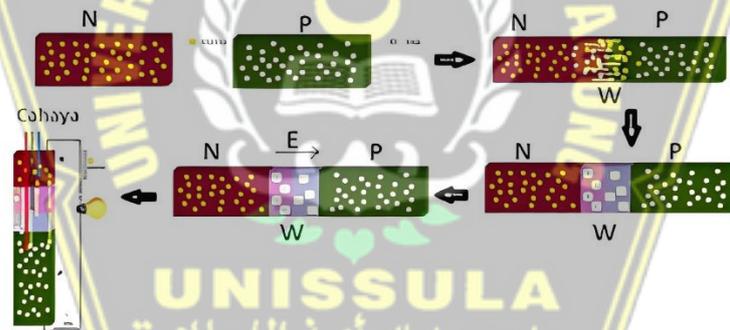
Gambar 2. 2 Contoh sel surya

Jumlah foton, pasangan elektron, dan hole yang dihasilkan oleh sel surya bergantung pada panjang gelombang dan intensitas cahaya yang mengenai sel surya. Kuantitas foton ditentukan oleh intensitas cahaya, sehingga semakin kuat cahaya yang mengenai permukaan sel surya, semakin banyak pasangan elektron dan lubang yang tercipta, sehingga meningkatkan arus yang mengalir. Lebih banyak pasangan elektron dan lubang tercipta pada panjang gelombang cahaya yang lebih pendek. Banyak yang menyebut konsep ini sebagai fotolistrik. [11]

Sederhananya, sel surya terdiri dari sambungan, atau sambungan semikonduktor pn, antara bahan semikonduktor tipe p dan n. Saat terkena sinar matahari, persimpangan ini menyebabkan aliran elektron yang disebut arus listrik. Meskipun penyerap merupakan elemen utama dalam proses ini, efisiensi sel surya

sangat dipengaruhi oleh setiap lapisan. Karena sinar matahari terdiri dari berbagai jenis gelombang elektromagnetik, maka penyerap ini dimaksudkan untuk mengumpulkan energi matahari sebanyak-banyaknya.

Elektron dari semikonduktor n bermigrasi ke semikonduktor p dan hole dari semikonduktor p berpindah ke semikonduktor n setelah kedua jenis semikonduktor ini digabungkan, bahkan memberikan penjelasan lain. Langkah selanjutnya melibatkan kombinasi elektron dari semikonduktor n dengan hole semikonduktor p dan elektron dari semikonduktor p dengan semikonduktor n. Daerah yang dilalui elektron-elektron ini pada akhirnya akan menjadi positif atau negatif. Energi celah pita adalah jumlah energi yang dibutuhkan untuk melepaskan ikatan kovalen elektron dan menginduksi aliran arus listrik. Deplesi adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan zona positif dan negatif pada Gambar 2.3 yang ditandai dengan huruf W.

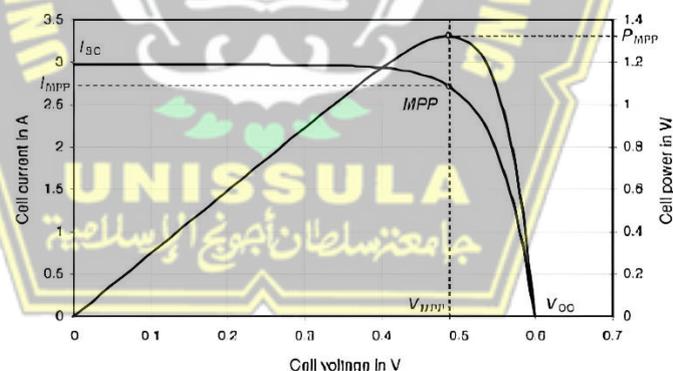


Gambar 2. 3 Konversi energi cahaya menjadi listrik

Ketika energinya sedikit lebih tinggi dari energi celah pita, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.3, elektron akan dilepaskan dari ikatan kovalennya. Kelebihan energi cahaya akan diubah menjadi panas di sel surya jika energi celah pita terlalu tinggi. Terdapat variasi muatan positif dan negatif di wilayah penipisan. Hasilnya adalah pembentukan medan listrik internal (E) dari sisi negatif yang berupaya menarik elektron ke semikonduktor n dan lubang kembali ke semikonduktor p. Medan magnet listrik ini cenderung menentang migrasi elektron dan hole pada awal daerah penipisan.

Ketika ada medan magnet listrik, sambungan p-n berada pada kesetimbangan. Hal ini menunjukkan bahwa banyaknya lubang yang ditarik kembali ke semikonduktor p oleh medan listrik E sama dengan jumlah lubang yang berpindah dari semikonduktor p ke n. Semua elektron dan hole akan dicegah untuk berpindah dari satu semikonduktor ke semikonduktor lainnya oleh medan listrik E. Ini adalah titik pada sambungan p-n di mana cahaya diubah menjadi listrik. Celah pita energi yang lebar, refleksi dan rekombinasi yang lebih rendah, serta konduktivitas material yang lebih tinggi semuanya diperlukan agar penyerap dapat memaksimalkan penyerapan cahaya dan meningkatkan efisiensi sel surya.

Secara umum sel surya terdiri dari irisan bahan semikonduktor yang memiliki ketebalan minimal 0,3 mm serta kutub positif dan negatif. Dua semikonduktor yang paling banyak digunakan adalah silikon dan germanium, yang bertindak sebagai konduktor dan isolator pada suhu rendah dan sebagai konduktor ketika terdapat energi dan panas. Karena silikon menyumbang sekitar 25% kerak bumi, kita dapat berasumsi bahwa tidak akan ada kelangkaan material.



Gambar 2. 4 Kurva grafik I-V

Total pengeluaran listrik (Watt) dari sel surya adalah sama dengan tegangan (V) operasi dikalikan dengan arus (I) operasi. Tegangan serta arus keluaran yang dihasilkan ketika sel surya memperoleh penyinaran merupakan karakteristik yang disajikan dalam bentuk kurva I-V pada Gambar 2.4. Kurva ini menunjukkan bahwa pada saat arus dan tegangan berada pada titik kerja maksimal maka akan menghasilkan daya keluaran maksimum (PMPP). Tegangan di maximum power

point (MPP) VMPP, lebih kecil dari tegangan rangkaian terbuka ( $V_{oc}$ ) dan arus saat MPP IMPP, adalah lebih rendah dari arus short circuit ( $I_{sc}$ ). Berikut merupakan karakteristik dari sel surya :

- a. Short Circuit Current ( $I_{sc}$ ) : terjadi pada suatu titik dimana tegangannya adalah nol, sehingga pada saat ini, daya keluaran adalah nol.
- b. Open Circuit Voltage ( $V_{oc}$ ) : terjadi pada suatu titik dimana arusnya adalah nol sehingga saat ini pun daya keluaran adalah nol.
- c. Maximum Power Point (MPP) : adalah titik daya output maksimum, yang sering dinyatakan sebagai “knee” dari kurva I-V. [12]

Berdasarkan ketiga parameter tersebut, maka daya keluaran dari sel surya dapat diperoleh dengan persamaan [13]

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF \quad (2.1)$$

Dengan :

- $P_{out}$  = daya keluaran sel surya (W)
- $V_{oc}$  = tegangan *open circuit* (V)
- $I_{sc}$  = arus *short circuit* (A)
- $FF$  = *fill factor*

$FF$  (*Fill Factor*) merupakan parameter yang menentukan daya maksimum dari panel sel surya. Besarnya  $FF$  dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$FF = V_{mp} \times I_{mp} / V_{oc} \times I_{sc} \text{ atau } FF = P_{mp} / V_{oc} \times I_{sc} \quad (2.2)$$

Efisiensi konversi energi cahaya menjadi energi listrik diperoleh dari perbandingan antara daya keluaran dengan daya masukan. Daya masukan sel surya secara matematis dapat dituliskan dengan persamaan berikut :

$$P_{in} = G \times A \quad (2.3)$$

Sehingga besarnya nilai efisiensi diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\eta = P_{out} / P_{in} \times 100\% \quad (2.4)$$

Dengan :

$V_{mp}$  = tegangan maksimum (V)

$I_{mp}$  = arus maksimum (A)

$P_{mp}$  = daya maksimum (W)

$\eta$  = efisiensi (%)

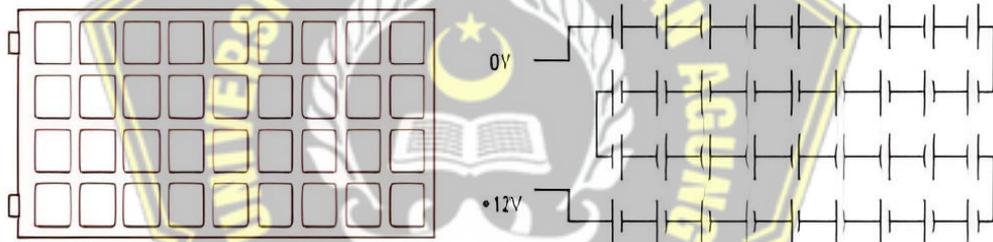
$P_{in}$  = daya masukan sel surya (W)

$G$  = iradiasi matahari ( $W/m^2$ )

$A$  = luas panel surya ( $m^2$ )

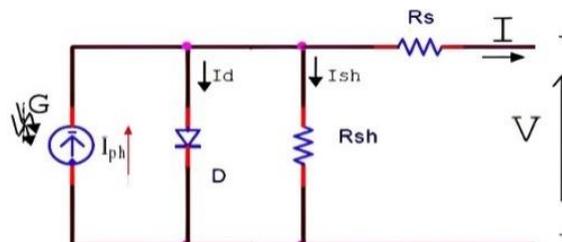
### 2.2.3 Rangkaian Ekuivalen Sel surya

Jumlah sel surya dan sirkuit dalam modul surya tergantung pada desain yang diinginkan. Sel surya dapat dihubungkan secara paralel atau seri. Gambar 2.5 menjelaskan modul-modul yang dihubungkan secara seri dan terdiri dari 36 sel.



Gambar 2. 5 36 sel surya dirangkai seri

Jika diperlukan arus yang lebih tinggi, sel surya ditempatkan secara paralel. Rangkaian seri digunakan untuk menghasilkan keluaran tegangan tinggi. Persamaan modul surya berasal dari persamaan sel surya yang direpresentasikan sebagai berikut pada Gambar 2.6 dan mempunyai rangkaian ekuivalen.



Gambar 2. 6 Rangkaian ekivalen sel surya dengan hambatan seri dan paralel

Sebuah model rangkaian yang lebih realistis dari sel photovoltaik diilustrasikan pada Gambar 2.6, yang mana lebih dikenal sebagai model dioda tunggal yang nyata dengan resistansi seri ( $R_s$ ) dan resistansi paralel ( $R_p$ ). Idealnya, nilai  $R_s$  dan  $R_p$  diabaikan tetapi dalam kenyataannya tidak mungkin mengabaikan resistansi ini, karena efisiensi sel surya pv dipengaruhi oleh parameter-parameter ini.  $R_s$  adalah resistansi seri dalam jalur arus dan dianggap sebagai kerugian akibat efek joule, terutama disebabkan oleh grid logam, bahan semikonduktor dan konektor-konektor. Sedangkan  $R_p$  adalah resistansi paralel yang terkait dengan kebocoran arus akibat ketebalan sel, efek permukaan, dan disebut sebagai resistansi shunt. Efek  $R_s$  lebih terlihat karena resistansi sel yang terkali dalam modul PV dibandingkan dengan  $R_p$ . Efek  $R_p$  hanya mencolok ketika jumlah modul PV yang besar diperhitungkan dalam sistem fotovoltaik. Oleh karena itu,  $R_s$  diperhitungkan dan  $R_p$  dianggap tak terbatas, kemudian persamaan dioda adalah sebagai berikut: [14]

$$I_d = I_s [ \exp (q(V+IR_s) / N_s * K * A * T_o) - 1 ] \dots \dots \dots (2.5)$$

Ketika nilai  $R_s$  diperhitungkan, maka dihitung dengan persamaan berikut :

$$I = I_{ph} - I_s [ \exp (q (V + IR_s) / N_s * K * A * T_o) - 1 ] \dots \dots \dots (2.6)$$

Dengan mempertimbangkan sel pv yang dikopel secara seri dan paralel dan arus keluaran  $I$  dihitung melalui persamaan 2.6 dan diilustrasikan dalam persamaan 2.7 berikut :

$$I = N_p * I_{ph} - N_p * I_s [ \exp (q (V + IR_s) / N_s * K * A * T_o) - 1 ] \dots \dots \dots (2.7)$$

Dengan mempertimbangkan persamaan-persamaan diatas untuk pemodelan sel PV, ada beberapa parameter yang perlu ditentukan oleh pemodelan, bergantung pada model modul PV yang dipilih. Dalam pemodelan ini, kita perlu menghitung nilai  $I_{ph}$ ,  $I_{rs}$ ,  $I_s$  dan juga ini dapat diperoleh dari persamaan-persamaan berikut.  $I_{ph}$  proporsional terhadap fluks yang jatuh dan independen terhadap  $V$  atau  $R_s$ , linear tergantung pada iradiasi matahari dan juga dipengaruhi oleh suhu sesuai dengan persamaan  $I_{ph}$  yang diilustrasikan dalam persamaan 2.7.

$$I_{ph} = [I_{sc} + K_i (T_o - T_r)] * G / G_{ref} \dots \dots \dots (2.8)$$

keterangan :

- $K_i$  = koefisien suhu arus pint cell  
 $T_o$  = suhu nyata (K)  
 $I_{ph}$  = arus sel pv (A)  
 $I_{sc}$  = arus short circuit (A)  
 $G_{ref}$  = iradiasi referensi STC (W/m<sup>2</sup>)  
 $G$  = iradiasi matahari saat ini (W/m<sup>2</sup>)

Arus reversi saturasi  $I_{rs}$  dan arus jenuh  $I_s$  dihitung dengan menggunakan persamaan 2.9 dan 2.10. dimana ada faktor idealitas  $A$  dan celah pita energi  $E_g$  diperoleh dari model yang dipilih dan diambil pabrikan modul yang dipilih.

$$I_{rs} = I_{sc} / [ \exp (q(V + I R_s) / N_s * K * A * T_o) - 1 ] \dots \dots \dots (2.9)$$

keterangan :

- $K$  = konstanta Boltzman (1,380 x 10<sup>-23</sup> J/K)  
 $N_s$  = jumlah sel yang terhubung seri  
 $T_o$  = suhu nyata (K)  
 $I_{sc}$  = arus short circuit (A)  
 $q$  = muatan elektron (1,602 x 10<sup>-19</sup> C)  
 $R_s$  = hambatan seri (Ω)  
 $A$  = faktor ideality  
 $V$  = tegangan output pv (V)

$$I_s = I_{rs} [T_o / T_r]^3 \exp [(q * E_g / A * K) (1 / T_r - 1 / T_o)] \dots \dots \dots (2.10)$$

keterangan :

- $K$  = konstanta Boltzman (1,380 x 10<sup>-23</sup> J/K)  
 $K_i$  = koefisien suhu arus pint cell  
 $E_g$  = celah pita energi (1,1 eV)  
 $T_o$  = suhu nyata (K)  
 $T_{rc}$  = suhu referensi (K)  
 $q$  = muatan elektron (1,602 x 10<sup>-19</sup> C)

- $A$  = faktor ideality  
 $I$  = arus output pv (A)

#### 2.2.4 Faktor Pengoperasian Panel Surya

Ada banyak elemen yang mempengaruhi kinerja panel surya, beberapa di antaranya adalah sebagai berikut:

##### 1. *Ambient air temperature*

Setiap kenaikan suhu permukaan panel surya akan menurunkan tegangan yang dihasilkannya, yang memungkinkan panel surya untuk berfungsi sepenuhnya. Temperatur permukaan harus tetap pada kondisi standart, biasanya 25°C. Untuk setiap kenaikan 10 °C, temperatur permukaan akan mengalami penurunan daya sebesar 0,5%.

##### 2. Radiasi matahari

Pengaruh radiasi matahari terhadap tegangan dan arus sangat kecil. Spektrum matahari dari matahari hingga bumi mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap variasi radiasi matahari baik di bumi maupun di tempat lain.

##### 3. Kecepatan angin bertiup

Temperatur permukaan panel akan cenderung dingin apabila kecepatan tiup angin di sekitarnya kencang

##### 4. Keadaan atmosfer bumi

Kondisi berawan, mendung, partikel debu udara, asap uap udara, kabut, hingga polusi semuanya berdampak signifikan terhadap maksimal pembangkitan arus listrik dari rangkaian modul surya.

##### 5. Peletakan modul sel surya

Penempatan panel surya yang ideal diperlukan untuk memperoleh penyerapan energi matahari yang maksimal. Ada lima metode untuk melakukan hal ini: fixed array (memasang panel surya pada dudukan panel); pergeseran sensasi (menyesuaikan penempatan secara manual ke sudut optimal); penggerak sumbu tunggal (otomatis bergerak sesuai dengan pergerakan matahari dari timur ke barat); dan penggerak dua sumbu (otomatis bergerak sesuai dengan pergerakan matahari). [12]

### 2.2.5 Jenis Sel Surya

Jenis-jenis sel surya digolongkan berdasarkan teknologi pembuatannya. Secara umum, sel surya termasuk dalam tiga kategori, yaitu :

#### 1. *Monocrystalline*

Varietas ini terbuat dari batangan kristal silikon murni yang telah diiris tipis. Proses pembuatan keripik singkong hampir sama dengan pembuatan keripik berbahan dasar singkong; Namun kristal silikon murni memerlukan teknik unik untuk diiris menjadi potongan tipis yang siap dimasak. Chip sel surya berperforma tinggi yang identik akan diproduksi menggunakan teknologi ini. Hasilnya, dengan efisiensi 15% hingga 20% jika dibandingkan dengan sel surya jenis lain, sel surya ini merupakan jenis sel surya yang paling efisien. Namun harganya mahal di pasaran karena kristal silikon murni dan biaya teknologinya.

Kekurangannya adalah bergantung pada bentuk batang kristal silikon, sel surya ini biasanya berbentuk bulat atau heksagonal, sehingga menyisakan banyak ruang kosong saat dirakit untuk membuat panel atau modul surya. Karena terbuat dari bentuk silikon yang sangat murni dan berwarna hitam legam, sel surya monokristalin, juga dikenal sebagai sel kristal tunggal, sangat mudah diidentifikasi sebagai bahan paling efisien untuk mengubah sinar matahari menjadi listrik.



Gambar 2. 7 Panel surya monocrystalline

Selain merupakan sel surya berbasis silikon yang paling tahan lama, sel surya monokristalin juga merupakan jenis sel surya yang paling hemat ruang. Bahkan, untuk panel yang menggunakan teknologi monocrystalline, yang mampu bertahan setengah dari perkiraan umur sel, beberapa produsen akan memberikan garansi hingga 25 tahun. Walaupun teknik ini lebih unggul, namun biayanya masih sangat mahal. Meskipun sel polikristalin lebih mahal daripada sel monokristalin, sel tersebut lebih murah karena tingginya limbah yang dihasilkan dari teknik pemotongan empat sisi.[16]

## 2. *Polycrystalline*

Jenis ini dibuat dengan melebur banyak batang kristal silikon dan kemudian menuangkan bahan yang meleleh ke dalam cetakan persegi. Sel surya yang dihasilkan tidak serupa satu sama lain dan memiliki efisiensi yang lebih rendah, sekitar 13% hingga 16%, karena kristal silikon tidak semurni sel surya monokristalin. Selanjutnya motif pecahan kaca ditampilkan di dalam layar kristal silikon. Bentuk persegi jika disusun menjadi panel surya akan kompak dan tidak meninggalkan area yang tidak terpakai, berbeda dengan panel surya monokristalin yang ditunjukkan di atas. Harganya juga lebih rendah dibandingkan monokristalin karena cara pembuatannya lebih sederhana. Jenis ini adalah yang paling populer dan banyak digunakan saat ini.



Gambar 2. 8 Panel surya polycrystalline

Panel surya polikristalin tidak memerlukan proses Czochralski, berbeda dengan panel surya monokristalin. Pada tahun 1981, panel surya

silikon polikristalin pertama, juga dikenal sebagai polisilikon (p-Si) atau silikon multi-kristalin (mc-Si), diperkenalkan ke pasar. Silikon mentah dipanaskan dan kemudian dimasukkan ke dalam cetakan persegi, yang kemudian dikirim dan dikurangi.[16]

### 3. *Thin Film Solar Cell* (TFSC)

Beberapa lapisan bahan sel surya kecil dimasukkan ke dalam lapisan pondasi untuk membuat sel surya jenis ini. Sel surya jenis ini sangat tipis karena ringan dan fleksibel. Nama lainnya adalah TFPV, atau fotovoltaiik film tipis.



Gambar 2. 9 Panel surya thin film

Sel surya thin film ini dibagi menjadi dua kategori berdasarkan materialnya yaitu :

#### a. Sel surya *amorphous silicon* (a-Si)

Sel surya silikon amorf pertama kali banyak digunakan pada jam tangan dan kalkulator. Namun seiring kemajuan teknologi manufaktur, semakin meluasnya penggunaan metode produksi yang disebut "penumpukan lapisan", yang mana beberapa lapisan silikon amorf dilapis untuk membuat sel surya, akan menghasilkan peningkatan efisiensi sekitar 6% hingga 8%.

#### b. Sel surya *cadmium telluride* (CdTe)

Membandingkan bentuk sel surya ini dengan sel surya silikon amorf, efisiensi bahan kadmium telurida yang digunakan berkisar antara 9% hingga 11%.

c. Sel surya *copper indium gallium selenide* (CIGS)

Sel surya CIGS menawarkan efisiensi tertinggi sekitar 10% hingga 12%, jika dibandingkan – dua jenis sel surya film tipis lainnya yang disebutkan di atas. Zat berbahaya kadmium yang ada dalam sel surya CdTe tidak ada pada sel surya jenis ini, dan proses yang digunakan untuk membuat sel surya film tipis ini Karena masih segar, kemungkinan besar akan digunakan di masa depan. Harganya murah, tipis, ringan, dan fleksibel, sehingga cocok untuk dipasang pada berbagai permukaan, termasuk kaca, ubin bangunan, dan tekstil seperti pakaian. [16]

### 2.2.6 Maximum Power Point Tracking (MPPT)

Modul surya diatur menggunakan pelacakan titik daya maksimum, atau MPPT, untuk memungkinkannya menghasilkan semua daya yang mampu disediakannya. Meskipun MPPT bukan sistem pemrosesan mekanis, MPPT dapat digunakan bersama dengannya. MPPT didasarkan pada algoritma pelacakan tertentu dan mekanisme kontrol. Teknik MPPT digunakan untuk menentukan tegangan daya puncak, atau tegangan di mana modul surya dapat menghasilkan daya maksimum. Radiasi matahari, suhu luar, dan suhu sel surya semuanya mempengaruhi daya maksimum. [5]

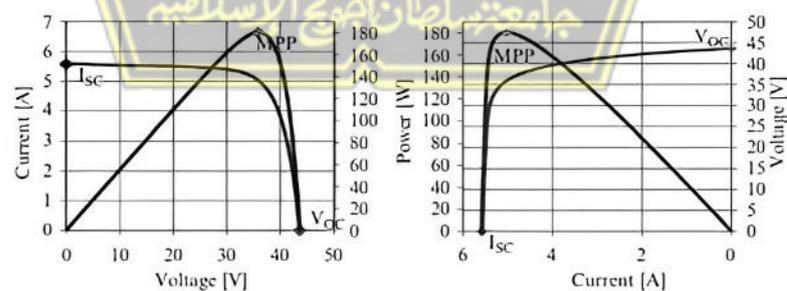
Tujuan utama dari maksimum power point tracking (MPPT) adalah untuk memaksimalkan keluaran daya modul surya sekaligus mengoptimalkan tegangannya untuk efisiensi optimal. Algoritma MPPT menggunakan logika sederhana untuk menentukan daya terbaik yang dapat dihasilkan modul surya untuk mengisi daya baterai. Hal ini dilakukan dengan menghitung keluaran modul dan membandingkannya dengan tegangan baterai. Selain itu, MPPT memiliki kapasitas untuk memberikan arus maksimum pada baterai. Selama beberapa dekade terakhir, banyak metode telah dikembangkan untuk menentukan titik maksimum (MPP). Ada banyak perbedaan antara pendekatan-pendekatan ini, termasuk jumlah sensor yang dibutuhkan, kompleksitasnya, biaya, rentang kemanjuran, kecepatan konvergensi, keakuratan dalam melacak perubahan suhu dan radiasi, serta persyaratan perangkat keras.

Perturb dan Observe, pendekatan konduktansi ekstra, arus hubung singkat fraksional, tegangan rangkaian terbuka fraksional, dan masih banyak lagi adalah beberapa teknik MPPT yang paling banyak digunakan. Dua algoritma yang paling sering digunakan diantara berbagai metode yang dibahas adalah algoritma Inkremental Conductance (InCond) dan metode Perturb and Observe (P&O).

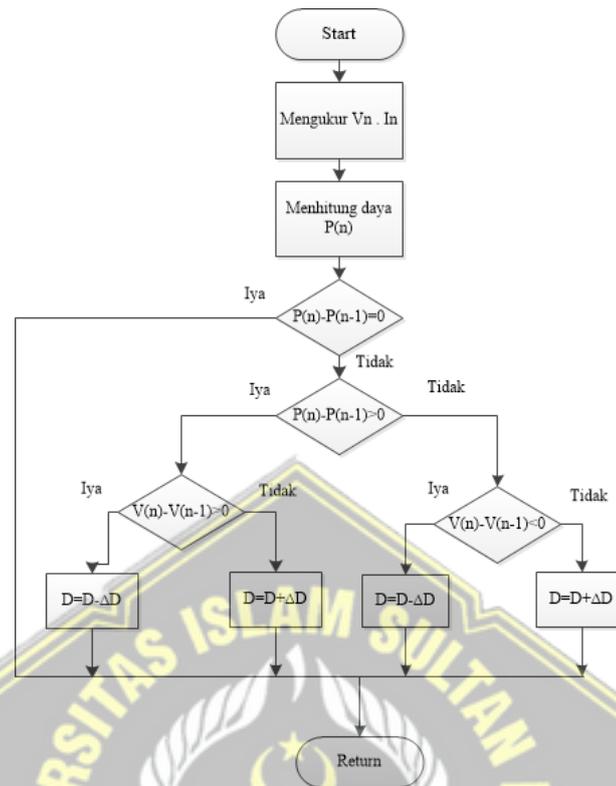
### 2.2.7 Algoritma Perturb and Observe (P&O)

Tujuan dari algoritma Perturb and Observe (P&O) adalah untuk secara konstan memindahkan titik kerja lereng positif dan negatif ke titik maksimum. Dengan mengubah siklus penggunaan fotovoltaik dan memantau daya fotovoltaik untuk menyesuaikan tegangan pada siklus berikutnya, algoritma ini mengenali gangguan periodik pada tegangan fotovoltaik. Nilai parameter tegangan, dan arus dimasukkan ke dalam algoritma P&O.

Gambar 2.10 mengilustrasikan bagaimana daya meningkat dengan meningkatnya tegangan di sisi kiri titik tegangan tengah (MPP) dan menurun dengan penurunan tegangan di sisi kanan. Gangguan berikutnya harus dijaga pada arah yang berlawanan dari arah terjadinya gangguan sebelumnya jika terjadi penurunan kekuatan.[14] Dengan data ini, algoritma diterapkan seperti yang diilustrasikan pada diagram alur Gambar 2.11, dan prosedur diulangi hingga titik terendah maksimum (MPP) tercapai. Titik puncaknya diputar oleh titik operasional.



Gambar 2. 10 Kurva karakteristik panel surya

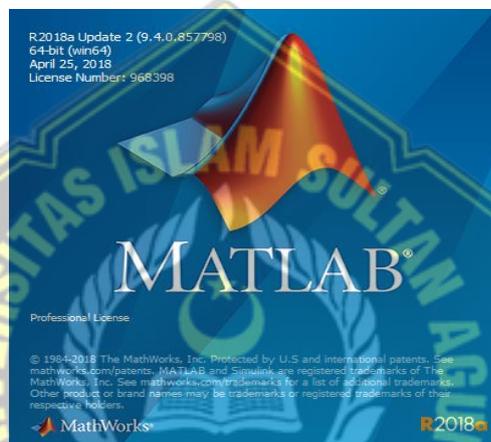


Gambar 2. 11 Flowchart dari algoritma perturb and observe

MPPT adalah sebutan untuk sistem elektronik yang dapat melacak titik daya maksimum. Meskipun sinar matahari berdampak pada keluaran panel surya, panel tersebut tetap dapat menghasilkan listrik. Untuk mempertahankan titik kerja maksimal (MPP) diperlukan suatu algoritma. Algoritma pengendalian MPPT dapat diimplementasikan dengan menggunakan pendekatan Climbing Hill. Seperti terlihat pada Gambar 2.11, algoritma Perturb dan Observe memiliki tiga jenis titik berbeda dan terletak di tiga tempat berbeda. Puncak kurva = 0, puncak kanan  $\Delta P/\Delta V < 0$ , dan puncak kiri  $\Delta P/\Delta V > 0$ . Dengan menggunakan teknik ini, siklus kerja yang mengindikasikan variasi daya terganggu. Duty cycle akan bertambah jika daya saat ini lebih tinggi dari daya sebelumnya dan menurun jika daya saat ini lebih rendah dari daya sebelumnya. Akibatnya, pendekatan ini memerlukan nilai daya keluaran yang harus disuplai untuk menghitung daya yang diterapkan ke beban.

### 2.2.8 Matlab

Para profesional di bidang teknik komputer, teknik elektro, dan mata pelajaran terkait lainnya sering menggunakan Matlab, yang merupakan singkatan dari "Laboratory Matrix". Ada dua komponen yang saling terkait yang membentuk Matlab. Bahasa pemrograman, yang hanya terdiri dari beberapa konstruksi pemrograman dasar, dibahas di bagian pertama. Perpustakaan program atau fungsi pra-instal yang melaksanakan tugas-tugas penting di berbagai domain ilmiah dan teknik merupakan bagian kedua.

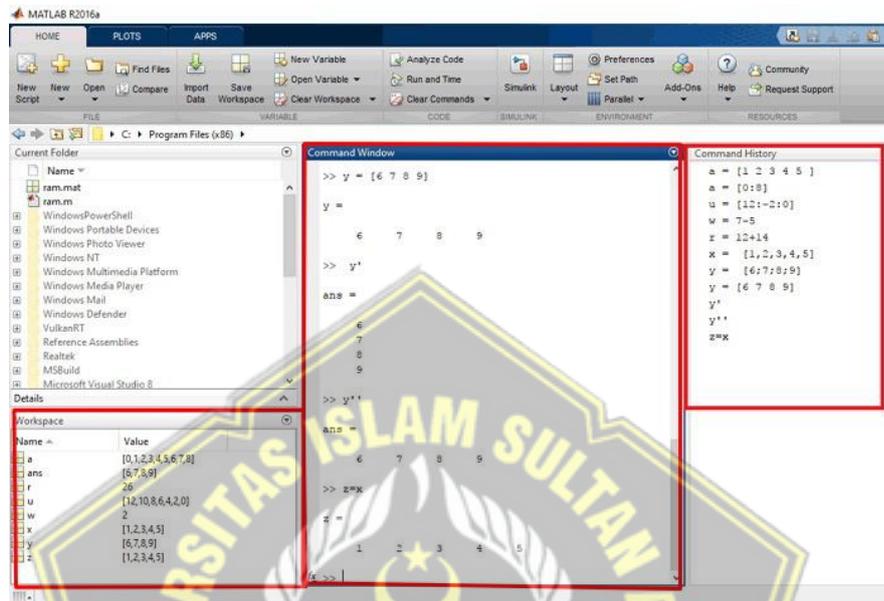


Gambar 2. 12 Ikon software matlab

Oleh karena itu Matlab akan meningkatkan produktivitas mahasiswa teknik, baik di kelas maupun di tempat kerja. Karakter, variabel logika, bilangan bulat, bilangan real, bilangan kompleks, dan tipe data lainnya semuanya dapat dikerjakan di Matlab dan disusun menjadi array dan struktur lainnya. Matlab adalah alat interaktif yang memungkinkan untuk melihat semua hasil antara program yang dihasilkan. [17] Program ini sering digunakan dalam domain yang memerlukan perhitungan matematis yang rumit; dalam domain ini, semua perhitungan Matlab berbentuk operasi matriks, dengan hasilnya ditampilkan sebagai plot grafis. Beberapa komponen kunci perangkat lunak Matlab diperlukan untuk menjalankan aplikasi, termasuk :

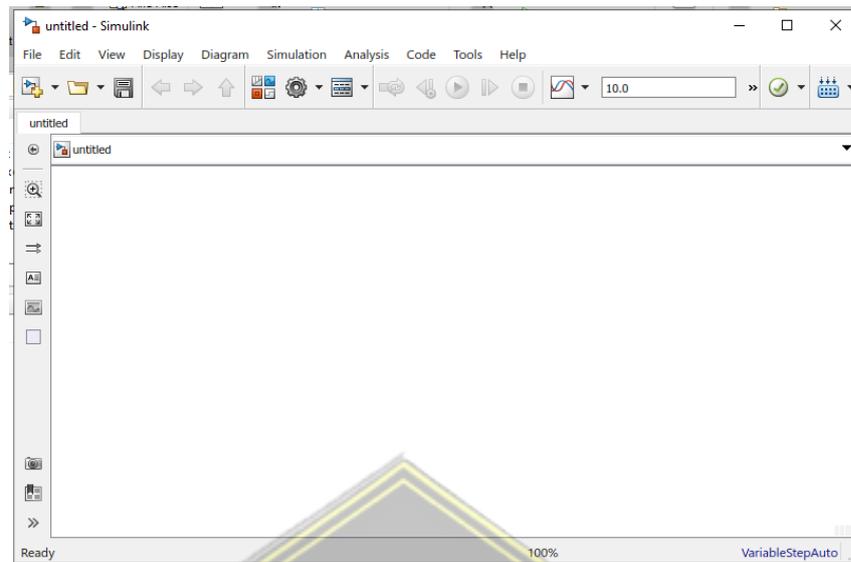
1. Ketikkan fungsi yang diinginkan pada Command window.

2. Dimungkinkan untuk mendapatkan fungsi riwayat perintah yang telah digunakan sebelumnya pada Command history.
3. Di Matlab, variabel dibuat menggunakan Workspace.

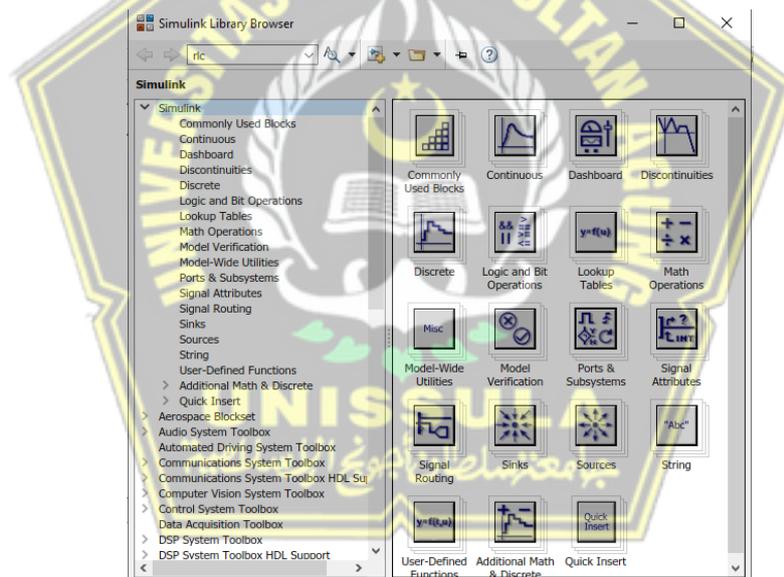


Gambar 2. 13 Bagian window matlab

Salah satu menu aplikasi Matlab disebut Simulink. Apa yang membedakan Matlab dari perangkat lunak berbasis matriks lainnya seperti FreeMat adalah kemampuannya untuk menggerakkan berbagai model, mulai dari pemrosesan gambar hingga pemrosesan sinyal, berkat fungsi Simulink-nya. Dengan menggunakan Simulink kita dapat merancang diagram blok berdasarkan sistem yang akan kita bangun. Simulasi ini mengurangi kemungkinan bahwa kita akan mengembangkan sistem yang rusak. Kita juga dapat melakukan analisa awal terhadap sistem yang akan kita rancang.



Gambar 2. 14 Tampilan model simulink pada matlab



Gambar 2. 15 Kotak dialog simulink library

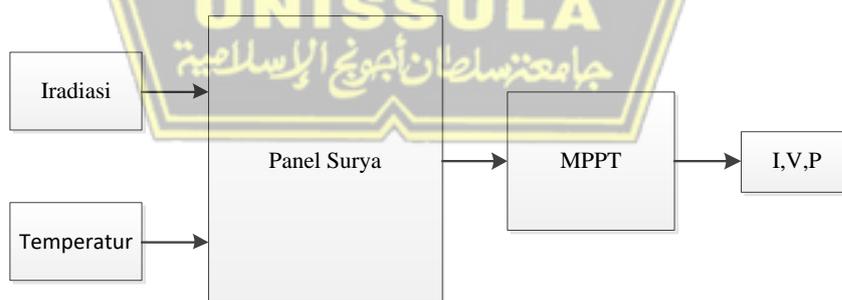
## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Metode Penelitian

Dalam penelitian ini, penulis menggunakan Simulink Matlab untuk mereplikasi pengaturan panel surya dan perangkat MPPT dengan tingkat radiasi dan suhu yang berbeda untuk menentukan nilai daya keluaran maksimum. Pemodelan panel surya menjadi rangkaian Simulink harus dilakukan terlebih dahulu. Ada dua jenis panel surya dalam set ini: satu monokristalin dan lainnya polikristalin. Keduanya mempunyai kapasitas yang berbeda-beda. Selain itu, penulis melakukan simulasi menggunakan sejumlah alat dan langkah dalam prosesnya.

### 3.2 Perancangan Sistem

Pembangunan sistem simulasi panel surya melibatkan pelacakan titik daya maksimum dan pemodelan matematis panel surya. Perangkat lunak digunakan untuk mereplikasi setiap aspek arsitektur sistem ini, termasuk melacak titik daya maksimum dan mensimulasikan panel surya. Kemampuan simulink Matlab R2018a digunakan dalam desain simulasi. Model perancangan sistem simulasi penelitian terlihat seperti ini:



Gambar 3. 1 Perancangan sinulasi panel surya

Gambar 3.1 menampilkan desain diagram blok sistem secara keseluruhan yang akan dibangun untuk penelitian ini. Radiasi matahari dan suhu permukaan panel surya yang diteliti merupakan masukan. Nilai masukannya akan bervariasi berdasarkan data peta matahari Indonesia yang menunjukkan berapa banyak panas

dan radiasi yang dipancarkan matahari ke luar angkasa. Nilai masukan tersebut akan diubah menjadi listrik dengan parameter arus, tegangan, dan daya oleh panel surya. MPPT kemudian menerima tegangan dan arus keluaran dari panel surya dan menggunakan informasi ini untuk melihat setiap keluaran pada kurva karakteristik PV panel surya. Keluaran panel surya kemudian dibandingkan sebelum dan sesudah digunakan MPPT.

### 3.3 Peralatan dan Data Penelitian

Alat yang digunakan untuk menyelesaikan penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Laptop / PC

Laptop yang digunakan untuk penelitian ini bermerk Acer Core i3 dengan sistem operasi windows 10 sebagai media pemodelan dan simulasi software Matlab Simulink.

2. *Software Matlab*

*Software Matlab simulink* yang digunakan untuk penelitian ini memiliki versi R2018a 64bit sebagai pemrograman algoritma dan desain model panel surya.

3. Data panel surya

Karena aplikasi panel surya skala kecil hingga menengah sering kali menggunakan panel surya dengan kapasitas 100 Wp dan 250 Wp, maka penelitian ini menggunakan dua jenis panel surya monokristalin dan polikristalin yang berbeda. Oleh karena itu, ada empat lembar data panel surya yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain sebagai berikut:

a. Panel surya *monocrystalline* 100 watt

Tabel 3. 1 Datasheet panel surya monocrystalline 100 Watt

No.	Panel Surya <i>Monocrystalline</i>	
1.	Daya maksimal (Pmax)	100 W
2.	Tegangan maksimal (Vmp)	18.1 V
3.	Arus maksimal (Imp)	5.54 A
4.	Tegangan open circuit (Voc)	22.2 V

5.	Arus short circuit (Isc)	6.00 A
6.	Jumlah sel	72 Sel
7.	Temperature koefisien	0.065

b. Panel surya *polycrystalline* 100 watt

Tabel 3. 2 Datasheet panel surya polycrystalline 100 Watt

No.	Panel Surya <i>Polycrystalline</i>	
1.	Daya maksimal (Pmax)	100 W
2.	Tegangan maksimal (Vmp)	17.8 V
3.	Arus maksimal (Imp)	5.62 A
4.	Tegangan open circuit (Voc)	22.4 V
5.	Arus short circuit (Isc)	5.95 A
6.	Jumlah sel	36 Sel
7.	Temperature koefisien	0.06

4. Data iradiasi dan temperatur

Untuk lokasi pengambilan data di Kota Semarang, Baturaden dan Ciwidey Bandung, penelitian ini menggunakan pengukuran temperatur dan iradiasi sebagai parameter masukan untuk percobaan yang akan dilakukan. Pengambilan data ditahu 2023 nilai suhu dilakukan melalui aplikasi smartphone dan data iradiasi dikumpulkan melalui situs Indonesia Solar Maps pada tanggal 19 Oktober di Kota Semarang, 23 Oktober di Baturaden dan 9 Oktober di Ciwidey Bandung. Hasilnya ditampilkan pada tabel sebagai berikut :

Tabel 3. 3 Data nilai iradiasi dan temperatur di Kota Semarang

No.	Waktu (Jam)	Temperatur (°C)	Iradiasi (W/m <sup>2</sup> )
1.	07.00	29	189,5
2.	08.00	30	347,1
3.	09.00	32	485,7
4.	10.00	33	564,5
5.	11.00	35	699,3
6.	12.00	34	606,3

7.	13.00	33	558,5
8.	14.00	32	411,4
9.	15.00	31	251,8
10.	16.00	30	116,7
11.	17.00	29	29,1

Tabel 3. 4 Data nilai iradiasi dan temperatur di Baturaden

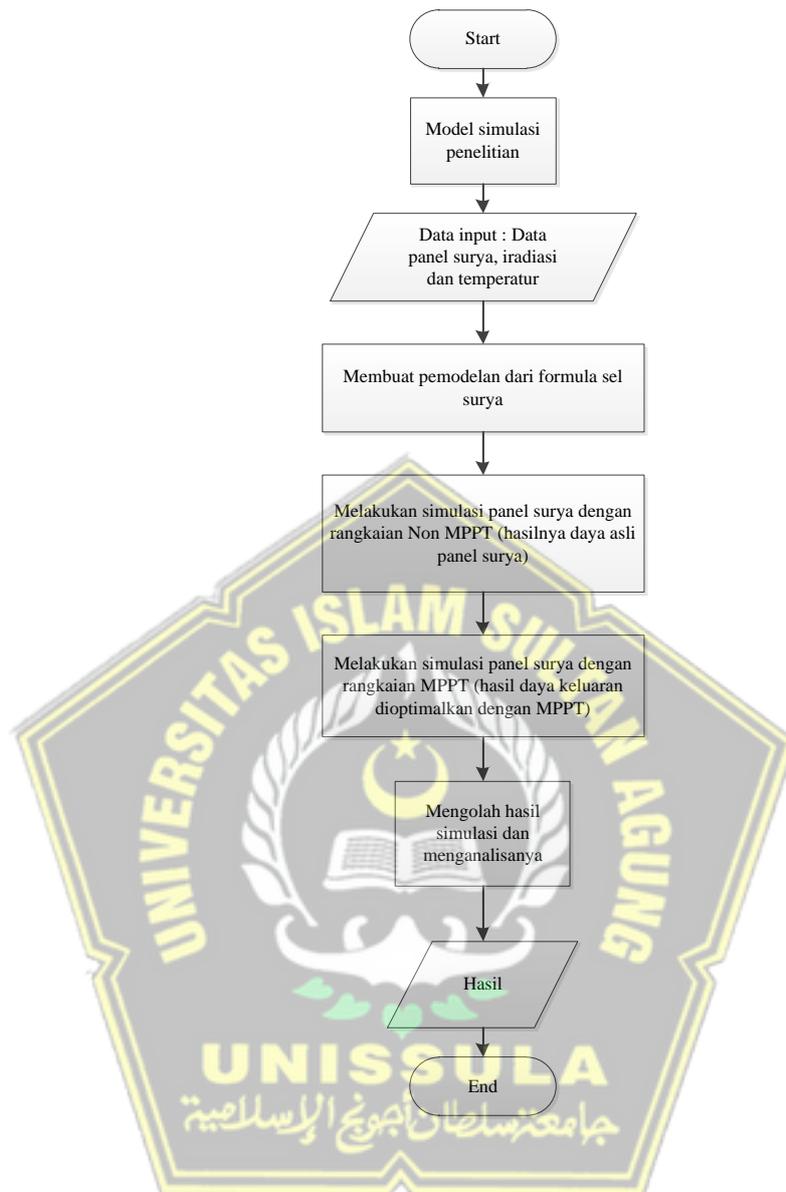
No.	Waktu (Jam)	Temperatur (°C)	Iradiasi (W/m <sup>2</sup> )
1.	07.00	21	189,8
2.	08.00	23	391
3.	09.00	24	480
4.	10.00	26	531,6
5.	11.00	28	621,4
6.	12.00	27	604,4
7.	13.00	26	470,5
8.	14.00	25	337,5
9.	15.00	25	176,2
10.	16.00	24	87,4
11.	17.00	23	26,2

Tabel 3. 5 Data nilai iradiasi dan temperatur di Kota Ciwidey Bandung

No.	Waktu (Jam)	Temperatur (°C)	Iradiasi (W/m <sup>2</sup> )
1.	07.00	20	144,9
2.	08.00	22	237,7
3.	09.00	23	346,8
4.	10.00	25	384,4
5.	11.00	27	457,4
6.	12.00	26	398,1
7.	13.00	26	263,4
8.	14.00	25	155,7
9.	15.00	24	115,7
10.	16.00	24	51,4
11.	17.00	23	18,9

### 3.4 Langkah-langkah Penelitian

Berikut flowchart yang menjelaskan langkah-langkah penelitian yang akan dilakukan dalam rangka pembuatan tugas akhir:



Gambar 3. 2 Flowchart alur metode penelitian

Langkah-langkah dalam penelitian ini yang harus dilakukan, antara lain sebagai berikut:

1. Membuat pemodelan Arus photovoltaic ( $I_{ph}$ ) pada simulink dengan menggunakan persamaan 2.8 ( $I_{ph} = [I_{sc} + K_i (T_o - T_r)] * G / G_{ref}$ ).

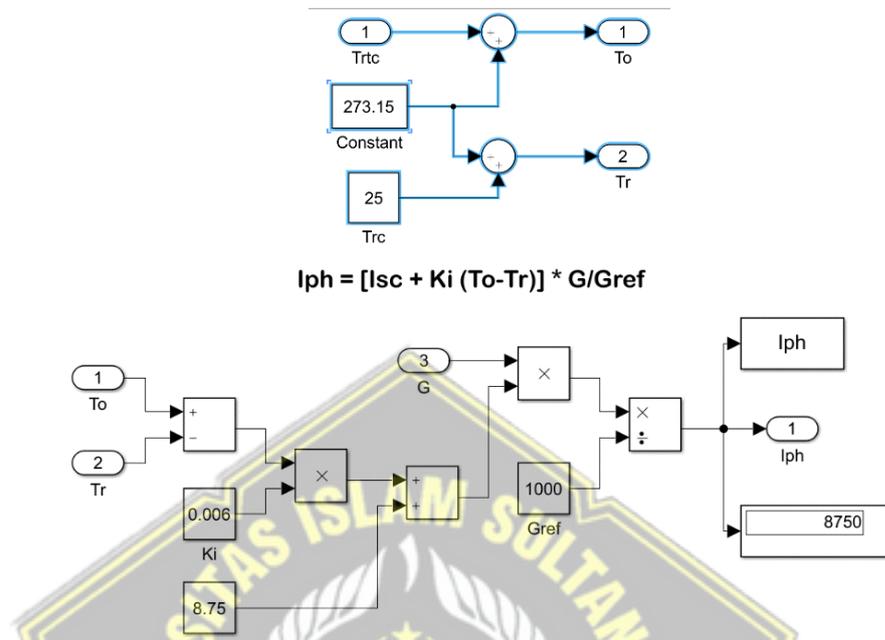
$$K_i = 0.06 \text{ (mono), } 0,065 \text{ (poly)}$$

$$T_o = 25 \text{ (K)}$$

$$I_{sc} = 6 \text{ (mono) dan } 5.95 \text{ (poly) (A)}$$

$$G_{ref} = 1000 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

$G$  = sesuai data ( $\text{W}/\text{m}^2$ )



Gambar 3. 3 Pemodelan arus photovoltaic

2. Membuat pemodelan arus saturasi ( $I_s$ ) pada simulink dengan menggunakan persamaan 2.10 ( $I_s = I_{rs} [T_o/T_r]^3 \exp [(q * E_g / A * K) (1/T_r - 1/T_o)]$ ).

keterangan :

$$K = 1,380 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

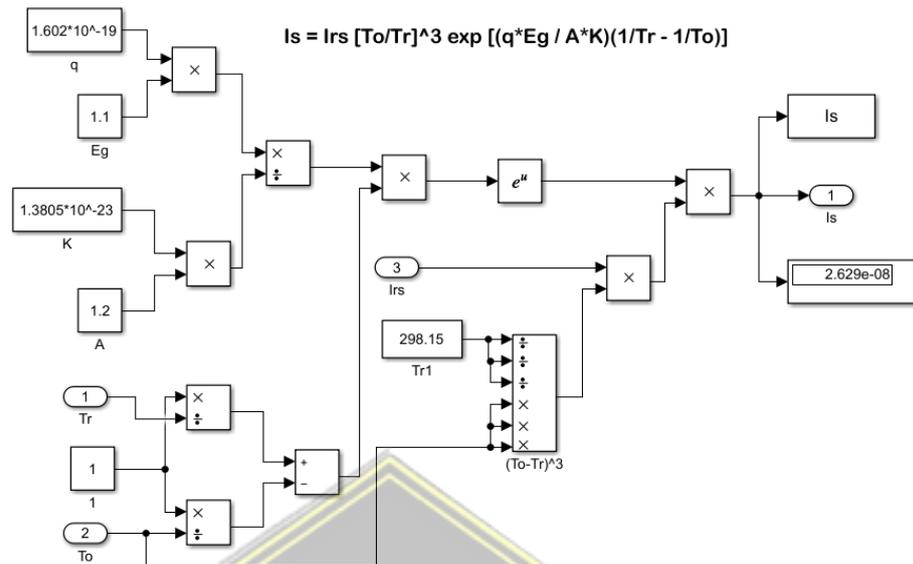
$$K_i = 0,06 \text{ (mono), } 0,065 \text{ (poly)}$$

$$E_g = 1,1 \text{ eV}$$

$$T_o = \text{inputan suhu (K)}$$

$$T_{rc} = 25 \text{ (K)}$$

$$q = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$$



Gambar 3. 4 Pemodelan arus saturasi

3. Membuat pemodelan arus output ( $I$ ) sel surya pada simulink dengan menggunakan persamaan 2.7 ( $I = N_p * I_{ph} - N_p * I_s [\exp (q (V + I R_s) / N_s * K * A * T_o) - 1]$ ).

Keterangan :

$$K = 1,380 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

$T_o$  = inputan suhu (K)

$N_s$  = 72 (mono), 32 (poly)

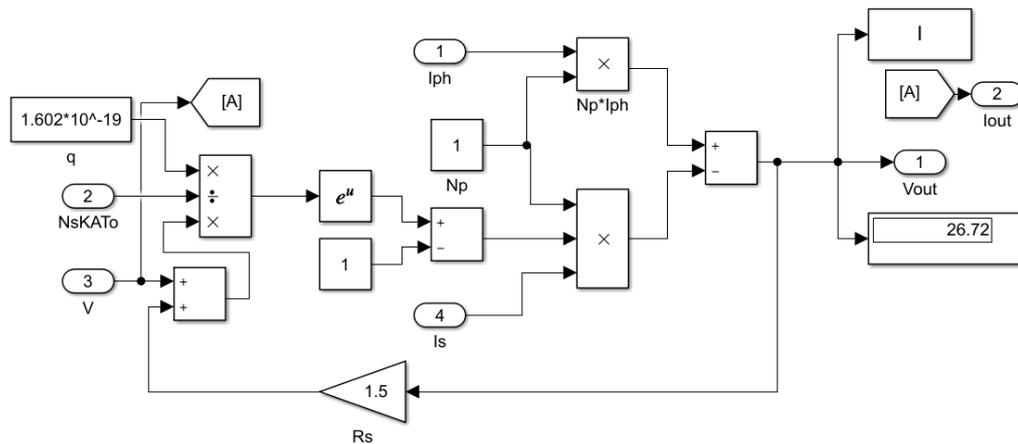
$N_p$  = 1

$q$  =  $1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$

$R_s$  =  $0,008(\Omega)$

$A$  = 1.2

$V$  = tegangan output pv (V)



$$I = Np * Iph - Np * Is [\exp(q(V + IR_s) / Ns * K * A * T_o) - 1]$$

Gambar 3. 5 Pemodelan arus output

4. Membuat pemodelan arus reverse saturasi ( $I_{rs}$ ) dengan menggunakan persamaan 2.9 ( $I_{rs} = I_{sc} / [\exp(q(V + IR_s) / Ns * K * A * T_o) - 1]$ ).

Keterangan :

$$K = 1,380 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

$$Ns = 72 \text{ (mono), } 32 \text{ (poly)}$$

$$T_o = \text{inputan suhu(K)}$$

$$I_{sc} = 6 \text{ (mono), } 5,95 \text{ (poly) (A)}$$

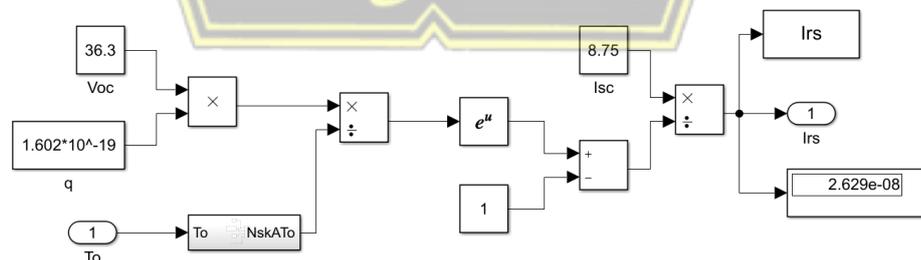
$$q = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$R_s = 0,008 (\Omega)$$

$$A = 1.2$$

$$V = \text{tegangan output pv (V)}$$

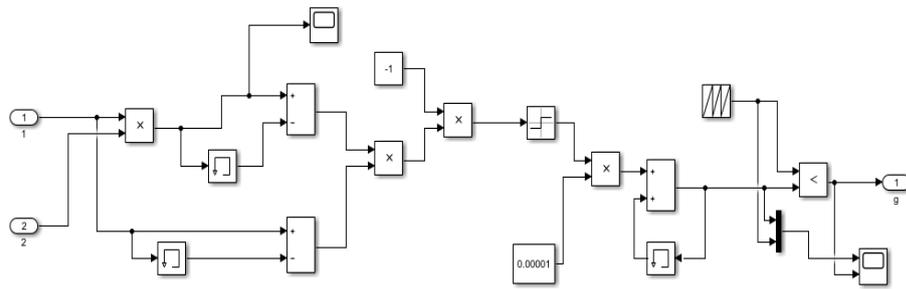
$$I_{rs} = I_{sc} / [\exp(q * V_{oc} / Ns * K * A * T_o) - 1]$$



Gambar 3. 6 Pemodelan arus reverse saturasi

5. Membuat pemodelan simulink algoritma P&O

Langkah selanjutnya yaitu membuat model simulink algoritma p&o dari diagram alir MPPT di halaman 18.



Gambar 3. 7 Pemodelan mppt dengan algoritma p&o

Algoritma Perturb dan Observe memiliki tiga jenis titik berbeda dan terletak di tiga tempat berbeda. Puncak kurva = 0, puncak kanan  $\Delta P/\Delta V < 0$ , dan puncak kiri  $\Delta P/\Delta V > 0$ .

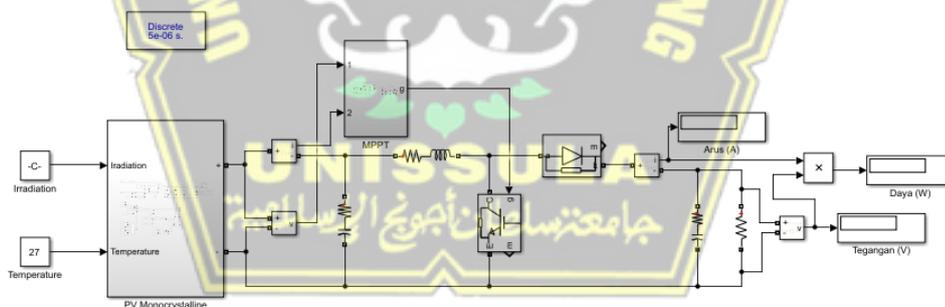
6. Membuat model simulink secara keseluruhan, pengabungan dari langkah ke satu (1) sampai dengan lima (5).
7. Melakukan simulasi panel surya *monocrystalline* 100 W tanpa dan dengan MPPT, untuk nilai iradiasi dan temperatur sesuai dengan Tabel 3.1
8. Melakukan simulasi panel surya *polycrystalline* 100 W tanpa dan dengan MPPT, untuk nilai iradiasi dan temperatur sesuai dengan Tabel 3.2.
9. Melakukan simulasi panel surya *monocrystalline* 250 W tanpa dan dengan MPPT, untuk nilai iradiasi dan temperatur sesuai dengan Tabel 3.3.
10. Melakukan simulasi panel surya *polycrystalline* 250 W tanpa dan dengan MPPT, untuk nilai iradiasi dan temperatur sesuai dengan Tabel 3.4
11. Mengolah data hasil semua simulasi pada excel.
12. Menganalisa dan mengamati grafik hasil semua simulasi.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

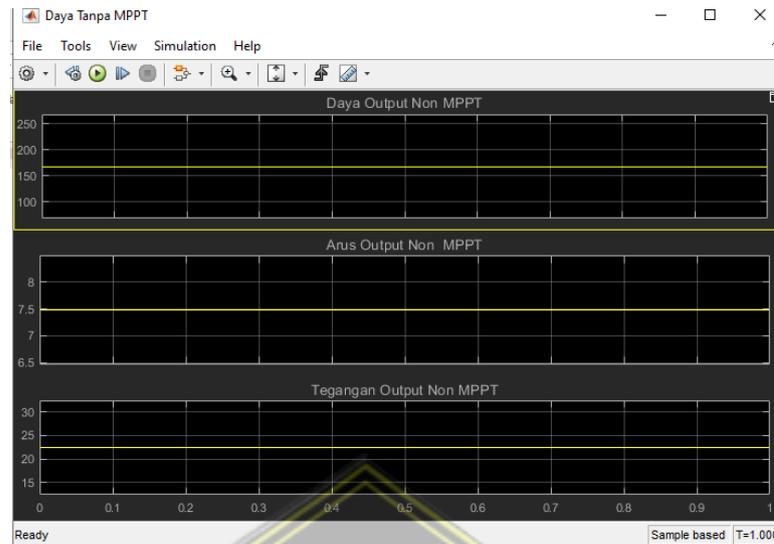
Untuk memaksimalkan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya, peneliti akan membahas hasil simulasi panel surya pada bab ini. Empat kumpulan data dari dua jenis panel surya polikristalin dan monokristalin dengan kapasitas masing-masing 100W dan 250W digunakan dalam pengujian ini. pengujian menyeluruh terhadap sistem yang dibangun dengan panel surya yang dimasukkan sesuai dengan standar yang telah ditentukan.

Eksperimen dengan temperatur dan jumlah iradiasi yang bervariasi dilakukan di wilayah Kota Semarang, Ciwidey Bandung, dan Baturaden selama 11 jam sehari, dengan paparan sinar matahari konstan. Informasi tersebut diperoleh dari situs Indonesia Solar Maps yang menunjukkan besaran radiasi matahari di suatu wilayah tanah air. Berikut ini merupakan pemodelan yang terbentuk dari persamaan-persamaan yang ada pada dasar teori sebelumnya dan digunakan dalam penelitian ini, bisa dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4. 1 Rangkaian pemodelan panel surya pada Matlab

Dengan penggunaan algoritma P&O dan teknologi Maximum Power Point Tracking (MPPT), tujuan dari pengujian ini adalah memaksimalkan listrik yang dihasilkan oleh panel surya. Ini menunjukkan bentuk gelombang arus, tegangan, dan daya yang dihasilkan panel surya sebelum dan sesudah menggunakan Pelacakan Titik Daya Maksimum (MPPT). Untuk lebih jelasnya bisa dilihat kerja dari MPPT dengan Algoritma P&O pada simulink Matlab sebagai inputannya adalah data iradiasi dan temperatur dari Kota Semarang sebagai berikut :



Gambar 4. 2 Gelombang output dari panel surya non MPPT



Gambar 4. 3 Gelombang output panel surya dengan MPPT

#### 4.1 Hasil Simulasi Panel Surya di Kota Semarang

Kota Semarang terletak pada ketinggian yang bervariasi mulai dari 2 m dibawah permukaan laut hingga 340 m diatas permukaan laut, bisa dikatakan kota Semarang tergolong kota yang memiliki tingkat penyinaran iradiasi matahari yang besar oleh karena terletak di pesisir laut dan temperatur lingkungannya juga tinggi. Oleh karena itu, penelitian tentang panel surya di Kota Semarang sangatlah penting untuk mengevaluasi efisiensi penggunaan panel surya di daerah dengan iklim yang

panas. Pada pengujian pertama ini menggunakan panel surya jenis monocrystalline dan polycrystalline dengan kapasitas daya masing-masing adalah 100 watt, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.1. Hasil yang didapatkan setelah melakukan simulasi sebagai berikut :

Tabel 4. 1 Hasil simulasi panel surya mono 100 watt di Kota Semarang

Waktu (Jam)	Temperatur (oC)	Iradiasi (W/m <sup>2</sup> )	Monocrystalline 100 W			
			I <sub>pv</sub> (A)	V <sub>pv</sub> (V)	P <sub>pv</sub> Non MPPT(W)	P MPPT (W)
07.00	29	189,5	1	3	3,3	3,6
08.00	30	347,1	1,9	5,4	10,7	11,9
09.00	32	485,7	2,6	7,5	20	22,3
10.00	33	564,5	3	8,6	25,5	29,4
11.00	35	699,3	3,7	10,4	38,7	43
12.00	34	606,3	3,2	9,1	29,8	33,1
13.00	33	558,5	3	8,5	25,9	28,7
14.00	32	411,4	2,2	6,3	14,4	15,9
15.00	31	251,8	1,4	3,9	5,5	6,1
16.00	30	116,7	0,6	1,8	1,2	1,3
17.00	29	29,1	0,1	0,4	0	0,1
Rata-rata		387,2	2	5,9	15,9	17,7

Tabel 4. 2 Hasil simulasi panel surya poly 100 watt di Kota Semarang

Waktu (Jam)	Temperatur (oC)	Iradiasi (W/m <sup>2</sup> )	Polycrystalline 100 W			
			I <sub>pv</sub> (A)	V <sub>pv</sub> (V)	P <sub>pv</sub> Non MPPT(W)	P MPPT (W)
07.00	29	189,5	1	2,9	3,1	3,5
08.00	30	347,1	1,9	5,2	10,3	11,5
09.00	32	485,7	2,6	7,2	19,3	21,5
10.00	33	564,5	3	8,3	25,5	28,3
11.00	35	699,3	3,7	10	37,3	41,5
12.00	34	606,3	3,2	8,8	28,7	31,9
13.00	33	558,5	3	8,2	25	27,7
14.00	32	411,4	2,2	6,1	13,8	15,4
15.00	31	251,8	1,4	3,7	5,3	5,9
16.00	30	116,7	0,6	1,7	1,1	1,2
17.00	29	29,1	0,1	0,4	0	0
Rata-rata		387,2	2	5,6	15,4	17,1

Berdasarkan informasi yang terdapat dalam tabel hasil pengukuran (Tabel 4.1 dan 4.2) yang dibuat pada tanggal 19 Oktober 2023, pengukuran jenis panel surya monokristalin dan polikristalin ditunjukkan dalam tabel di atas. Angka-angka tersebut mencakup arus, tegangan, daya, suhu lingkungan, dan intensitas matahari. Persamaan 2.3 dapat digunakan untuk menghitung daya keluaran dari sebuah panel berdasarkan tabel penelitian di atas.

$$P_{in} = I_r \text{ rata}2 \times A$$

- $P_{in} \text{ (monokristalin)} = 387,2 \text{ W/m}^2 \times 0,06834 \text{ m}^2 = 26,46 \text{ watt}$
- $P_{in} \text{ (polikristalin)} = 387,2 \text{ W/m}^2 \times 0,067 \text{ m}^2 = 25,94 \text{ watt}$

Fill factor (FF) adalah besaran tanpa dimensi yang mewakili rasio daya maksimum yang dihasilkan oleh sel surya terhadap hasil perkalian antara  $V_{oc}$  (tegangan sirkuit terbuka) dan  $I_{sc}$  (arus sirkuit pendek). Ini dapat dihitung menggunakan persamaan 2.2, yang merupakan salah satu besaran yang menjadi parameter kinerja sel surya.

$$FF = V_{pm} \times I_{pm} / V_{oc} \times I_{sc}$$

Perlu diketahui bahwa parameter fill factor diatas diperoleh dari nameplate masing-masing panel surya.

- $FF \text{ (monokristalin)} = 18,1 \text{ V} \times 5,54 \text{ A} / 22,2 \text{ V} \times 6 \text{ A} = 0,752$
- $FF \text{ (polikristalin)} = 17,8 \text{ V} \times 5,62 \text{ A} / 22 \text{ V} \times 5,95 \text{ A} = 0,750$

Untuk menghitung Daya Outputnya, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.1 yaitu:

$$P_{out} = V_{rata - rata} \times I_{rata - rata} \times FF$$

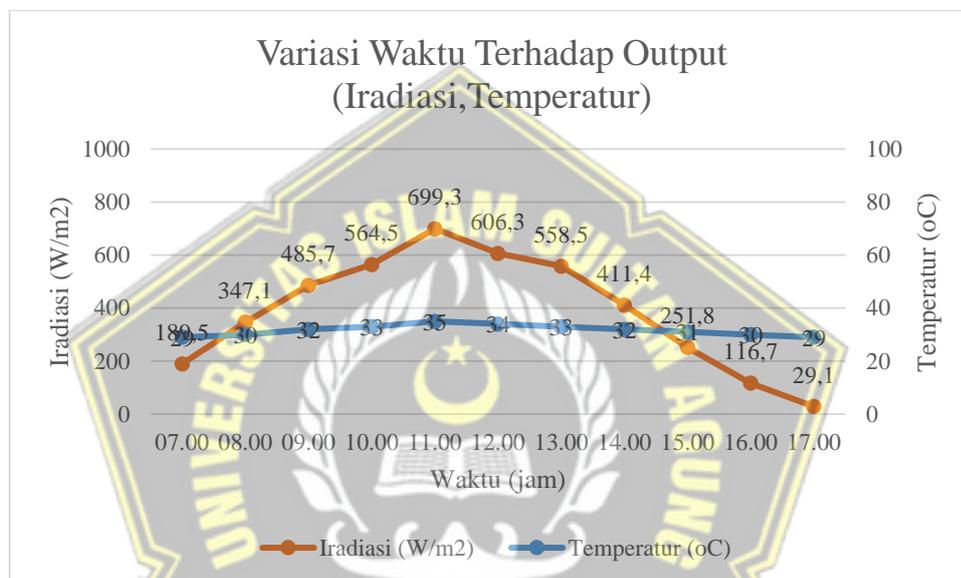
- $P_{out} \text{ (monokristalin)} = 5,9 \text{ V} \times 2,0 \text{ A} \times 0,752 = 8,873 \text{ watt}$
- $P_{out} \text{ (polikristalin)} = 5,6 \text{ V} \times 2,0 \text{ A} \times 0,750 = 8,4 \text{ watt}$

Tingkat efisiensi dari sebuah panel surya dapat ditentukan menggunakan nilai perhitungan daya keluaran di atas. Oleh karena itu, persamaan 6 dapat digunakan untuk mendapatkan nilai efisiensi.

$$\eta = V \times I \times FF \times I_r \times A \times 100\%$$

- $\eta$  (*monokristalin*) =  $5,9 \times 2 \times 0,752 / 387,2 \times 0,06834 \times 100\% = 16,6\%$
- $\eta$  (*polikristalin*) =  $5,6 \times 2 \times 0,750 / 387,2 \times 0,067 \times 100\% = 16,6\%$

Panel monokristalin menghasilkan efisiensi sebesar 16,6%, sedangkan panel polikristalin menghasilkan efisiensi sebesar 16,6%, sesuai dengan data yang ada.

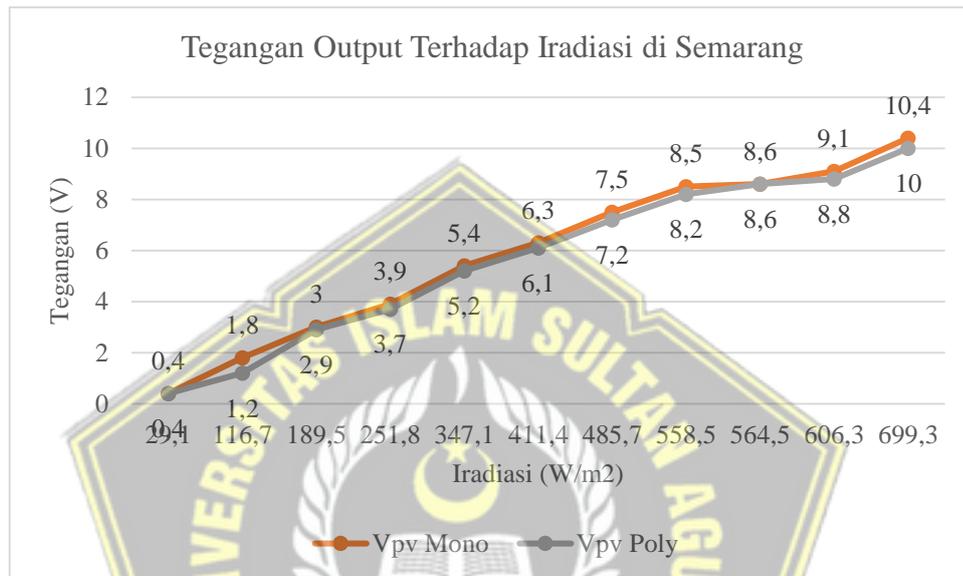


Gambar 4. 4 Variasi Irradiasi dan temperatur di Kota Semarang

Dalam pengujian ini menggunakan nilai iradiasi dan temperatur sebagai nilai inputan dalam program atau pengujian panel surya. Pada spesifikasi *name plate* panel surya untuk nilai iradiasi maksimum sebesar 1.000 W/m<sup>2</sup> dengan suhu dititik 25 °C.[11] Oleh karena itu dilakukan pengamatan data tingkat iradiasi sinar matahari dan juga temperatur yang diambil dari *website* Indonesia *solar maps* berdasarkan tenggat waktu dalam jam, dari Gambar 4.4 bisa dilihat bahwasanya pada kondisi pagi hari di jam 07.00 dengan tingkat temperatur dititik 29°C dan iradiasi sinar matahari yang terpancar sebesar 189,5 W/m<sup>2</sup>.

Nilai iradiasi ini terus naik setiap jamnya bersamaan dengan naiknya nilai temperatur lingkungan sekitar, dimana pada pengukuran kali ini nilai puncak iradiasi berada dititik 699,3 W/m<sup>2</sup> dengan temperatur 35°C di jam 11.00. Seiring

dengan berputarnya angka jarum jam mengarah pada waktu siang menjelang sore hari, nilai iradiasi pun berangsur-angsur turun diikuti dengan temperatur lingkungan. Pada jam 17.00 merupakan titik terendah dari pancaran iradiasi matahari yang mana besarnya nilainya  $29,1 \text{ W/m}^2$  dengan temperatur sebesar  $29^\circ\text{C}$ .



Gambar 4. 5 Tegangan output mono dan poly 100 watt di Kota Semarang

Gambar 4.5 menunjukkan arus yang dihasilkan oleh panel surya sangat dipengaruhi oleh variasi variabel-variabel iradiasi dan temperatur. Seperti yang dapat diamati, arus dan tegangan keluaran panel surya berkorelasi langsung dengan jumlah radiasi yang diterimanya dengan sejumlah temperatur yang ada. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi keluaran iradiasi matahari, maka semakin tinggi keluaran arus panel surya. Dalam pengujian ini, panel surya monokristalin mengungguli panel surya polikristalin dalam hal keluaran arus. Pada tengah hari tepatnya di jam 11.00, pada tingkat iradiasi  $699,3 \text{ W/m}^2$

. Iradiasi dan temperatur juga mempunyai pengaruh terhadap tegangan keluaran panel surya, seperti terlihat pada grafik hasil simulasi pada Gambar 4.5 dan 4.6. Jelaslah bahwa temperatur tidak banyak berpengaruh pada faktor-faktor lain, seperti radiasi, dan dikarenakan fluktuasi temperatur sangat kecil. Ketika membandingkan nilai tegangan keluaran panel surya polikristalin dengan panel

surya monokristalin, yang pertama lebih menonjol. Pada jam 11.00 dengan temperatur berada di titik  $35^{\circ}\text{C}$ , dengan tegangan maksimum 10,4 V untuk monokristalin dan 10 V untuk polikristalin. Pada pukul 17.00 sore, saat temperatur di titik  $29^{\circ}\text{C}$ , pembacaan tegangan terendah untuk panel surya monokristalin adalah 0,4 V dan untuk polikristalin, 0,4 V. Hal ini didapatkan karena intensitas cahaya atau iradiasi yang diterima oleh panel surya rendah (nilai inputan pada pemodelan), maka daya yang dihasilkan oleh panel surya akan berkurang dan mencapai nilai 0.

Hasil pengukuran daya yang dihasilkan panel surya monokristalin dan polikristalin sebelum menggunakan (non) MPPT ditampilkan pada Tabel 4.2 dan 4.3, dimana daya keluarannya lebih rendah dibandingkan daya setelah MPPT. Nilai pengukuran daya maksimum untuk panel surya monokristalin dan polikristalin yang diukur tanpa menggunakan (non) MPPT masing-masing adalah 38,7 W dan 37,3 W. Kemudian, setelah serangkaian panel surya menggunakan MPPT, hasil tersebut meningkat. Pada pukul 11.00 siang, dengan tingkat penyinaran  $699,3 \text{ W/m}^2$  dan suhu  $35^{\circ}\text{C}$ , temuan menunjukkan bahwa panel surya monokristalin menghasilkan 43 W dan panel surya polikristalin menghasilkan 41,5 W.

Output daya terendah yang dapat dihasilkan panel surya tanpa menggunakan MPPT adalah 0 W untuk panel surya polikristalin dan 0 W untuk panel surya monokristalin. Pada pukul 17.00 dengan tingkat penyinaran  $29,1 \text{ W/m}^2$  dan suhu  $29^{\circ}\text{C}$  diperoleh hasil 0 W untuk panel surya monokristalin dan 0 W untuk panel surya polikristalin. Hal ini didapatkan karena intensitas cahaya atau iradiasi yang diterima oleh panel surya rendah (nilai inputan pada pemodelan), maka daya yang dihasilkan oleh panel surya akan berkurang dan mencapai nilai 0. Jelas dari temuan perbandingan bahwa panel surya monokristalin jauh lebih baik daripada panel surya polikristalin. Penggunaan MPPT tidak akan bisa mengoptimalkan daya keluaran apabila inputannya bernilai 0 dikarenakan tidak ada tegangan dan arus output dari panel surya yang mengakibatkan MPPT tidak bekerja.

## 4.2 Pengujian Simulasi Dengan Data Kota Baturaden

Baturaden terletak di lereng sebelah selatan Gunung Slamet, dengan ketinggian 750 – 900 m dpl, kawasan ini memiliki hawa yang sejuk dan cenderung sangat dingin terutama di malam hari. Oleh karena itu, penelitian tentang panel surya di Baturaden sangat penting untuk mengevaluasi efisiensi penggunaan panel surya di daerah dengan iklim yang sejuk. Pengujian yang pertama dilakukan masih sama dengan yang sebelumnya yaitu menggunakan panel surya panel surya monocrystalline dan polycrystalline dengan kapasitas 100 watt, untuk hasil yang didapatkan setelah melakukan pengujian adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 3 Hasil simulasi panel surya mono 100 watt di Baturaden

Waktu (Jam)	Temperatur (oC)	Iradiasi (W/m <sup>2</sup> )	Monocrystalline 100 W			
			I <sub>pv</sub> (A)	V <sub>pv</sub> (V)	P <sub>pv</sub> Non MPPT(W)	P MPPT (W)
07.00	21	189,8	1,1	3,3	3,9	4,3
08.00	23	391	2,3	6,6	15,9	17,6
09.00	24	480	2,8	8,1	23,5	26
10.00	26	531,6	3,1	8,7	27,6	30,6
11.00	28	621,4	3,5	10	36	40
12.00	27	604,4	3,5	9,8	34,9	38,7
13.00	26	470,5	2,7	7,7	21,6	23,9
14.00	25	337,5	2	5,6	11,3	12,6
15.00	25	176,2	1	2,9	3	3,4
16.00	24	87,4	0,5	1,4	0,7	0,8
17.00	23	26,2	0,1	0,4	0	0
Rata-rata		356	2,0	5,8	16,2	17,9

Tabel 4. 4 Hasil simulasi panel surya poly 100 watt di Baturaden

Waktu (Jam)	Temperatur (oC)	Iradiasi (W/m <sup>2</sup> )	Polycrystalline 100 W			
			I <sub>pv</sub> (A)	V <sub>pv</sub> (V)	P <sub>pv</sub> Non MPPT(W)	P MPPT (W)
07.00	21	189,8	1,1	3,1	3,7	4,1
08.00	23	391	2,3	6,4	15,3	17
09.00	24	480	2,8	7,8	22,6	25,1
10.00	26	531,6	3,1	8,3	26,6	29,5
11.00	28	621,4	3,5	9,6	34	38
12.00	27	604,4	3,5	9,5	33,6	37,3

13.00	26	470,5	2,7	7,3	20	23
14.00	25	337,5	2	5,4	10,9	12,1
15.00	25	176,2	1	2,8	2,9	3,3
16.00	24	87,4	0,5	1,4	0,7	0,8
17.00	23	26,2	0,1	0,4	0	0
Rata-rata		356	2	5,6	15,4	17,2

Berdasarkan informasi yang terdapat dalam tabel hasil pengukuran (Tabel 4.3 dan 4.4) yang dibuat pada tanggal 23 Oktober 2023, pengukuran jenis panel surya monokristalin dan polikristalin ditunjukkan dalam tabel di atas. Angka-angka tersebut mencakup arus, tegangan, daya, suhu lingkungan, dan intensitas matahari. Persamaan 2.3 dapat digunakan untuk menghitung daya keluaran dari sebuah panel berdasarkan tabel penelitian di atas.

$$P_{in} = I_r \text{ rata} \times A$$

- $P_{in} \text{ (monokristalin)} = 356 \text{ W/m}^2 \times 0,06834 \text{ m}^2 = 24,32 \text{ watt}$
- $P_{in} \text{ (polikristalin)} = 356 \text{ W/m}^2 \times 0,067 \text{ m}^2 = 23,85 \text{ watt}$

Fill factor (FF) adalah besaran tanpa dimensi yang mewakili rasio daya maksimum yang dihasilkan oleh sel surya terhadap hasil perkalian antara  $V_{oc}$  (tegangan sirkuit terbuka) dan  $I_{sc}$  (arus sirkuit pendek). Ini dapat dihitung menggunakan persamaan 2.2, yang merupakan salah satu besaran yang menjadi parameter kinerja sel surya.

$$FF = V_{pm} \times I_{pm} / V_{oc} \times I_{sc}$$

Perlu diketahui bahwa parameter fill factor diatas diperoleh dari nameplate masing-masing panel surya.

- $FF \text{ (monokristalin)} = 18,1 \text{ V} \times 5,54 \text{ V} / 22,2 \text{ A} \times 6 \text{ A} = 0,752$
- $FF \text{ (polikristalin)} = 17,8 \text{ V} \times 5,62 \text{ A} / 22 \text{ V} \times 5,95 \text{ A} = 0,750$

Untuk menghitung Daya Outputnya, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.1 yaitu:

$$P_{out} = V_{rata - rata} \times I_{rata - rata} \times FF$$

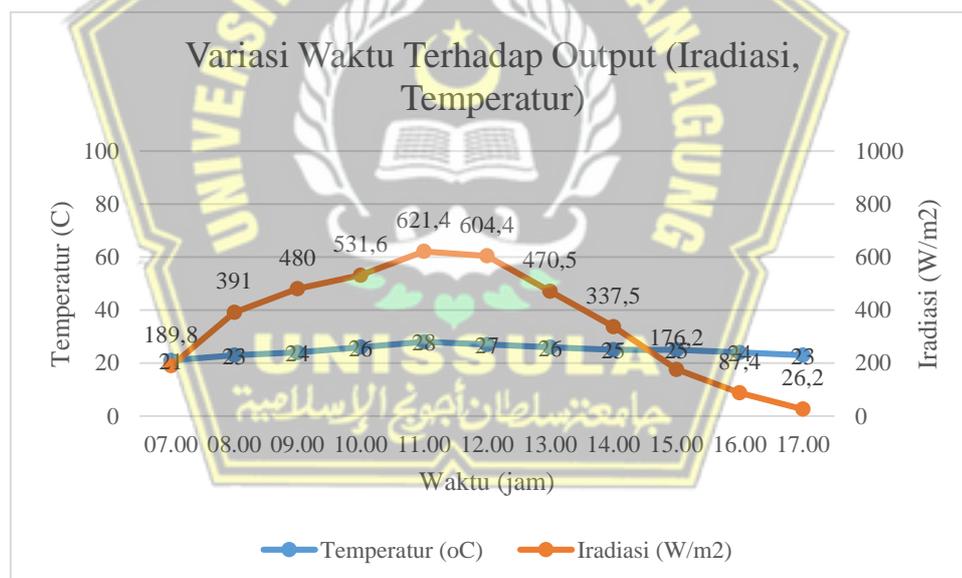
- $P_{out}$  (monokristalin) =  $5,8 \text{ V} \times 2,0 \text{ A} \times 0,752 = 8,723 \text{ watt}$
- $P_{out}$  (polikristalin) =  $5,6 \text{ V} \times 2,0 \text{ A} \times 0,750 = 8,4 \text{ watt}$

Tingkat efisiensi dari sebuah panel surya dapat ditentukan menggunakan nilai perhitungan daya keluaran di atas. Oleh karena itu, persamaan 6 dapat digunakan untuk mendapatkan nilai efisiensi.

$$\eta = V \times I \times FF \times I_r \times A \times 100\%$$

- $\eta$  (monokristalin) =  $5,8 \times 2 \times 0,752 / 356 \times 0,06834 \times 100\% = 16,6\%$
- $\eta$  (polikristalin) =  $5,6 \times 2 \times 0,750 / 356 \times 0,067 \times 100\% = 16,6\%$

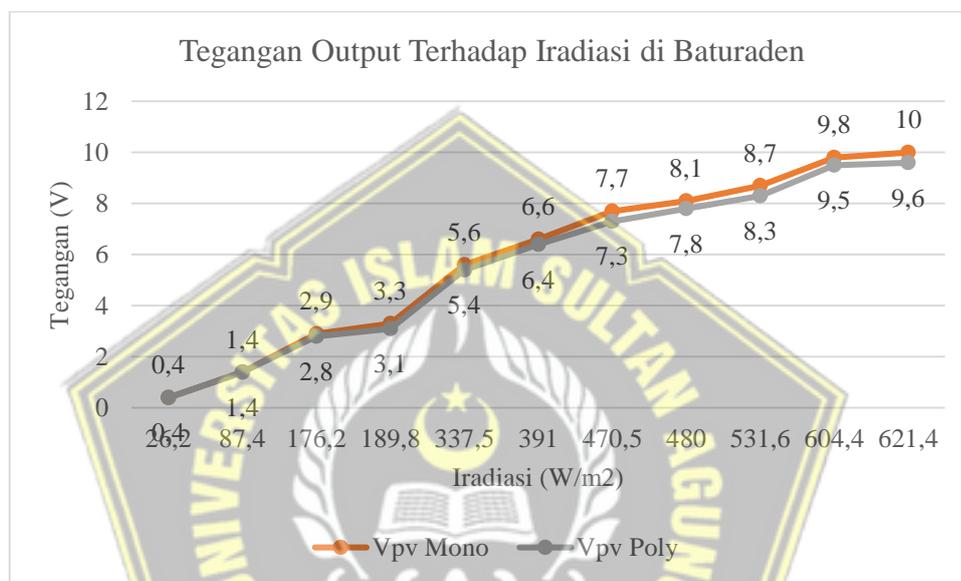
Panel monokristalin menghasilkan efisiensi sebesar 16,6%, sedangkan panel polikristalin menghasilkan efisiensi sebesar 16,6%, sesuai dengan data yang ada.



Gambar 4. 6 Variasi waktu terhadap output di Baturaden

Berdasarkan gambar 4.9 Bisa dilihat keluaran data iradiasi dan temperatur di Baturaden yang diperoleh dari website Indonesia Solar Maps menunjukan pada kondisi pagi hari tepatnya di jam 07.00 pancaran tingkat iradiasi matahari mencapai angka  $189,8 \text{ W/m}^2$  dengan nilai temperatur berada dititik  $21 \text{ }^\circ\text{C}$ , nilai ini akan terus naik mengikuti lengkung perpindahan matahari yang mana nilai puncaknya berada pada pukul 11.00 siang pada angka  $621,4 \text{ W/m}^2$  diikuti dengan nilai temperatur

berada pada titik 28 °C dan mulai menurun seiring hari menjelang sore pada jam 17.00 dengan tingkat iradiasi yang terbaca sebesar 26,2 W/m<sup>2</sup> serta nilai temperatur berada pada di titik 23 °C. Dari data ini maka dilakukanlah pengukuran untuk mengetahui kinerja dari panel surya ketika berada di daerah yang terbilang sejuk, maka hasil yang didapatkan seperti pada tabel 4.3 dan 4.4 yang akan di perjelas dengan menggunakan grafik di bawah ini.



Gambar 4. 7 Tegangan output mono dan poly 100 watt di Baturaden

Nilai iradiasi matahari dan temperatur yang di masukan ke dalam simulasi sebagai input memiliki pengaruh terhadap arus dan tegangan keluaran dari panel surya monocrystalline maupun polycrystalline. Seperti yang dapat diamati bahwasanya arus maupun tegangan keluaran dari panel surya berkorelasi langsung dengan jumlah iradiasi dan temperatur yang diterimanya, yang mana disini untuk pengaruh dari iradiasi sendiri bisa dikatakan cukup besar dibandingkan dengan nilai temperatur dikarenakan fluktuasi atau perubahan nilai yang terjadi pada temperatur cenderung sangat kecil.

Perbedaan hasil keluaran yang didapatkan dari kedua panel surya tersebut tentunya sangat signifikan dimana pada waktu yang sama dengan jumlah iradiasi dan temperatur yang sama panel monocrystalline mendapatkan hasil keluaran yang lebih tinggi dibandingkan dengan keluaran dari panel polycrystalline. Sehingga

daya keluaran yang didapatkan oleh panel surya monocrystalline lebih besar dibanding polycrystalline. Adapun arus dan tegangan output mencapai nilai 0 hal ini karena intensitas cahaya atau iradiasi yang diterima oleh panel surya rendah (nilai inputan pada pemodelan), maka daya yang dihasilkan oleh panel surya akan berkurang dan mencapai nilai 0. Di samping itu daya keluaran ini akan dioptimalkan kembali dengan digunakannya rangkaian MPPT pada simulasi selanjutnya yang akan menghasilkan daya yang lebih optimal. Berikut merupakan gambar grafik yang menunjukkan hal tersebut.

Hasil pengukuran daya keluaran yang didapatkan dapat dilihat dari Tabel 4.3 dan 4.4 di atas yaitu daya keluaran dari panel surya langsung dengan daya keluaran yang sudah di optimasi dengan menggunakan MPPT dengan algoritma P&O. Pengukuran daya maksimum yang didapatkan sebelum di teruskan ke MPPT pada panel monokristalin dan polikristalin masing-masing sebesar 36 W dan 34 W. Kemudian hasil ini meningkat setelah daya keluaran dari panel surya dihubungkan dengan MPPT menjadi 40 W untuk monokristalin dan 38 W untuk polikristalin. Hasil ini didapatkan pada saat jam 11.00 siang hari dengan tingkat iradiasi dan temperatur sebesar  $621,4 \text{ W/m}^2$  dan  $28 \text{ }^\circ\text{C}$ . Kemudian nilai terendah didapatkan pada sore hari tepatnya di jam 17.00 dengan daya yang didapatkan sebesar 0 W dari panel surya monokristalin dan polikristalin, namun setelah menggunakan MPPT nilai nya menurun menjadi 0 W dikarenakan daya output panel surya terlalu kecil. Hal ini karena intensitas cahaya atau iradiasi yang diterima oleh panel surya rendah (nilai inputan pada pemodelan), maka daya yang dihasilkan oleh panel surya akan berkurang dan mencapai nilai 0. Dan MPPT bekerja dalam mode boost namun tidak mampu naik karena resistansi dalam rangkaian.

### **4.3 Pengujian Simulasi Dengan Data Kota Bandung**

Bandung terletak pada ketinggian 791 m, dengan titik tertinggi mencapai ketinggian 1.050 m bisa dikatakan bahwa iklim di Bandung sendiri sejuk dan dingin. Oleh karena itu, penelitian tentang panel surya di Bandung sangat penting untuk mengevaluasi efisiensi penggunaan panel surya di daerah dengan iklim dingin. Pengujian yang pertama dilakukan masih sama dengan yang sebelumnya

yaitu menggunakan panel surya panel surya monocrystalline dan polycrystalline dengan kapasitas 100 watt, untuk hasil yang didapatkan setelah melakukan pengujian adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 5 Hasil simulasi panel surya mono 100 watt di Ciwidey Bandung

Waktu (Jam)	Temperatur (oC)	Iradiasi (W/m <sup>2</sup> )	Monocrystalline 100 W			
			I <sub>pv</sub> (A)	V <sub>pv</sub> (V)	P <sub>pv Non MPPT</sub> (W)	P MPPT (W)
07.00	20	144,9	0,9	2,5	2,3	2,5
08.00	22	237,7	1,4	4,1	6	6,6
09.00	23	346,8	2,1	5,9	12,5	13,9
10.00	25	384,4	2,2	6,4	14,7	16,3
11.00	27	457,4	2,6	7,4	19,9	22,1
12.00	26	398,1	2,3	6,5	15,4	17,1
13.00	26	263,4	1,5	4,3	6,7	7,5
14.00	25	155,7	0,9	2,6	2,4	2,6
15.00	24	115,7	0,6	1,9	1,3	1,5
16.00	24	51,4	0,3	0,8	0,2	0,3
17.00	23	18,9	0,1	0,3	0	0
Rata-rata		234	1,3	3,8	7,4	8,2

Tabel 4. 6 Hasil simulasi panel surya poly 100 watt di Ciwidey Bandung

Waktu (Jam)	Temperatur (oC)	Iradiasi (W/m <sup>2</sup> )	Polycrystalline 100 W			
			I <sub>pv</sub> (A)	V <sub>pv</sub> (V)	P <sub>pv Non MPPT</sub> (W)	P MPPT (W)
07.00	20	144,9	0,9	2,4	2,2	2,4
08.00	22	237,7	1,4	3,9	5,7	6,4
09.00	23	346,8	2	5,5	11,5	12,8
10.00	25	384,4	2,2	6,1	14,2	15,7
11.00	27	457,4	2,6	7,2	19,2	21,4
12.00	26	398,1	2,3	6,3	14,9	16,5
13.00	26	263,4	1,5	4,1	6,5	7,25
14.00	25	155,7	0,9	2,5	2,3	2,5
15.00	24	115,7	0,6	1,8	1,3	1,4
16.00	24	51,4	0,3	0,8	0,2	0,2
17.00	23	18,9	0,1	0,3	0	0
Rata-rata		234	1,3	3,7	7,0	7,8

Berdasarkan informasi yang terdapat dalam tabel hasil pengukuran (Tabel 4.5 dan 4.6) yang dibuat pada tanggal 23 Oktober 2023, pengukuran jenis panel surya monokristalin dan polikristalin ditunjukkan dalam tabel di atas. Angka-angka tersebut mencakup arus, tegangan, daya, suhu lingkungan, dan intensitas matahari. Persamaan 2.3 dapat digunakan untuk menghitung daya keluaran dari sebuah panel berdasarkan tabel penelitian di atas.

$$P_{in} = I_r \text{ rata}^2 \times A$$

- $P_{in} \text{ (monokristalin)} = 234 \text{ W/m}^2 \times 0,06834 \text{ m}^2 = 15,99 \text{ watt}$
- $P_{in} \text{ (polikristalin)} = 234 \text{ W/m}^2 \times 0,067 \text{ m}^2 = 15,67 \text{ watt}$

Fill factor (FF) adalah besaran tanpa dimensi yang mewakili rasio daya maksimum yang dihasilkan oleh sel surya terhadap hasil perkalian antara  $V_{oc}$  (tegangan sirkuit terbuka) dan  $I_{sc}$  (arus sirkuit pendek). Ini dapat dihitung menggunakan persamaan 2.2, yang merupakan salah satu besaran yang menjadi parameter kinerja sel surya.

$$FF = V_{pm} \times I_{pm} / V_{oc} \times I_{sc}$$

Perlu diketahui bahwa parameter fill factor diatas diperoleh dari nameplate masing-masing panel surya.

- $FF \text{ (monokristalin)} = 18,1 \text{ V} \times 5,54 \text{ A} / 22,2 \text{ V} \times 6 \text{ A} = 0,752$
- $FF \text{ (polikristalin)} = 17,8 \text{ V} \times 5,62 \text{ A} / 22 \text{ V} \times 5,95 \text{ A} = 0,750$

Untuk menghitung Daya Outputnya, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.1 yaitu:

$$P_{out} = V_{rata - rata} \times I_{rata - rata} \times FF$$

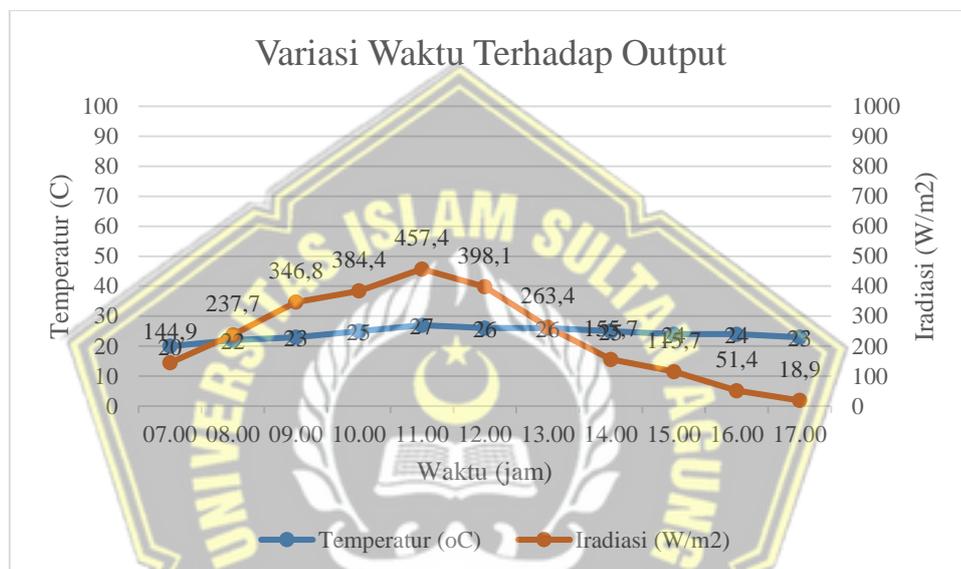
- $P_{out} \text{ (monokristalin)} = 3,8 \text{ V} \times 1,3 \text{ A} \times 0,752 = 3,714 \text{ watt}$
- $P_{out} \text{ (polikristalin)} = 3,7 \text{ V} \times 1,3 \text{ A} \times 0,750 = 3,607 \text{ watt}$

Tingkat efisiensi dari sebuah panel surya dapat ditentukan menggunakan nilai perhitungan daya keluaran di atas. Oleh karena itu, persamaan 6 dapat digunakan untuk mendapatkan nilai efisiensi.

$$\eta = V \times I \times FF \times I_r \times A \times 100\%$$

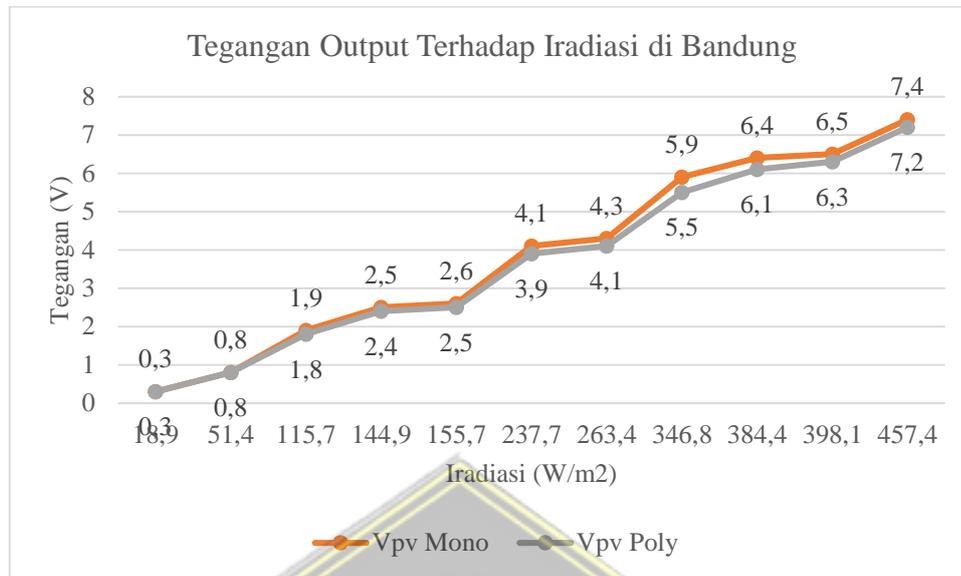
- $\eta$  (*monokristalin*) =  $3,8 \times 1,3 \times 0,752 / 234 \times 0,06834 \times 100\% = 16,6\%$
- $\eta$  (*polikristalin*) =  $3,7 \times 1,3 \times 0,750 / 234 \times 0,067 \times 100\% = 16,6\%$

Panel monokristalin menghasilkan efisiensi sebesar 16,6%, sedangkan panel polikristalin menghasilkan efisiensi sebesar 16,6%, sesuai dengan data yang ada.



Gambar 4. 8 Variasi waktu terhadap output di Ciwidy Bandung

Berdasarkan gambar 4.14 Bisa dilihat keluaran data iradiasi dan temperatur di Ciwidy Bandung yang diperoleh dari website Indonesia Solar Maps menunjukan pada kondisi pagi hari tepatnya di jam 07.00 pancaran tingkat iradiasi matahari mencapai angka 144,9 W/m<sup>2</sup> dengan nilai temperatur berada dititik 20 °C, nilai ini akan terus naik mengikuti lengkung perpindahan matahari yang mana nilai puncaknya berada pada pukul 11.00 siang pada angka 457,4 W/m<sup>2</sup> diikuti dengan nilai temperatur berada pada titik 27 °C dan mulai menurun seiring hari menjelang sore pada jam 17.00 dengan tingkat iradiasi yang terbaca sebesar 18,9 W/m<sup>2</sup> serta nilai temperatur berada pada di titik 23 °C. Dari data ini maka dilakukanlah pengukuran untuk mengetahui kinerja dari panel surya ketika berada di daerah yang terbilang sejuk, maka hasil yang didapatkan seperti pada tabel 4.5 dan 4.6 yang akan di perjelas dengan menggunakan grafik di bawah ini.



Gambar 4. 9 Tegangan output mono dan poly100 watt di Ciwidey Bandung

Nilai iradiasi matahari dan temperatur yang di masukan ke dalam simulasi sebagai input memiliki pengaruh terhadap arus dan tegangan keluaran dari panel surya monocrystalline maupun polycrystalline. Seperti yang dapat diamati bahwasanya arus maupun tegangan keluaran dari panel surya berkorelasi langsung dengan jumlah iradiasi dan temperatur yang diterimanya, yang mana disini untuk pengaruh dari iradiasi sendiri bisa dikatakan cukup besar dibandingkan dengan nilai temperatur dikarenakan fluktuasi atau perubahan nilai yang terjadi pada temperatur cenderung sangat kecil.

Perbedaan hasil keluaran yang didapatkan dari kedua panel surya tersebut tentunya sangat signifikan dinama pada waktu yang sama dengan jumlah iradiasi dan temperatur yang sama panel monocrystalline mendapatkan hasil keluaran yang lebih tinggi dibandingkan dengan keluaran dari panel polycrystalline. Sehingga daya keluaran yang didapatkan oleh panel surya monocrystalline lebih besar dibanding polycrystalline. Di samping itu daya keluaran ini akan dioptimalkan kembali dengan digunakannya rangkaian MPPT pada simulasi selanjutnya yang akan menghasilkan daya yang lebih optimal. Berikut merupakan gambar grafik yang menunjukkan hal tersebut.

Hasil pengukuran daya keluaran yang didapatkan dapat dilihat dari 4.6 diatas yaitu daya keluaran dari panel surya langsung dengan daya keluaran yang sudah di optimasi dengan menggunakan MPPT dengan algoritma P&O. Pengukuran daya maksimum yang didapatkan sebelum di teruskan ke MPPT pada panel monokristalin dan polikristalin masing-masing sebesar 19,9 W dan 19,2 W. Kemudian hasil ini meningkat setelah daya keluaran dari panel surya dihubungkan dengan MPPT menjadi 22,1 W untuk monokristalin dan 21,4 W untuk polikristalin. Hasil ini didapatkan pada saat jam 11.00 siang hari dengan tingkat iradiasi dan temperatur sebesar 621,4 W/m<sup>2</sup> dan 28 °C. Kemudian nilai terendah didapatkan pada sore hari tepatnya di jam 17.00 dengan daya yang didapatkan sebesar 0 W dari panel surya monokristalin dan polikristalin, namun setelah menggunakan MPPT nilai nya menurun menjadi 0 W dikarenakan daya output panel surya terlalu kecil. Hal ini karena intensitas cahaya atau iradiasi yang diterima oleh panel surya rendah (nilai inputan pada pemodelan), maka daya yang dihasilkan oleh panel surya akan berkurang dan mencapai nilai 0. Dan MPPT bekerja dalam mode boost namun tidak mampu naik karena resistansi dalam rangkaian.

#### 4.4 Kerja MPPT Dengan Algoritma P&O Terhadap Daya Keluaran PV

MPPT menggunakan algoritma Perturb and Observe (P&O) meningkatkan daya yang dihasilkan panel surya dengan cara mengganggu (disturbing) titik-titik sistem operasi dan mengamati (mengamati) variasi daya yang dihasilkan. Titik operasi akan terganggu sekali lagi pada arah yang sama jika terjadi perubahan daya positif, dan kembali pada arah sebaliknya jika terjadi perubahan daya negatif. Prosedur ini berlanjut hingga titik operasi mendekati Titik Daya Maksimum (MPP) panel surya, dan pada saat itulah panel surya mulai menghasilkan daya maksimum.

Tabel 4. 7 Perbandingan daya output panel surya di Kota Semarang

Waktu (Jam)	Temperatur (oC)	Iradiasi (W/m <sup>2</sup> )	Monocrystalline		Polycrystalline	
			Ppv Non MPPT(W)	P MPPT (W)	Ppv Non MPPT(W)	P MPPT (W)
07.00	29	189,5	3,3	3,6	3,1	3,5
08.00	30	347,1	10,7	11,9	10,3	11,5
09.00	32	485,7	20	22,3	19,3	21,5

10.00	33	564,5	25,5	29,4	25,5	28,3
11.00	35	699,3	38,7	43	37,3	41,5
12.00	34	606,3	29,8	33,1	28,7	31,9
13.00	33	558,5	25,9	28,7	25	27,7
14.00	32	411,4	14,4	15,9	13,8	15,4
15.00	31	251,8	5,5	6,1	5,3	5,9
16.00	30	116,7	1,2	1,3	1,1	1,2
17.00	29	29,1	0	0,1	0	0
Total			<b>175</b>	<b>195,4</b>	<b>169,4</b>	<b>188,4</b>
X	<b>31,6</b>	<b>387,2</b>	<b>15,9</b>	<b>17,7</b>	<b>15,4</b>	<b>17,1</b>

Berdasarkan Tabel 4.7 ditampilkan perbandingan kenaikan hasil pengukuran daya sebelum dan setelah menggunakan MPPT pada Kota Semarang yang dihasilkan oleh panel surya monocrystalline dengan polycrystalline. Hasil tersebut adalah sebagai berikut pada panel surya monocrystalline dengan kapasitas 100 Watt, total daya yang dihasilkan pada waktu kurang lebih satu hari yaitu 175 Watt. Untuk polycrystalline menghasilkan 169,4 Watt. Kemudian pada saat panel surya menggunakan MPPT terdapat kenaikan jumlah daya yang dihasilkan yakni menjadi 195,4 Watt untuk monocrystalline. Untuk polycrystalline daya yang dihasilkan meningkat menjadi 188,4 Watt. Dari hasil tersebut bahwasanya untuk konversi dari pancaran iradiasi matahari dan suhu lingkungan yang ada, untuk panel monocrystalline lebih banyak menghasilkan daya outputnya jika dibandingkan dengan panel polycrystalline.

Tabel 4. 8 Perbandingan daya output panel surya di Baturaden

Waktu (Jam)	Temperatur (oC)	Iradiasi (W/m <sup>2</sup> )	Monocrystalline		Polycrystalline	
			Ppv Non MPPT(W)	P MPPT (W)	Ppv Non MPPT(W)	P MPPT (W)
07.00	21	189,8	3,9	4,3	3,7	4,1
08.00	23	391	15,9	17,6	15,3	17
09.00	24	480	23,5	26	22,6	25,1
10.00	26	531,6	27,6	30,6	26,6	29,5
11.00	28	621,4	36	40	34	38
12.00	27	604,4	34,9	38,7	33,6	37,3
13.00	26	470,5	21,6	23,9	20	23

14.00	25	337,5	11,3	12,6	10,9	12,1
15.00	25	176,2	3	3,4	2,9	3,3
16.00	24	87,4	0,7	0,8	0,7	0,8
17.00	23	26,2	0	0	0	0
Total			<b>178,4</b>	<b>197,9</b>	<b>170,3</b>	<b>190,2</b>
X	<b>24</b>	<b>356</b>	<b>16,2</b>	<b>17,9</b>	<b>15,4</b>	<b>31,7</b>

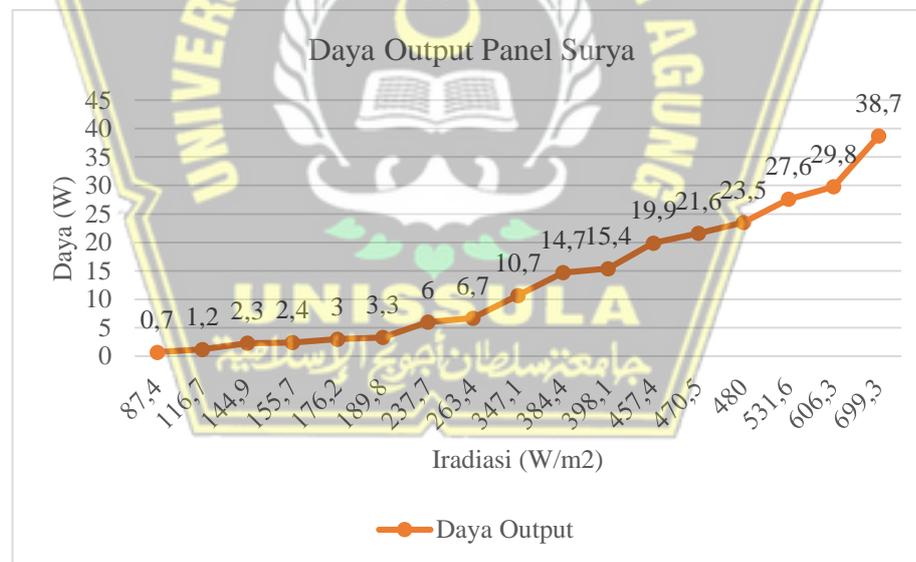
Berdasarkan Tabel 4.8 ditampilkan perbandingan kenaikan hasil pengukuran daya sebelum dan setelah menggunakan MPPT pada Kota Baturaden yang dihasilkan oleh panel surya monocrystalline dengan polycrystalline. Hasil tersebut adalah sebagai berikut pada panel surya monocrystalline dengan kapasitas 100 Watt, total daya yang dihasilkan pada waktu kurang lebih satu hari yaitu 178,4 Watt. Untuk polycrystalline menghasilkan 170,3 Watt. Kemudian pada saat panel surya menggunakan MPPT terdapat kenaikan jumlah daya yang dihasilkan yakni menjadi 197,9 Watt untuk monocrystalline. Untuk polycrystalline daya yang dihasilkan meningkat menjadi 190,2 Watt. Dari hasil tersebut bahwasanya untuk konversi dari pancaran iradiasi matahari dan suhu lingkungan yang ada, untuk panel monocrystalline lebih banyak menghasilkan daya outputnya jika dibandingkan dengan panel polycrystalline. Dimana penggunaan panel surya di daerah seperti Baturaden bisa dikatakan kurang sesuai dikarenakan iklimnya yang cenderung sejuk.

Tabel 4.9 Perbandingan daya output panel surya di Ciwidey Bandung

Waktu (Jam)	Temperatur (oC)	Iradiasi (W/m <sup>2</sup> )	Monocrystalline		Polycrystalline	
			Ppv Non MPPT(W)	P MPPT (W)	Ppv Non MPPT(W)	P MPPT (W)
07.00	20	144,9	2,3	2,5	2,2	2,4
08.00	22	237,7	6	6,6	5,7	6,4
09.00	23	346,8	12,5	13,9	11,5	12,8
10.00	25	384,4	14,7	16,3	14,2	15,7
11.00	27	457,4	19,9	22,1	19,2	21,4
12.00	26	398,1	15,4	17,1	14,9	16,5
13.00	26	263,4	6,7	7,5	6,5	7,25
14.00	25	155,7	2,4	2,6	2,3	2,5
15.00	24	115,7	1,3	1,5	1,3	1,4

16.00	24	51,4	0,2	0,3	0,2	0,2
17.00	23	18,9	0	0	0	0
Total			<b>81,4</b>	<b>90,4</b>	<b>78</b>	<b>86,55</b>
X	<b>24</b>	<b>234</b>	<b>7,4</b>	<b>8,2</b>	<b>7,0</b>	<b>7,8</b>

Berdasarkan Tabel 4.9 ditampilkan perbandingan kenaikan hasil pengukuran daya sebelum dan setelah menggunakan MPPT pada Kota Ciwidey Bandung yang dihasilkan oleh panel surya monocrystalline dengan polycrystalline. Hasil tersebut adalah sebagai berikut pada panel surya monocrystalline dengan kapasitas 100Watt, total daya yang dihasilkan pada waktu kurang lebih satu hari yaitu 81,4 Watt. Untuk polycrystalline menghasilkan 78 Watt. Kemudian pada saat panel surya menggunakan MPPT terdapat kenaikan jumlah daya yang dihasilkan yakni menjadi 90,4 Watt untuk monocrystalline. Untuk polycrystalline daya yang dihasilkan meningkat menjadi 86,5 Watt.

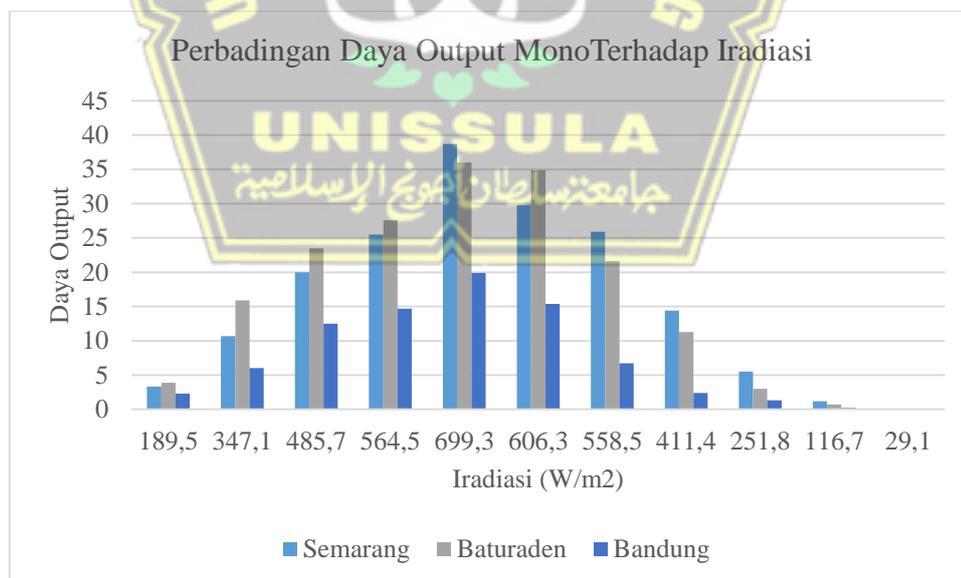


Gambar 4. 10 Daya output panel surya

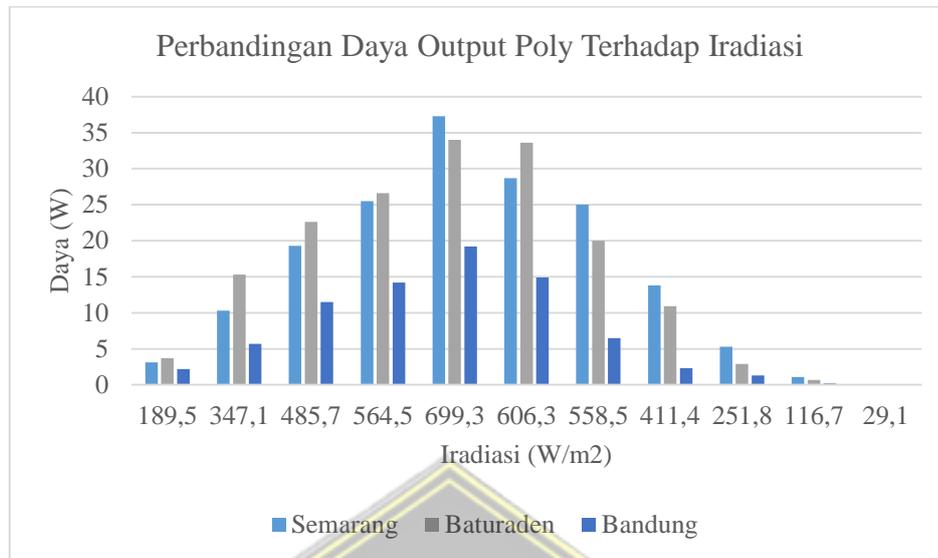
Dari ketiga tabel perbandingan daya ditemukan bahwasanya ketika nilai iradiasi meningkat maka daya keluaran panel surya akan semakin besar juga bisa dilihat pada gambar 4.19 di atas. Dari tabel ada beberapa yang berwarna dikarenakan daya keluaran dari masing-masing panel hampir sama dengan nilai iradiasi dan temperatur yang berbeda sebagai inputannya untuk mengetahui

pengaruh dari temperatur yang kita tahu bahwasanya temperatur juga mempengaruhi daya output dari panel surya.

Berdasarkan Tabel diatas diketahui pengaruh kenaikan dan penurunan nilai temperatur pada inputan dalam simulasi pemodelan panel surya dengan menggunakan matlab bahwasanya dihasilkan untuk setiap nilai iradiasi yang mendekati *Standart Test Condition* (STC) dari panel surya yaitu 25°C. setiap penurunan tingkat temperatur mendekati ataupun dibawah nilai STC ini maka daya output panel surya semakin baik, yang mana dengan nilai temperatur sebesar 29°C menghasilkan daya output sebesar 3,3 Watt saja sedangkan dengan nilai temperatur 21°C menghasilkan daya output sebesar 3,9 Watt. Kemudian pada nilai iradiasi 564,5 W/m<sup>2</sup> dan temperatur sebesar 33°C menghasilkan daya output sebesar 25,5 Watt yang mana jika dibandingkan dengan tingkat iradiasi 531,6 W/m<sup>2</sup> dan dengan temperatur 26°C didapatkan daya output sebesar 27,6 Watt, dari sini dapat diketahui bahwa dengan nilai iradiasi yang kecil asalkan nilai temperaturnya mendekati ataupun dibawah dari STC maka daya keluaran yang dihasilkan akan meningkat begitupun sebaliknya apabila temperatur meningkat menjauhi nilai STC maka daya output panel surya mengalami pengurangan.



Gambar 4. 11 Perbandingan daya keluaran panel mono di Kota Semarang, Baturaden , Ciwidey Bandung



Gambar 4. 12 Perbandingan daya keluaran panel poly di Kota Semarang, Baturaden, Ciwidey Bandung

Berdasarkan analisis dari gambar 4.20 dan 4.21, panel surya monokristalin menunjukkan efisiensi yang lebih tinggi dalam menghasilkan daya dibandingkan dengan panel polikristalin. Hal ini menjadi pertimbangan penting dalam memilih lokasi pemasangan panel surya. Misalnya, di daerah Ciwidey Bandung, kondisi iklim yang cenderung sejuk dan dingin membuat panel surya kurang efektif. Sebaliknya, Kota Semarang dengan iklim tropisnya yang hangat dan pencahayaan matahari yang cukup sepanjang tahun, menjadi lokasi yang lebih ideal untuk pemasangan panel surya, baik itu monokristalin maupun polikristalin. Dibandingkan dengan Baturaden dan Ciwidey Bandung, Kota Semarang menawarkan kondisi tingkat iradiasi yang lebih mendukung untuk optimalisasi produk energi dari panel surya namun, untuk nilai temperaturnya harus dijaga agar mendekati STC agar hasil daya output lebih besar.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

Bab ini menyajikan kesimpulan yang diambil dari seluruh hasil simulasi yang dijalankan, berdasarkan hasil yang diperoleh pada analisis dan pembahasan bab sebelumnya. Selain itu, terdapat rekomendasi untuk studi tambahan, khususnya sebagai berikut :

#### **5.1 Kesimpulan**

Kajian dan perdebatan yang dilakukan pada bab sebelumnya menghasilkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Panel surya menghasilkan daya keluaran yang besar jika nilai iradiasinya tinggi dan temperaturnya rendah mendekati STC (25°C), yang mana pada nilai 564,5 W/m<sup>2</sup> dan 33°C menghasilkan daya output sebesar 25,5 Watt yang mana jika dibandingkan dengan 531,6 W/m<sup>2</sup> dan dengan 26°C didapatkan daya output sebesar 27,6 Watt.
2. Berdasarkan hasil pengujian penggunaan MPPT dengan dapat meningkatkan daya keluaran dari panel surya yakni sebesar 11% - 16% dibandingkan dengan tanpa menggunakan MPPT.
3. Untuk panel surya dengan kapasitas 100 Watt jenis mono menghasilkan daya rata-rata sebesar 15,9 Watt, sedangkan untuk poly menghasilkan daya rata-rata sebesar 15,4 Watt di Kota Semarang. Dengan demikian dapat diketahui bahwa monocrystalline lebih tinggi dalam menghasilkan daya keluaran.
4. Penggunaan panel surya sebaiknya di implemtasikan pada daerah yang memiliki tingkat penyinaran matahari yang tinggi seperti di Kota Semarang guna mendapatkan daya keluaran yang tinggi diharuskan menjaga nilai temperatur agar mendekati nilai STCnya 25°C.

#### **5.2 Saran**

Rekomendasi saran berikut ini berasal dari penelitian dan hasil analisis yang dijelaskan sebelumnya:

1. Karena sistem MPPT dapat digunakan langsung dalam pemasangan panel surya skala besar dengan penambahan inverter, desain sistem MPPT yang

langsung terkonfigurasi dengan inverter adalah pilihan terbaik untuk penelitian mendatang.

2. Temuan pengujian menunjukkan bahwa, secara keseluruhan, sistem yang dimaksudkan berfungsi secara efektif. Namun demikian, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk membandingkan tahapan efektif dengan pendekatan lain yang lebih baru.
3. Selain itu, dengan menerapkan sistem MPPT yang dirancang ke dalam bentuk alat, sistem yang dirancang juga dapat digunakan untuk penelitian lanjutan.
4. Untuk mengetahui apakah hasilnya sama atau berbeda, sebaiknya penelitian ini menyertakan perbandingan antara simulasi dan keadaan sebenarnya.



### DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. N. Suastaka, I. G. Mahardika, and M. S. Mahendra, "Analisis Perputaran Radiasi Surya Terhadap Kinerja Sel Fotolistrik Sebagai Energi Ramah Lingkungan Di Nusa Penida Kabupaten Klungkung Provinsi Bali," *ECOTROPHIC J. Ilmu Lingkung. (Journal Environ. Sci.,* vol. 9, no. 1, p. 46, 2018, doi: 10.24843/ejes.2018.v09.i01.p06.
- [2] W. B. Pramono, D. A. R. Wati, and M. V. T. Yadaka, "Simulasi Maximum Power Point Tracking pada Panel Surya Menggunakan Simulink MATLAB," *Pros. Semin. Nas. ReTII ke-9 2018,* vol. 1, pp. 176–183, 2018.
- [3] A. A. PRATIVI, "... Perbandingan Unjuk Kerja Panel Surya Monocrystalline Dengan Polycrystalline Terhadap Perubahan Temperatur Panel Surya ...," 2019, [Online]. Available: <http://repository.unissula.ac.id/id/eprint/16235>
- [4] Y. D. Herlambang, P. N. Semarang, Z. F. Emzain, P. N. Malang, F. Arifin, and S. S. Polytechnic, "Unjuk Kerja Karakteristik Tegangan Arus dan Daya pada Panel Surya Terhadap Variasi Radiasi Surya Menggunakan Matlab Simulink," no. January 2023, 2021.
- [5] A. H. Sangaji and T. Rijanto, "Maximum Power Point Tracking (MPPT) Menggunakan Metode Artificial Neural Network untuk Panel Surya," *J. Tek. Elektro,* vol. 07, pp. 85–92, 2018.
- [6] I. Khadijah, "Bulletin of Science Education," *Bull. Sci. Educ.,* vol. 1, no. 1, pp. 60–67, 2021.
- [7] M. Anggara and W. Saputra, "Analisis Kinerja Sel Surya Monocrystalline dan Polycrystalline di Kabupaten Sumbawa NTB," *J. Flywheel,* vol. 14, no. 1, pp. 7–12, 2023, doi: 10.36040/flywheel.v14i1.6521.
- [8] Y. Sianturi, "Pengukuran dan Analisa Data Radiasi Matahari di Stasiun Klimatologi Muaro Jambi," *Megasains,* vol. 12, no. 1, pp. 40–47, 2021, doi: 10.46824/megasains.v12i1.45.

- [9] W. Nugroho and A. Nugroho, "Listrik Tenaga Surya Di Gedung Fakultas Psikologi Universitas Diponegoro," vol. 9, no. 2, pp. 181–188, 2019.
- [10] Vinod, R. Kumar, and S. K. Singh, "Solar photovoltaic modeling and simulation: As a renewable energy solution," *Energy Reports*, vol. 4, pp. 701–712, 2018, doi: 10.1016/j.egy.2018.09.008.
- [11] Usman, A. R. Idris, Sofyan, and I. Syamsuddin, "Pemodelan dan Simulasi Photovoltaic Menggunakan Pendekatan Model Tiga Diode," *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf.*, vol. 9, no. 4, pp. 423–429, 2020, doi: 10.22146/jnteti.v9i4.688.
- [12] SUHENDAR, *DASAR-DASAR PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA*, Edisi Pert. Tangerang: Media Edukasi Indonesia, 2022.
- [13] D. Dahliya, S. Samsurizal, and N. Pasra, "Efisiensi Panel Surya Kapasitas 100 Wp Akibat Pengaruh Suhu Dan Kecepatan Angin," *Sutet*, vol. 11, no. 2, pp. 71–80, 2021, doi: 10.33322/sutet.v11i2.1551.
- [14] U. Muhammadiyah Sidoarjo, A. Junaidi, and D. Keumala Sari, "Model and Analysis of Photovoltaic Modules with Irradiation and Temperature Variations using Simulation Technology Model dan Analisis Modul Photovoltaic dengan Variasi Iradiasi dan Temperatur menggunakan Teknologi Simulasi," *Semin. Nas. Call Pap. Fak. Sains dan Teknol.*, vol. 4, no. June, pp. 0–7, 2023.
- [15] M. Taufik, N. S. Syafei, and ..., "Pemodelan dan Simulasi Panel Surya Dengan Teknik MPPT," ... *Nas. Energi ...*, no. D, pp. 6–10, 2018, [Online]. Available:  
<https://jurnal.unismabekasi.ac.id/index.php/sinergi/article/view/162%0Ahttps://jurnal.unismabekasi.ac.id/index.php/sinergi/article/download/162/124>
- [16] N. Safitri, P. N. Lhokseumawe, T. Rihayat, and P. N. Lhokseumawe, *TEKNOLOGI PHOTOVOLTAIC*, Edisi Pert., no. June. Banda Aceh: YayasanPuga Aceh Riset, 2020.

- [17] A. Tjolleng, “Buku Pengantar pemrograman MATLAB: Panduan praktis belajar MATLAB,” *ReasearchGate*, no. August, pp. 1–6, 2018.

