

**PENGARUH LAMA WAKTU PENYEMPROTAN SISTEM  
PENDINGIN WATER SPRAY TERHADAP KINERJA PANEL  
SURYA**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Guna Memperoleh Gelar Sarjana Strata Satu Teknik  
Pada Program Studi Teknik Mesin  
Universitas Islam Riau

Disusun Oleh :

**KIKI RAMADANI**

**16.33.102.14**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
UNIVERSITAS ISLAM RIAU  
PEKANBARU**

**2021**

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'alamin, puji dan syukur kehadiran ALLAH SWT atas seluruh rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“Pengaruh Lama Waktu Penyemprotan Sistem Pendingin *Water Spray* Terhadap Kinerja Panel Surya”**.

Penulisan tugas akhir sarjana ini merupakan salah satu syarat untuk memenuhi persyaratan akademis dalam rangka meraih gelar Sarjana, Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau.

Dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, penulis banyak mendapatkan bantuan, bimbingan, motivasi, petunjuk, serta saran dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Orang Tua Tercinta, yang telah memberikan dukungan lahir dan batin kepada penulis untuk menyelesaikan Proposal Tugas Sarjana ini dengan baik.
2. Bapak jhonni Rahman, B.Eng., M.Eng., PhD selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau.
3. Bapak Sehat Abdi Saragih, S.T., M.T selaku dosen pembimbing Proposal Tugas Sarjana, Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau.
4. Dosen-dosen di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau, atas ilmu dan dorongannya kepada penulis dalam menyelesaikan penulisan ini.
5. Teman-teman Seperjuangan, yang telah memberikan bantuan dan dukungannya kepada penulis.

Penulis menyadari dalam penulisan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu saran dan kritik untuk kemajuan penulis sangat diharapkan demi pengembangannya di masa yang akan datang.

Pekanbaru ,... Desember 2021

Kiki Ramadani



## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>iii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>vi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	<b>viii</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>ix</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Sistem penulisan.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1 Energi Surya .....	5
2.2 Sejarah Panel Surya.....	6
2.3 Sel Surya.....	7
2.4 Cara Kerja Panel Surya .....	11
2.5 Teknik Pendinginan Sel Surya .....	13
2.6 Unjuk Kerja Panel Surya.....	15
2.6.1 <i>Short-Circuit Current (Isc)</i> .....	15

2.6.2	<i>Open-circuit voltage (Voc)</i> .....	15
2.6.3	<i>Fill Factor (FF)</i> .....	16
2.6.4	<i>Daya Maksimum (Pm)</i> .....	16
2.6.5	<i>Daya Masuk (Pin)</i> .....	17
2.6.7	<i>Efisiensi Panel Surya (<math>\eta</math>)</i> .....	18
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....		<b>19</b>
3.1	Waktu Dan Tempat Penelitian .....	19
3.2	Diagram Alir Penelitian.....	20
3.3	Alat Dan Bahan .....	21
3.3.1	<i>Alat</i> .....	21
3.3.2	<i>Bahan</i> .....	24
3.4	Persiapan Pengujian .....	24
3.5	Prosedur Pengujian.....	24
3.5.1	<i>Proses pengujian pendingin water spray dengan lama waktu penyemprotan</i> .....	24
3.6	Jadwal Kegiatan Penelitian.....	26
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....		<b>27</b>
4.1	Pengaruh Lama Waktu Penyemprotan Sistem Pendingin Water Spray Terhadap Tegangan Rangkaian Terbuka (Voc) .....	27
4.2	Pengaruh Lama Waktu Penyemprotan Sistem Pendingin Water Spray Terhadap Arus Hubungan Singkat (Isc).....	31
4.3	Pengaruh Lama Waktu Penyemprotan Sistem Pendingin Water Spray Terhadap Daya Maksimal (Pmax) .....	35

4.4	Pengaruh Lama Waktu Penyemprotan Sistem Pendingin Water Spray Terhadap Fill Factor (FF).....	39
4.5	Pengaruh Lama Waktu Penyemprotan Sistem Pendingin Water Spray Terhadap Daya Keluaran (Pout).....	42
4.6	Pengaruh Lama Waktu Penyemprotan Sistem Pendingin Water Spray Terhadap Efisiensi ( $\eta$ ).....	46
<b>BAB V PENUTUP.....</b>		<b>51</b>
5.1	Kesimpulan.....	51
5.2	Saran.....	51
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>52</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>		<b>53</b>



## DAFTAR GAMBAR

2.1	Skema Panel Surya .....	8
2.2	Proses Pengubahan Energi Matahari Menjadi Energi Listrik Pada Panel Surya .....	9
2.3	Struktur Pita Sebuah Semikonduktor .....	10
2.4	Struktur panel sel surya .....	12
2.5	Sistem Pendingin Water Spray .....	15
3.1	Gedung Fakultas Teknik .....	19
3.2	Diagram Alir Penelitian .....	20
3.3	Panel Surya <i>polycrystalline</i> 10 Wp .....	21
3.4	<i>Data Logger</i> .....	22
3.5	<i>Pyranometer</i> .....	22
3.6	Pompa Air Mini DC 12V .....	23
3.7	Selang Air .....	23

## DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Pengaruh Lama Waktu Penyemprotan System Pendingin Terhadap Voc.	27
Tabel 4. 2 Pengaruh Lama Waktu Penyemprotan Sistem Pendingin Terhadap Isc....	32
Tabel 4. 3 Pengaruh Lama Waktu Penyemprotan Sistem Pendingin Terhadap Pmax .....	36
Tabel 4. 4 Pengaruh Lama Waktu Penyemprotan Sistem Pendingin Terhadap FF ....	39
Tabel 4. 5 Pengaruh lama waktu penyemprotan sistem pendingin terhadap daya keluaran (Pout).....	43
Tabel 4. 6 Tabel 4.6 Pengaruh Lama Waktu Penyemprotan Sistem Pendingin Terhadap Efisiensi ( $\eta$ ).....	47

## DAFTAR NOTASI

- $P_{in}$  = Daya input akibat radiasi matahari (W)
- $P_{out}$  = Daya maksimum keluaran (Watt)
- $I_r$  = Intensitas radiasi matahari ( $W/m^2$ )
- $A$  = Luas permukaan *solar cell* ( $m^2$ )
- $V_m$  = Tegangan maksimum (Volt)
- $I_m$  = Arus Maksimum (Ampere)
- $V_{oc}$  = Tegangan rangkaian terbuka pada panel surya ( Volt)
- $I_{sc}$  = Arus hubung singkat pada *solar cell* (Ampere)
- $\eta$  = Efisiensi Panel surya (%)
- FF = Faktor pengisi dapat dihitung dengan rumus
- $P_{max}$  = Daya maksimum (Watt)



## PENGARUH LAMA WAKTU PENYEMPROTAN SISTEM PENDINGIN WATER SPRAY TERHADAP KINERJA PANEL SURYA

Kiki Ramadani ,Sehat Abdi Saragih  
Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik,  
Universitas Islam Riau, Jln. Kaharudin Nasution No  
133 Perhentian Marpoyan, Pekanbaru  
[kiki.dani@student.uir.ac.id](mailto:kiki.dani@student.uir.ac.id)

### ABSTRAK

Energi matahari dapat digunakan sebagai sumber energi listrik yang paling bersih dan ramah lingkungan. Energi listrik dapat dikelola dengan menggunakan energi matahari dari sistem panel surya. Penambahan reflektor atau konsentrator pada panel surya dapat meningkatkan kinerja panel surya, tetapi metode ini berdampak pada suhu panel surya yang tinggi dengan cepat. Upaya pendinginan panel surya telah dilakukan dengan menggunakan sistem *water cooling*. Sistem *water cooling* dapat menurunkan tingkat temperatur pada panel surya dan meningkatkan efisiensi tegangan yang masuk pada panel surya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh lama waktu penyemprotan sistem pendingin *water spray* pada panel surya. Pada penelitian ini menggunakan panel surya jenis polycrystallin 10 WP (Watt Peak) dengan waktu penyemprotan sistem pendingin water spray yaitu : 10 menit, 20 menit, 30 menit, 40 menit, 50 menit yang dilakukan selama 6 hari. Berdasarkan hasil percobaan, semakin lama waktu penyemprotan sistem pendingin water spray maka semakin baik kinerja panel surya yang dihasilkan, namun tidak terlalu signifikan. Performa terbaik panel surya yaitu pada lama waktu penyemprotan 50 menit, hal itu dikarenakan pada intensitas matahari 722,8 W/m<sup>2</sup> didapatkan nilai efisiensi lebih dari 6%. Sehingga dapat disimpulkan jika rata-rata intensitas matahari yang sama pada semua pengujian, maka lama waktu penyemprotan 50 menitlah kinerja panel surya paling baik.

**Kata kunci : Lama Waktu Penyemprotan Sistem Water Spray, Panel surya, Temperatur**

**(THE EFFECT OF THE TIME SPRAYING THE WATER SPRAY COOLING SYSTEM ON THE PERFORMANCE OF SOLAR PANELS)**

Kiki Ramadani, Sehat Abdi Saragih  
Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik,  
Universitas Islam Riau, Jln. Kaharudin Nasution No  
133 Perhentian Marpoyan, Pekanbaru  
[kiki.dani@student.uir.ac.id](mailto:kiki.dani@student.uir.ac.id)

**Abstract**

*Solar energy can be used as the cleanest and most environmentally friendly source of electrical energy. Electrical energy can be managed by using solar energy from solar panel systems. The addition of a reflector or concentrator to a solar panel can improve the performance of the solar panel, but this method results in a rapidly high temperature of the solar panel. Efforts to cool the solar panels have been carried out using a water cooling system. The water cooling system can reduce the temperature level on the solar panel and increase the efficiency of the incoming voltage on the solar panel. The purpose of this study was to determine the effect of the time of spraying the water spray cooling system on the solar panel. In this study, a 10 WP (Watt Peak) polycrystallin solar panel was used with a water spray cooling system spraying time, namely: 10 minutes, 20 minutes, 30 minutes, 40 minutes, 50 minutes for 6 days. Based on the experimental results, the longer the spraying time of the water spray cooling system, the better the performance of the solar panels produced, but not too significant. The best performance of solar panels is at a spraying time of 50 minutes, that's because at the intensity of the sun 722.8 W/m<sup>2</sup> the efficiency value is more than 6%. So it can be concluded that if the average sun intensity is the same in all tests, then the 50 minute spraying time is the best solar panel performance.*

**Keywords:** *The Time Of Spraying The Water Spray System, Solar cell, Temperature*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Energi saat ini sangat penting bagi kehidupan, yang mana energi menjadi kebutuhan dalam kehidupan sehari – hari. Sumber energi terbagi atas dua yaitu, energi terbarukan dan energi tidak terbarukan. Sumber energi terbarukan ini bersifat selamanya (tidak akan habis) yang mana berupa : energi air, energi angin, energi matahari, serta yang saat ini banyak dikembangkan yaitu energi biogas. Sedangkan energi tidak terbarukan dapat habis dan perlu waktu lama untuk tersedia kembali, karena berasal dari fosil makhluk hidup dan tumbuhan ratusan hingga jutaan tahun yang lalu, energi tidak terbarukan berupa : minyak bumi, batu bara, dan gas bumi. Energi terbarukan sangat memiliki banyak keuntungan bagi manusia dan alam, seperti : ramah lingkungan, bersih, tidak banyak menimbulkan polusi udara, serta didapat secara gratis. Dari semua energi terbarukan dapat kita lihat atau sadari bahwa energi surya (matahari) lebih banyak memiliki keunggulan, apalagi untuk wilayah tropis seperti indonesia.

Energi matahari dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif yang potensial, paling utama dilihat dari sumbernya yang memancarkan energi yang sangat besar dan waktunya yang panjang. Indonesia memiliki potensi energi surya yang cukup besar, karena indonesia berada tepat di garis khatulistiwa. Energi matahari bisa dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik yang paling bersih dan paling ramah lingkungan, sehingga apabila energi ini dikelola dengan baik maka dipastikan kebutuhan masyarakat akan energi listrik dapat terpenuhi.

Energi listrik yang berasal dari energi surya dapat dikelola dengan menggunakan sistem panel surya. Panel surya dapat ditingkatkan efisiensinya dengan metode menambahkan reflektor ataupun konsentrator. Meskipun penambahan reflektor ataupun konsentrator pada panel surya dapat menaikkan performa panel surya, namun

metode ini nyatanya juga mempunyai kelemahan. Akibat dari pengonsentrasian intensitas sinar ini merupakan berdampak pada temperatur panel surya yang akan melonjak cepat. Peningkatan suhu ini dapat mempengaruhi daya keluaran yang dihasilkan oleh panel surya. Kenaikan 1°C (dari 25°C) akan menghasilkan penurunan sekitar 0,5% dari total daya yang dihasilkan. Suhu udara yang tinggi mempengaruhi kinerja panel surya (Alamanda & Baskara, 2018).

Suhu udara di Kota Pekanbaru pada siang hari dapat menembus di atas 35°C dibandingkan dengan suhu operasi panel surya optimal 25°C. Peningkatan suhu lingkungan dapat mengurangi daya keluaran hingga -0,7113 W/0C. Setiap kenaikan suhu 1°C dari (25°C) akan berkurang sekitar 0,5% dari total daya yang dapat dihasilkan atau melemah 2 kali lipat seiring dengan kenaikan suhu sebesar 10°C. Peningkatan suhu udara juga dapat mengurangi intensitas eksternal panel surya hingga 0,22V/0C (Yusuf. Dkk, 2017).

Adapun upaya pendinginan panel surya yang telah dilakukan yaitu dengan metode *water cooling system* (Yusuf. dkk, 2017). Yang mana prinsip kerjanya sama dengan sistem pendingin *water spray*, namun penelitian ini tidak mengkaji berapa lama waktu penyemprotan yang terbaik untuk mendapatkan nilai kinerja panel surya yang paling optimal. Dalam hal ini sistem pendingin tersebut dapat mengurangi tingkat temperatur pada panel surya, serta menaikkan efisiensi tegangan yang masuk pada panel surya. Hal ini yang melandasi penulis untuk melakukan penelitian yaitu " PENGARUH LAMA WAKTU PENYEMPROTAN SISTEM PENDINGIN WATER SPRAY TERHADAP KINERJA PANEL SURYA " dari hasil penelitian ini diharapkan dapat diketahui seberapa efisien pemakaian sistem pendingin pada panel surya.

## 1.2 Rumusan Masalah

Ada beberapa masalah yang akan dirumuskan agar diselesaikan dalam penelitian antara lain :

1. Bagaimana pengaruh lama waktu penyemprotan sistem pendingin *water spray* terhadap kinerja panel surya?
2. Manakah lama waktu penyemprotan sistem pendingin *water spray* terhadap kinerja panel surya yang paling baik?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penyusunan proposal tugas sarjana ini yaitu :

1. Untuk mengetahui pengaruh lama waktu penyemprotan sistem pendingin *water spray* terhadap kinerja panel surya.
2. Untuk mendapatkan lama waktu penyemprotan terbaik pada sistem pendingin *water spray* terhadap kinerja panel surya.

## 1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini terfokus pada permasalahan, maka ruang lingkup penelitian ini dibatasi pada:

1. Jenis panel surya yang digunakan adalah *polycrystallin* 10 WP (Watt Peak).
2. Dilakukan 6 hari penelitian pada waktu titik puncak sinar matahari yaitu: mulai pukul 10;00 WIB.
3. Pemilihan lama waktu penyemprotan sistem pendingin *water spray* yaitu : 10 menit, 20 menit, 30 menit, 40 menit, 50 menit.
4. Penelitian ini difokuskan untuk mendapatkan nilai kinerja panel surya.

## 1.5 Sistem penulisan

Pada sistematika penulisan ini terdapat lima bab garis besar dalam pembuatan tugas akhir penelitian yang dijelaskan sebagai berikut:

### **Bab I** Pendahuluan

Pada bagian pendahuluan berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

### **Bab II** Tinjauan Pustaka

Pada bab bagian tinjauan pustaka ini berisi tentang teori-teori yang berkaitan dengan panel surya, karakteristik panel surya, parameter yang menunjukkan kinerja panel surya, dan teknik pendinginan pada panel surya.

### **Bab III** Metodologi Penelitian

Bab ini menjelaskan tentang mengenai diagram alir penelitian, waktu dan tempat penelitian, peralatan yang digunakan, persiapan pengujian, prosedur pengujian, jadwal kegiatan penelitian.

### **Bab IV** Hasil dan Pembahasan

Bab ini berisikan perbandingan tentang hasil pengujian, menganalisa dan melakukan perhitungan hasil pengujian untuk mendapatkan tegangan rangkaian terbuka, arus hubung singkat, daya maksimum, *fill factor*, daya masuk, daya keluaran dan efisiensi *solar cell*.

### **Bab V** Kesimpulan dan Saran

Berisikan kesimpulan dan saran yang di dapatkan penulis selama melakukan pengujian.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Energi Surya

Energi matahari adalah energi yang berupa cahaya dan panas dari matahari. Daya ini dapat dimanfaatkan dengan menggunakan berbagai teknologi seperti pemanas matahari, fotovoltaiik surla, listrik surla, arsitektur surla, dan fotosintesis buatan.

Penggunaannya berupa panas menggunakan seperti pemanas air dan menggunakan radiasi foton untuk menghasilkan listrik. Dapat diketahui bahwa cahaya hadir dengan panas. Panas dapat meningkatkan suhu suatu sel, selain itu kondisi lingkungan juga dapat meningkatkan suhu sel surla. Produksi dan penggunaan energi surla adalah pilihan paling banyak pihak karena lebih ekonomis, meningkatkan efisiensi sel surla, terbarukan, ramah lingkungan dan kemudahan perawatan. Penggunaan sel surla sangat mudah, karena radiasi matahari yang diserap diubah langsung menjadi listrik.

Teknologi energi surla umumnya dikategorikan dalam dua kelompok: teknologi pasif dan teknologi aktif. Pengelompokan ini bergantung pada proses penyerapan, konversi dan distribusi energi matahari. Contoh penggunaan energi surla aktif adalah penggunaan panel fotovoltaiik dan panel penyerap panas. Contoh penggunaan energi surla pasif termasuk mengarahkan bangunan ke arah matahari, memilih bangunan dengan massa termal atau dispersi cahaya yang baik, dan menentukan ruangan dengan gerakan udara alami.

Pada tahun 2011, Badan Energi Internasional menyatakan bahwa "teknologi energi surla yang tidak ada habisnya dan pengembangan energi surla bersih akan memberikan manfaat besar yang bertahan lama. Perkembangan ini akan meningkatkan ketahanan energi nasional melalui penggunaan sumber energi yang ada, tidak habis, dan tidak bergantung pada impor, meningkatkan keberlanjutan, mengurangi polusi, dan

mengurangi perubahan iklim, menurunkan harga bahan bakar fosil dan menghemat lebih rendah dari sebelumnya. ini adalah manfaat global (Safitri et al., 2020).

## 2.2 Sejarah Panel Surya

Tenaga listrik dari cahaya matahari pertama kali ditemukan oleh Alexandre – Edmund Becquerel seorang ahli fisika Perancis pada tahun 1839. Temuannya ini merupakan cikal bakal teknologi solar cell. Percobaannya dilakukan dengan menyinari 2 elektrode dengan berbagai macam cahaya. Elektrode tersebut di balut (coated) dengan bahan yang sensitif terhadap cahaya, yaitu AgCl dan AgBr dan dilakukan pada kotak hitam yang dikelilingi dengan campuran asam. Dalam percobaannya ternyata tenaga listrik meningkat manakala intensitas cahaya meningkat.

Selanjutnya penelitian dari Becquerel dilanjutkan oleh peneliti-peneliti lain. Tahun 1873 seorang insinyur Inggris Willoughby Smith menemukan Selenium sebagai suatu elemen photo conductivity. Kemudian tahun 1876, William Grylls dan Richard Evans Day membuktikan bahwa Selenium menghasilkan arus listrik apabila disinari dengan cahaya matahari. Hasil penemuan mereka menyatakan bahwa Selenium dapat mengubah tenaga matahari secara langsung menjadi listrik tanpa ada bagian bergerak atau panas. Sehingga disimpulkan bahwa solar cell sangat tidak efisien dan tidak dapat digunakan untuk menggerakkan peralatan listrik. Tahun 1894 Charles Fritts membuat Solar cell pertama yang sesungguhnya yaitu bahan semi conductor (selenium) dibalut dengan lapisan tipis emas.

Tingkat efisiensi yang dicapai baru 1% sehingga belum juga dapat dipakai sebagai sumber energi, namun kemudian dipakai sebagai sensor cahaya. Tahun 1905 Albert Einstein mempublikasikan tulisannya mengenai photoelectric effect. Tulisannya ini mengungkapkan bahwa cahaya terdiri dari paket-paket atau quanta of energi yang sekarang ini lazim disebut “photon”. Teorinya ini sangat sederhana tetapi revolusioner.

Kemudian tahun 1916 pendapat Einstein mengenai photoelectric effect dibuktikan oleh percobaan Robert Andrew milikan seorang ahli fisika berkebangsaan Amerika dan ia mendapatkan Nobel Prize untuk karya photoelectric effect. Tahun 1923

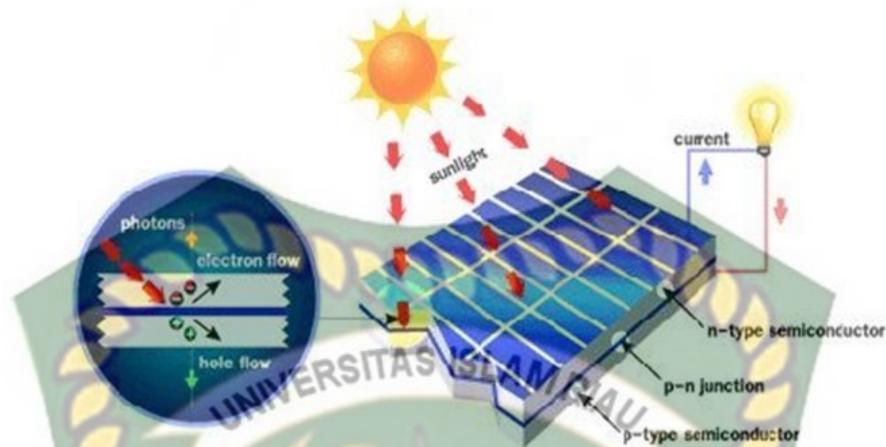
Albert Einstein akhirnya juga mendapatkan Nobel Prize untuk teorinya yang menerangkan photoelectric effect yang dipublikasikan 18 tahun sebelumnya. Hingga tahun 1980 an efisiensi dari hasil penelitian terhadap solar cell masih sangat rendah sehingga belum dapat digunakan sebagai sumber daya listrik tahun 1982.

Hans Tholstrup seorang Australia mengendarai mobil bertenaga surya pertama untuk jarak 4000 km dalam waktu 20 hari dengan kecepatan maksimum 72 km/jam. Tahun 1985 University of South Wales Australia memecahkan rekor efisiensi solar cell mencapai 42.8%. hal ini merupakan rekor terbaru untuk “thin film photovoltaic solar cell”. Perkembangan dalam riset solar cell telah mendorong komersialisasi dan produksi solar cell untuk penggunaannya sebagai sumber daya listrik (Safitri. Dkk, 2020).

### 2.3 Sel Surya

Sel surya adalah seperangkat modul untuk mengkonversi tenaga matahari menjadi energi listrik. Photovoltaic adalah teknologi yang berfungsi untuk mengubah atau mengkonversi radiasi matahari menjadi energi listrik secara langsung. PV biasanya dikemas dalam sebuah unit yang disebut modul. Dalam sebuah modul surya terdiri dari banyak sel surya yang bisa disusun secara seri maupun paralel.

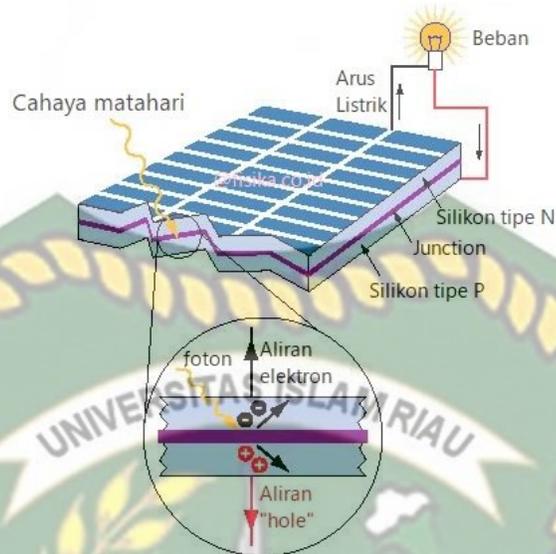
Sedangkan yang dimaksud dengan sel surya adalah sebuah elemen semi konduktor yang dapat mengkonversi energi surya menjadi energi listrik atas dasar efek photovoltaic. Sel surya mulai populer akhir- akhir ini, selain mulai menipisnya cadangan energi fosil dan isu global warming. Energi yang dihasilkan juga sangat murah karna sumber energi (matahari) bisa didapatkan secara gratis.



Gambar 2. 1 Skema Panel Surya

Sumber : (Sunarno A.R, 2019)

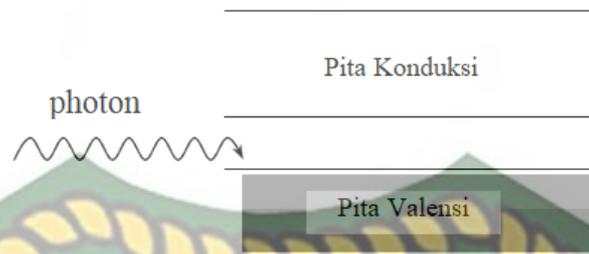
Secara sederhana sel surya terdiri dari persambungan bahan semikonduktor bertipe p dan n (p-n junction semiconductor) yang jika terkena sinar matahari maka akan terjadi aliran elektron, aliran elektron inilah yang disebut sebagai aliran arus listrik. Proses perubahan energi matahari menjadi energi listrik ditunjukkan dalam gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Proses Pengubahan Energi Matahari Menjadi Energi Listrik Pada Sel Surya

Sumber : (Sunarno A.R, 2019)

Bagian utama pengubah energi sinar matahari menjadi listrik adalah penyerap (absorber), meskipun demikian masing-masing lapisan juga sangat berpengaruh terhadap efisiensi dari sel surya. Sinar matahari terdiri dari bermacam-macam jenis gelombang elektromagnetik, oleh karena itu penyerap disini diharapkan dapat menyerap sebanyak mungkin radiasi sinar yang berasal dari cahaya matahari. Lebih detail lagi bisa dijelaskan bahwa semikonduktor adalah bahan yang memiliki struktur seperti isolator akan tetapi memiliki celah energi kecil (1 eV atau kurang) sehingga memungkinkan elektron bisa melompat dari pita valensi ke pita konduksi. Hal tersebut dapat dijelaskan dengan pita-pita energi seperti gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Struktur Pita Sebuah Semikonduktor

Sumber : (Sunarno A.R, 2019)

Elektron dari pita konduksi dapat meloncat ke pita valensi ketika sambungan tersebut dikenai photon dengan energi tertentu.

Ketika sinar matahari yang terdiri dari photon-photon jatuh pada permukaan bahan sel surya (absorber), akan diserap, dipantulkan, atau dilewatkan begitu saja seperti terlihat pada gambar 2.3, dan hanya foton dengan tingkat energi tertentu yang akan membebaskan elektron dari ikatan atomnya, sehingga mengalir arus listrik. Tingkat energi ini disebut energi band-gap yang didefinisikan sebagai sejumlah energi yang dibutuhkan untuk mengeluarkan elektron dari ikatan kovalennya sehingga terjadilah aliran arus listrik. Elektron dari pita valensi akan tereksitasi ke pita konduksi. Elektron menjadi pembawa n dan meninggalkan hole, pembawa p. Pembawa p akan bergerak menuju persambungan demikian juga pembawa n akan bergerak ke persambungan, perpindahan tersebut menghasilkan beda potensial. Arus dan daya yang dihasilkan fotovoltaik ini dapat dialirkan ke rangkaian luar. Untuk membebaskan elektron dari ikatan kovalennya, energi foton ( $hc$ ) harus sedikit lebih besar/diatas daripada energi band-gap. Jika energi foton terlalu besar dari pada energi band-gap, maka ekstra energi tersebut akan dirubah dalam bentuk panas pada sel surya. Karenanya sangatlah penting pada sel surya untuk mengatur bahan yang dipergunakan, yaitu dengan memodifikasi struktur molekul dari semikonduktor yang dipergunakan.

Agar efisiensi sel surya bisa tinggi maka foton yang berasal dari sinar matahari harus bisa diserap yang sebanyak-banyaknya, kemudian memperkecil refleksi dan rekombinasi serta memperbesar konduktivitas dari bahannya. Agar foton bisa diserap sebanyak-banyaknya, maka penyerap harus memiliki energi band-gap dengan jangkauan yang lebar, sehingga memungkinkan untuk bisa menyerap sinar matahari yang mempunyai energi sangat bermacam-macam tersebut. Salah satu bahan yang sedang banyak diteliti adalah CuInSe<sub>2</sub> yang dikenal merupakan salah satu dari direct semiconductor (Sunarno A.R, 2019).

#### 2.4 Cara Kerja Panel Surya

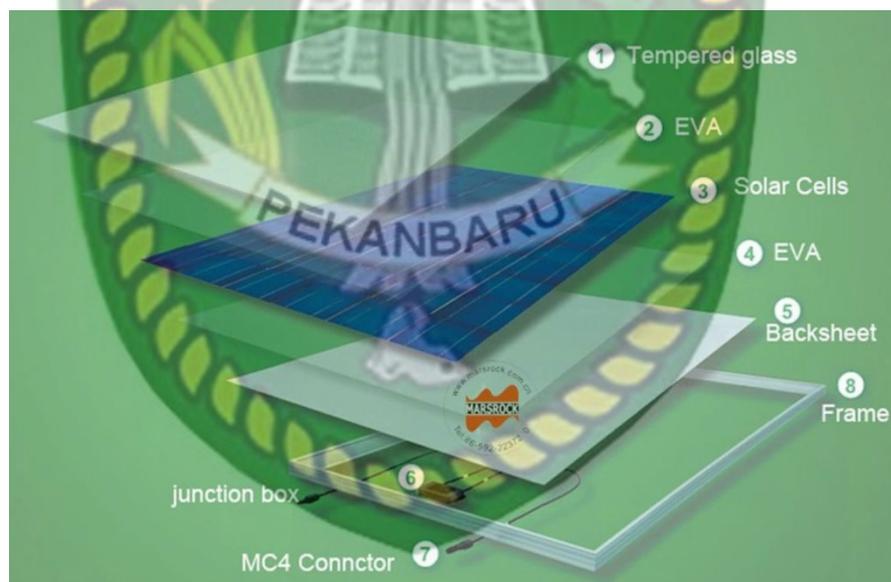
Segala material/bahan terbuat dari bagian-bagian halus (partikel) yang dinamakan molekul. Molekul itu adalah bagian terkecil dari suatu bahan yang masih mempertahankan sifat-sifat bahan tersebut. Molekul ini tersusun dari gabungan partikel-partikel yang lebih halus lagi, yang dinamakan atom. Setiap atom memiliki inti bermuatan positif dan sejumlah elektron yang mengitari inti pada orbit masing-masing.

Kepingan sel terdiri atas kristal silikon yang memiliki dua lapisan silikon doped, yaitu lapisan sel surya yang menghadap ke cahaya matahari memiliki doped negatif dengan lapisan fosfor, sementara lapisan di bawahnya terdiri dari doped positif dengan lapisan borium. Antara kedua lapisan dibatasi oleh penghubung p-n. Jika pada permukaan sel terkena cahaya matahari maka pada sel bagian atas akan terbentuk muatan-muatan negatif yang bersatu pada lapisan fosfor. Sedangkan pada bagian bawah lapisan sel akan membentuk muatan positif pada lapisan borium. Kedua permukaan tersebut akan saling mengerucut muatan masing-masingnya jika sel terkena sinar matahari. Sehingga pada kedua sisi sel akan menghasilkan beda potensial berupa tegangan listrik.

Saat ini silikon merupakan bahan yang banyak digunakan untuk pembuatan sel surya. Agar dapat digunakan sebagai bahan sel surya, silikon dimurnikan hingga satu tingkat yang tinggi. Sel surya adalah suatu elemen aktif yang mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Sel surya pada umumnya memiliki ketebalan minimum

0,3 mm, yang terbuat dari irisan bahan semikonduktor dengan kutub positif dan kutub negatif. Pada temperatur rendah semikonduktor bekerja sebagai isolator, namun bila energi atau cahaya matahari tersedia, mereka berfungsi sebagai konduktor.

Ketika cahaya jatuh pada foton semikonduktor dengan energi kurang dari energi bandgap melewati material. Energi bandgap adalah energi yang dibutuhkan untuk mengusir elektron dari ikatan kovalennya. Foton dengan energi lebih besar daripada celah berinteraksi dengan elektron dalam ikatan kovalen yang menciptakan pasangan lubang elektron yang menciptakan arus listrik. Arus listrik diinduksi dengan meletakkan tipe-n dan semikonduktor tipe-p bersama membentuk sambungan p-n. Bila material digabungkan dengan kelebihan lubang pada bahan tipe-p mengalir ke material tipe-n dan elektron mengalir dari tipe-n ke material tipe-p. Struktur panel sel surya ditunjukkan Gambar 2.5



Gambar 2. 4 Struktur Panel Surya

Sumber : (Sunarno A.R, 2019)

Sel surya jarang digunakan secara individual tetapi terhubung untuk membentuk panel, yang merupakan bangunan blok untuk array surya. Agar terlindung

dari kelembaban dan aspek lingkungan lainnya, sel-sel tertutup dalam panel. Panel ini biasanya terdiri dari bingkai aluminium yang tercakup dalam film Tedlar. Sel-sel "direkatkan" ke Tedlar dengan polimer yang elastis dan transparan, paling sering EVA (etylenvinylacelat) dan ditutupi kaca (Sunarno A.R, 2019).

## 2.5 Teknik Pendinginan Sel Surya

Dari penelitian yang pernah dilakukan salah satu cara meningkatkan efisiensi sel surya adalah dengan menurunkan atau mempertahankan temperatur kerja sel surya pada kondisi mendekati 25°C, yang dibagi menjadi beberapa cara yaitu :

1. Pendinginan berdasarkan permukaan yang didinginkan, terbagi atas posisi depan (front) atau posisi belakang (back). Untuk posisi depan, dapat dilakukan dengan cara menyemprotkan air setiap waktu tertentu atau air mengalir di bagian permukaan secara terus menerus. Sementara untuk posisi belakang dapat dilakukan dengan cara menyemprotkan kipas bantu atau air dan udara.
2. Berdasarkan media pendingin dapat dibagi atas media air atau udara.
3. Berdasarkan sistem pengontrolannya terbagi atas pendinginan aktif dan pasif. Pendinginan pasif dapat terjadi dengan memanfaatkan kondisi alami suatu bahan seperti udara, air atau aluminium tanpa ada pengaturan otomatis dan tidak membutuhkan energi tambahan. Sementara untuk pendinginan aktif dilakukan dengan menambahkan energi lain untuk memaksa terjadinya pendinginan yang lebih cepat seperti menggunakan pompa, kipas angin dan pengontrol lainnya.

Beberapa cara pendinginan aktif pada sel surya adalah sebagai berikut:

1. Mengalirkan air tipis ke permukaan panel. Penyemprotan dilakukan dengan tambahan pompa dan sistem kontrol.
2. Mendinginkan permukaan panel sel surya dengan meniupkan kipas angin ke permukaan bawah panel.
3. Mendinginkan bagian bawah panel dengan penambahan inlet dan outlet air. Air yang bersumber dari sebuah tangki akan terus mengalir dengan penambahan

pompa dan kontrol. Cara ini membutuhkan air yang banyak atau tangki yang besar.

Beberapa teknik pendinginan pasif pada sel surya adalah sebagai berikut:

1. Mendinginkan bagian bawah panel menggunakan plat, sirip atau heat sink aluminium.
2. Mendinginkan bagian bawah panel dengan botol berisi air dan sumbu kapas.
3. Mendinginkan bagian bawah panel dengan mencelupkan bagian bawah panel ke dalam air (Sunarno A.R, 2019).

Maka sistem pendingin *water spray* termasuk dalam sistem pendingin aktif, yang mana mendinginkan panel surya melalui bagian permukaan atas panel dengan cara penyemprotan air secara merata. Sistem pendingin ini juga dapat berfungsi sebagai alat bantu dalam membersihkan permukaan panel surya dari debu dan kotoran yang mengganggu penyerapan intensitas radiasi matahari ke sistem panel surya.



Gambar 2. 5 Sistem Pendingin Water Spray

Sumber : (Sunarno A.R, 2019)

## 2.6 Unjuk Kerja Panel Surya

Parameter utama yang digunakan untuk mengkarakterisasi kinerja sel surya adalah hubungan arus singkat ( $I_{sc}$ ), rangkaian tegangan terbuka ( $V_{oc}$ ), fill factor (FF), daya maksimum ( $P_m$ ), daya masuk ( $P(in)$ ), daya keluaran ( $P(out)$ ), efisiensi sel surya ( $\eta$ ) (Pido. Dkk, 2018).

### 2.6.1 Short-Circuit Current ( $I_{sc}$ )

Short circuit current adalah arus yang mengalir melalui sirkuit eksternal ketika elektroda sel surya dihubungkan pendek. Arus hubung singkat sel surya tergantung pada insiden kerapatan foton-fluks pada sel surya, yang ditentukan oleh spektrum cahaya datang.

$I_{sc}$  merupakan arus maksimal yang dapat dihasilkan oleh modul sel surya. Cara untuk mendapatkan nilai  $I_{sc}$  yaitu dengan cara meng-short-kan kutub positif dengan kutub negatif pada PV *Module*, kemudian nilai  $I_{sc}$  dibaca pada multimeter sebagai pembaca arus sehingga didapatkan nilai pengukuran arus maksimum pada sel surya (Pido. Dkk, 2018).

$$I_{sc} = qG (L_n + L_p) \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan :

$G$  = Tingkat generasi

$L_n$  = Panjang difusi elektron

$L_p$  = Panjang difusi *hole*

### 2.6.2 Open-circuit voltage ( $V_{oc}$ )

Open-circuit voltage adalah tegangan di mana tidak ada arus mengalir melalui sirkuit eksternal. Rangkaian tegangan terbuka (open circuit voltage) juga bisa dikatakan tegangan maksimum dari sel surya dan ini terjadi pada saat arus sel surya sama dengan nol ( $I_{sc}=0$ ). Untuk menghitung arus hubung singkat maka bisa menggunakan persamaan 2.2 dibawah ini (Pido. Dkk, 2018).

$$V_{oc} = \frac{KT}{q} \ln\left(\frac{I_{sc}}{I_s} + 1\right) \dots \dots \dots \text{Pers (2.2)}$$

Keterangan :

K = Konstanta Boltzman ( $1.30 \times 10^{-16}$  erg)

Q = Konstanta muatan elektron ( $1.602 \times 10^{-19}$  C)

T = Temperatur dalam kelvin (K)

$I_s$  = Arus Saturasi (A)

### 2.6.3 Fill Factor (FF)

Faktor pengisi ( fill Factor, FF) adalah ukuran kualitas dari sel surya dapat diketahui dengan membandingkan daya maksimum teoritis dan daya output pada tegangan rangkaian terbuka dan hubungan pendek.

Faktor pengisi yaitu parameter yang menyatakan seberapa besar  $I_{sc} \times V_{oc}$  dari daya maksimum  $V_m \times I_m$  yang dihasilkan sel surya (Pido. Dkk, 2018).

$$FF = \frac{V_m \times I_m}{V_{oc} \times I_{sc}} \dots \dots \dots \text{pers(2.3)}$$

Dengan:

FF = Faktor pengisi

$V_m$  = Tegangan maksimum (Volt)

$I_m$  = Arus maksimum (Ampere)

$V_{oc}$  = Tegangan rangkaian terbuka (Volt)

$I_{sc}$  = Arus hubung singkat (Ampere)

### 2.6.4 Daya Maksimum (Pm)

Daya maksimum (Pm) diperoleh dari perkalian antara arus dan tegangan, pada setiap titik A kurva I-V pada Gambar 1. Secara grafik daya maksimum pada sel surya

berada pada puncak yang memiliki luas terbesar. Titik puncak tersebut dapat disebut maximum power point (MPP) (Pido. Dkk, 2018).

Daya maksimum dari sel surya dapat dihitung dengan Persamaan (2.4):

$$P_m = V_m \cdot I_m \dots \dots \dots \text{pers (2.4)}$$

Dengan :

$P_m$  = Daya maksimum (W)

$V_m$  = Tegangan maksimum (Volt)

$I_m$  = Arus maksimum (Ampere)

#### 2.6.5 Daya Masuk (Pin)

Daya masuk (Pin) diperoleh dari perkalian antara intensitas radiasi matahari yang diterima dengan luas area sel surya menggunakan Persamaan (2.5).

$$P(\text{in}) = I_r \times A \dots \dots \dots \text{pers (2.5)}$$

Dengan:

$P(\text{in})$  = Daya Masuk (W)

$I_r$  = Intensitas radiasi matahari ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

$A$  = Luas area permukaan sel surya ( $\text{m}^2$ )

#### 2.6.6 Daya Keluaran (Pout)

Daya keluaran ( $P(\text{out})$ ) pada sel surya yaitu perkalian tegangan rangkaian terbuka ( $V_{oc}$ ) dengan arus hubung singkat ( $I_{sc}$ ) dan faktor pengisi (FF) yang dihasilkan oleh sel surya dapat dihitung dengan Persamaan (2.6) (Pido. Dkk, 2018).

$$P(\text{out}) = V_{oc} \times I_{sc} \times FF \dots \dots \dots \text{pers (2.6)}$$

Dengan:

$P(\text{out})$  = Daya keluaran (W)

$V_{oc}$  = Tegangan rangkaian terbuka (Volt)

$I_{sc}$  = Arus hubung singkat (Ampere)

$FF$  = Faktor pengisi

### 2.6.7 Efisiensi Panel Surya ( $\eta$ )

Efisiensi sel surya ( $\eta$ ) adalah perbandingan daya keluaran dengan daya intensitas matahari dapat dihitung dengan Persamaan (2.7).

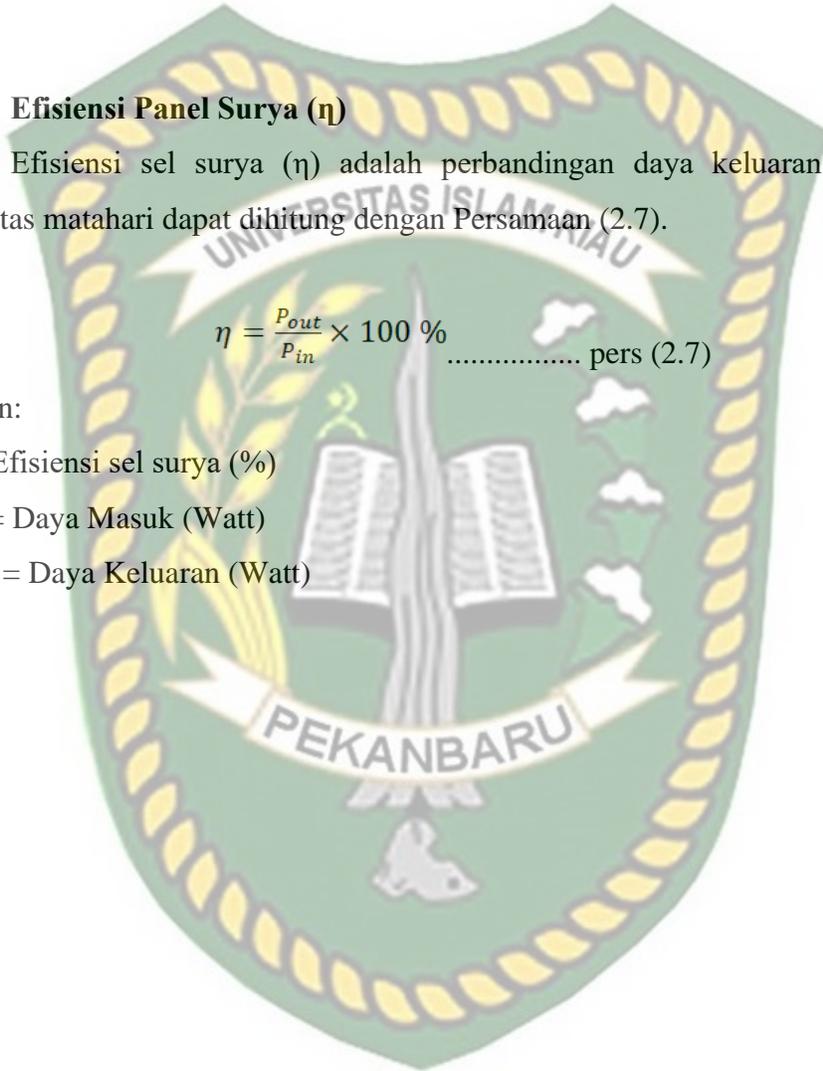
$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% \dots\dots\dots \text{pers (2.7)}$$

Dengan:

$\eta$  = Efisiensi sel surya (%)

$P_{in}$  = Daya Masuk (Watt)

$P_{out}$  = Daya Keluaran (Watt)



## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian

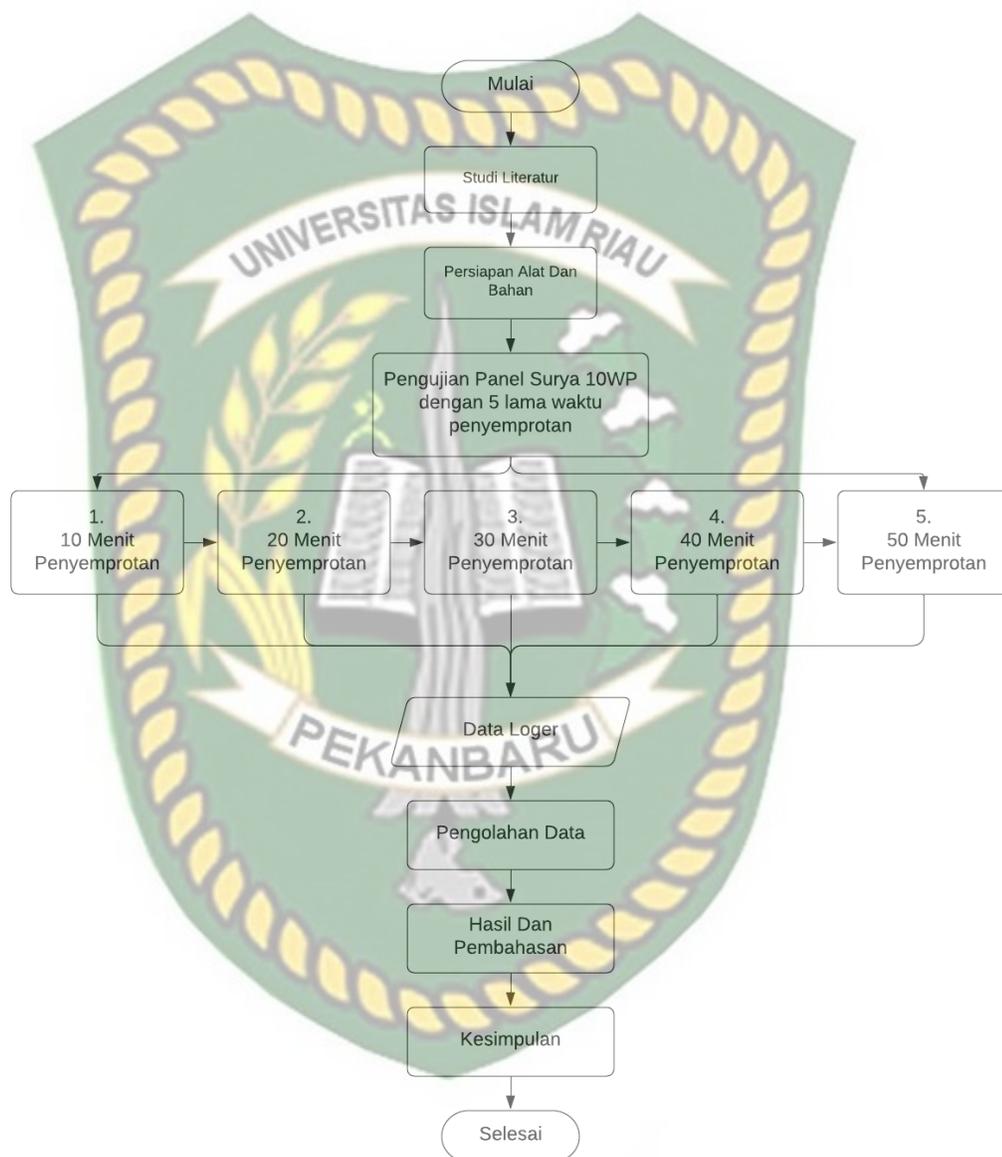
Pengujian pengaruh lama waktu penyemprotan sistem pendingin water spray terhadap kinerja panel surya ini akan dilaksanakan pada bulan November 2020 bertempat di Gedung Teknik, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau (UIR) yang beralamat di Jl.Kaharuddin Nasution No.133, Marpoyan, Pekanbaru.



Gambar 3. 1 Gedung Fakultas Teknik

### 3.2 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir berfungsi sebagai gambaran alur pada penelitian. Proses ini dapat dilihat pada gambar 3.2 seperti dibawah ini :



Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian

### 3.3 Alat Dan Bahan

#### 3.3.1 Alat

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian yaitu :

1. Panel surya

Panel surya yang digunakan berjenis polycrystalline 10 WP.

Dengan ukuran panjang 35,4 Cm dan lebar 25,1 Cm



Gambar 3. 3 Panel Surya *polycrystalline* 10 Wp

2. Data Logger

Data logger merupakan suatu instrumen elektronik yang digunakan untuk membaca parameter dari panel surya ( misalnya temperatur, arus, tegangan, dan daya dari panel surya ) yang di baca oleh sensor elektronik maupun elektromagnetik, kemudian menuliskan nilai besaran yang dibaca tersebut kedalam memori.



Gambar 3. 4 Data Logger

### 3. *Pyranometer*

Pyranometer berfungsi sebagai sebuah alat untuk mengukur radiasi matahari.



Gambar 3. 5 *Pyranometer*

#### 4. Pompa Air

Pompa air berfungsi sebagai pemindahan fluida air sebagai pendingin dari reservoir ke panel surya. Pompa air yang digunakan yaitu berjenis pompa air mini DC 12 V.



Gambar 3. 6 Pompa air mini DC 12V

#### 5. Selang

Selang berfungsi sebagai alat yang membawa air dari satu tempat ke tempat lain.



Gambar 3. 7 Selang Air

### 3.3.2 Bahan

Sesuai dengan pengujian yang dilakukan pada penelitian ini, untuk pendinginan panel surya maka bahan yang digunakan yaitu air, yang berfungsi untuk menurunkan temperatur panel surya agar meningkatkan kinerja panel surya.

### 3.4 Persiapan Pengujian

Perlu adanya persiapan sebelum melakukan pengujian agar data yang didapatkan dari hasil pengujian merupakan data yang kongkrit.

Persiapan yang dilakukan yaitu :

1. Mempersiapkan alat uji yang akan digunakan serta peralatan – peralatan pendukung dalam pengujian.
2. Memeriksa alat uji dan peralatan – peralatan dalam kondisi berfungsi dengan baik, agar saat pengujian didapatkan hasil yang optimal dan tanpa kendala.
3. Merakit pendingin water spray pada panel surya yaitu : pompa air, selang, nosel.
4. Memasang data logger sebagai pencatat data yang keluar dari sistem panel surya.
5. Menyiapkan dan memeriksa laptop dalam keadaan baik agar dapat digunakan untuk menerjemahkan dan memantau data yang keluar dari data logger.

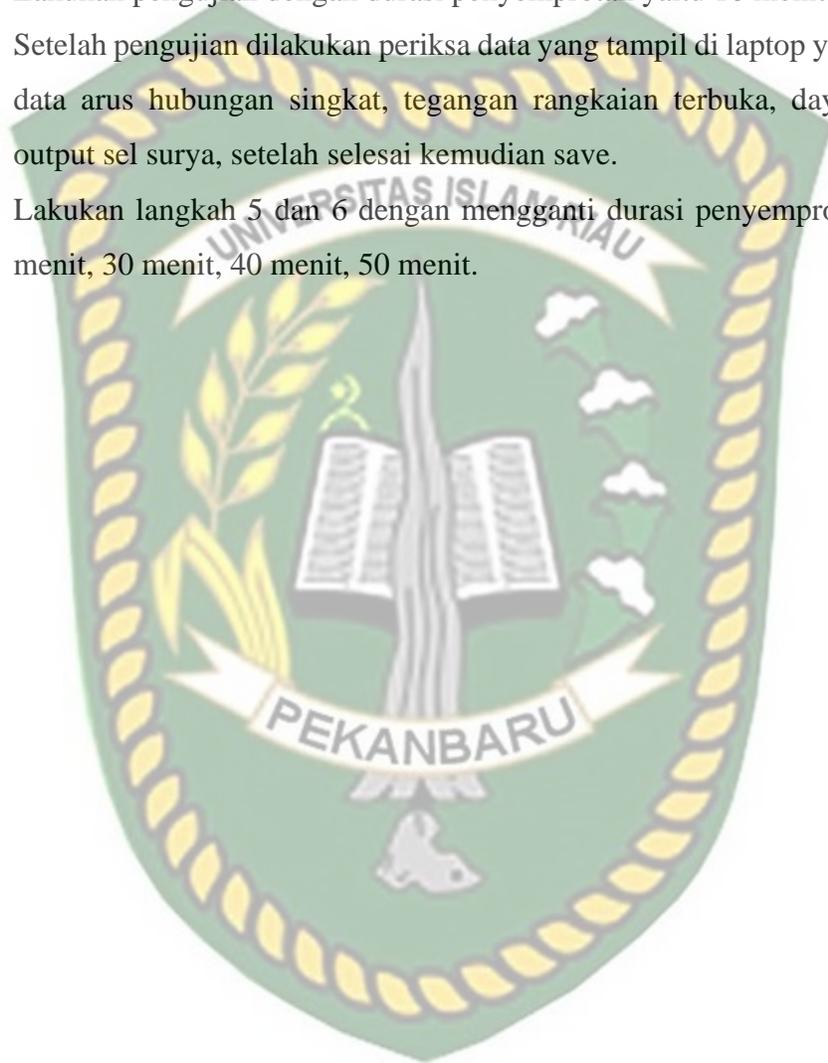
### 3.5 Prosedur Pengujian

#### 3.5.1 Proses pengujian pendingin water spray dengan lama waktu penyemprotan

Langkah - langkah dalam pengujian ini dapat dilakukan sebagai berikut :

1. Isi penuh air di bak penampung
2. Nyalakan laptop.
3. Nyalakan rangkaian panel surya dan data logger agar mencatat data yang didapat.

4. Setelah semua rangkaian panel bekerja, tunggu hingga temperatur panel meningkat.
5. Ketika temperatur panel sudah dipuncak, maka nyalakan pompa.
6. Lakukan pengujian dengan durasi penyemprotan yaitu 10 menit,
7. Setelah pengujian dilakukan periksa data yang tampil di laptop yang terdiri dari data arus hubungan singkat, tegangan rangkaian terbuka, daya input, daya output sel surya, setelah selesai kemudian save.
8. Lakukan langkah 5 dan 6 dengan mengganti durasi penyemprotan yaitu : 20 menit, 30 menit, 40 menit, 50 menit.



### 3.6 Jadwal Kegiatan Penelitian

Agar penelitian tentang analisa pengaruh lama waktu penyemprotan system pendingin water spray terhadap kinerja panel surya ini dapat berjalan optimal sesuai dengan waktu yang ditentukan maka perlu dibuat jadwal penelitian seperti yang terlihat pada Tabel 3.1 dibawah ini.

No	Jenis Kegiatan	Bulan																
		September				Oktober				November				Desember				
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
1	Pembuatan proposal	■	■	■	■													
2	Studi Literatur																	
3	Persiapan alat dan bahan																	
4	Pengujian dan pengumpulan data									■	■							
5	Analisa data													■	■	■		
6	Hasil akhir dan presentasi																■	■

Tabel 3. 1 Jadwal Kegiatan Penelitian

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pengaruh Lama Waktu Penyemprotan Sistem Pendingin Water Spray Terhadap Tegangan Rangkaian Terbuka (Voc)

Dari penelitian yang telah dilakukan, diketahui bahwa adanya pengaruh lama waktu penyemprotan system pendingin *water spray* terhadap tegangan rangkaian terbuka (Voc). Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai Voc tertinggi yang dihasilkan oleh panel surya yaitu pada lama waktu penyemprotan 30 menit dengan nilai Voc = 19,45 Volt, dan nilai Voc terendah yang dihasilkan panel surya yaitu pada tanpa alat pendingin dengan nilai Voc = 17,70 Volt. Hasil tersebut dapat dilihat pada table 4.1 dibawah ini.

**Tabel 4. 1 Pengaruh Lama Waktu Penyemprotan System Pendingin Terhadap Voc**

Hari	Variasi Pengujian	Voc	Iradiasi
1	0 menit	17,72	796,6
	10 menit	19,30	796,6
2	10 menit	19,37	835,7
	20 menit	19,40	835,7
3	20 menit	19,43	864,5
	30 menit	19,45	864,5
4	30 menit	19,35	764,5
	40 menit	19,39	764,5
5	40 menit	19,23	722,8
	50 menit	19,24	722,8
6	50 menit	19,28	734,3
	0 menit	17,70	734,3

Pada tabel 4.1, dari parameter kinerja panel surya yaitu tegangan rangkaian terbuka (Voc) yang dihasilkan panel surya mengalami perubahan yang sangat baik dengan ditambahkannya sistem pendingin *water spray* pada panel surya. Dapat dilihat bahwa tegangan rangkaian terbuka (Voc) yang dihasilkan dari variasi lama waktu penyemprotan memiliki nilai yang berbeda-beda. Dapat dilihat pada pengujian hari ke-1 yang mana rata-rata iradiasi matahari yaitu  $796,6 \text{ W/m}^2$ , tegangan rangkaian terbuka (Voc) dari pengujian panel surya tanpa sistem pendingin yaitu sebesar 17,72 Volt, sedangkan pada pengujian penambahan sistem pendingin *water spray* dengan lama waktu penyemprotan 10 menit didapatkan kenaikan tegangan rangkaian terbuka (Voc) yaitu sebesar 19,30 Volt.

Pada pengujian hari ke-2 yang mana ada kenaikan rata-rata iradiasi matahari yaitu  $835,7 \text{ W/m}^2$ , sehingga tegangan rangkaian terbuka (Voc) dari pengujian penambahan sistem pendingin *water spray* dengan lama waktu penyemprotan 10 menit sebesar 19,37 Volt, sedangkan pada pengujian penambahan sistem pendingin *water spray* dengan lama waktu penyemprotan 20 menit didapatkan adanya penurunan tegangan rangkaian terbuka (Voc) yaitu 19,40 Volt.

Pada pengujian hari ke-3 adanya mengalami kenaikan rata-rata iradiasi matahari yaitu sebesar  $864,5 \text{ W/m}^2$ , maka tegangan rangkaian terbuka (Voc) pada penambahan sistem pendingin *water spray* dengan lama waktu penyemprotan 20 menit didapatkan sebesar 19,43 Volt, sedangkan pada pengujian penambahan sistem pendingin *water spray* dengan lama waktu penyemprotan 30 menit mengalami adanya kenaikan yaitu sebesar 19,45 Volt.

Pada pengujian hari ke-4 mengalami penurunan rata-rata iradiasi matahari yaitu sebesar  $764,5 \text{ W/m}^2$ , maka tegangan rangkaian terbuka (Voc) dari pengujian penambahan sistem pendingin *water spray* dengan lama waktu penyemprotan 30 menit yaitu sebesar 19,35 Volt, sedangkan pada pengujian penambahan sistem pendingin *water spray* dengan lama waktu penyemprotan 40 menit mengalami kenaikan tegangan rangkaian terbuka (Voc) yaitu sebesar 19,39 Volt.

Pada pengujian hari ke-5 rata-rata iradiasi matahari mengalami penurunan dari pengujian hari ke-4 yang mana didapatkan sebesar  $722,8 \text{ W/m}^2$ , maka didapatkan tegangan rangkaian terbuka (Voc) pada pengujian penambahan sistem pendingin *water spray* dengan lama waktu penyemprotan 40 menit yaitu sebesar 19,23 Volt, sedangkan dari pengujian penambahan sistem pendingin *water spray* dengan lama waktu penyemprotan 50 menit didapatkan tegangan rangkaian terbuka (Voc) yaitu sebesar 19,24 Volt.

Lalu pada pengujian terakhir yang mana pada hari ke-6 mengalami adanya kenaikan rata-rata iradiasi matahari yaitu sebesar  $734,3 \text{ W/m}^2$ , maka tegangan rangkaian terbuka (Voc) dari pengujian penambahan sistem pendingin *water spray* dengan lama waktu penyemprotan 50 menit sebesar 19,28 Volt, sedangkan pada pengujian tanpa penambahan sistem pendingin *water spray* didapatkan tegangan rangkaian terbuka yaitu sebesar 17,70 Volt.

Kenaikan nilai Voc dapat dilihat dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada gambar 4.1 dibawah ini :



Gambar 4.1 Grafik Pengaruh Lama Waktu Penyemprotan Sistem Pendingin Terhadap

Voc

Dari Gambar 4.1 diatas menunjukkan masing-masing lama waktu penyemprotan sistem pendingin *water spray* sebagai media pendingin memiliki nilai tegangan rangkaian terbuka (Voc) yang berbeda-beda, terlihat bahwa semakin lama waktu penyemprotan sistem pendingin *water spray* pada panel surya maka nilai Voc yang didapat semakin baik tetapi tidak begitu signifikan. Itu dibuktikan dengan semakin lama waktu penyemprotan sistem pendingin *water spray* pada intensitas matahari yang sama, peningkatan nilai Voc tidak lebih dari 0,2%. Tetapi hal ini berbeda pada perbandingan panel surya tanpa pendingin (murni) dengan panel surya yang ditambahkan sistem pendingin *water spray*, kenaikan nilai Voc bisa mencapai 8,2%.

Hal itu disebabkan karena dalam pengujian menggunakan panel surya jenis *polycrystalline*, karena pada panel surya jenis *polycrystalline* sangat sensitif terhadap temperatur. Dalam hal ini dapat dikatakan bahwa dengan menjaga temperatur pada panel surya dapat meningkatkan penyerapan daya. Panel surya dapat bekerja optimal pada saat temperatur konstan yaitu 25 °C, ketika temperatur permukaan panel surya meningkat maka tegangan yang dihasilkan akan mengalami penurunan sangat signifikan begitu pula sebaliknya jika temperatur permukaan panel surya mengalami penurunan maka tegangan yang dihasilkan akan meningkat secara signifikan.

Temperatur panel surya memberikan pengaruh terhadap kinerja panel surya *polycrystalline* khususnya pada tegangan rangkaian terbuka (Voc), dari hasil pengujian dan pengamatan memperlihatkan pada saat temperatur panel rendah maka nilai tegangan rangkaian terbuka (Voc) yang diperoleh besar. Begitu pula sebaliknya bila temperatur panel surya tinggi maka nilai tegangan rangkaian terbuka (Voc) dari panel surya jenis *polycrystalline* akan menjadi kecil, sehingga dapat diasumsikan bahwa hubungan antara temperatur dengan tegangan rangkaian terbuka (Voc) yaitu berbanding terbalik. Kenaikan temperatur pada permukaan panel surya dapat menurunkan besar daya listrik yang dihasilkan serta juga dipengaruhi oleh bahan silikon panel surya yang mampu menyerap energi foton sekaligus panas dari iradiasi matahari. Temperatur yang tinggi akan linear dengan energi yang di kandung oleh

foton, semakin tinggi temperatur dan intensitas sinar matahari yang diterima oleh panel surya maka energi partikel foton semakin besar, hanya foton dengan tingkat energi tertentu yang dapat memutuskan ikatan valensi pada bahan semikonduktor, Untuk membebaskan elektron dari ikatan kovalennya, energi foton ( $hc/v$ ) harus sedikit lebih besar atau diatas dari energi band-gap. Jika energi foton terlalu besar dari pada energi band-gap, maka kelebihan energi tersebut akan dirubah dalam bentuk panas pada panel surya. sehingga dengan itu menyebabkan parameter tegangan rangkaian terbuka ( $V_{oc}$ ) pada panel surya yang memiliki temperatur tinggi mengalami penurunan.

Tegangan rangkaian terbuka ( $V_{oc}$ ) pada panel surya dengan lama waktu penyemprotan sistem pendingin *water spray* lebih tinggi dibandingkan panel surya tanpa variasi lama waktu penyemprotan sistem pendingin *water spray*. Dalam hal ini dapat dikatakan bahwa dengan menjaga suhu pada panel surya dapat meningkatkan nilai dari tegangan rangkaian terbuka ( $V_{oc}$ ) tersebut.

#### **4.2 Pengaruh Lama Waktu Penyemprotan Sistem Pendingin *Water Spray* Terhadap Arus Hubungan Singkat ( $I_{sc}$ )**

Dari penelitian yang telah dilakukan, diketahui bahwa adanya pengaruh lama waktu penyemprotan sistem pendingin *water spray* terhadap arus hubung singkat ( $I_{sc}$ ). Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai  $I_{sc}$  tertinggi yang dihasilkan oleh panel surya yaitu pada pengujian hari ke- 3 yang mana lama waktu penyemprotan 30 menit dengan nilai  $I_{sc} = 42$  A, dan nilai  $I_{sc}$  terendah yang dihasilkan panel surya yaitu pada pengujian hari ke- 5 yang mana lama waktu penyemprotan 40 menit dengan nilai  $I_{sc} = 34$  A. Hasil tersebut dapat dilihat pada table 4.2 dibawah ini.

Tabel 4. 2 Pengaruh Lama Waktu Penyemprotan Sistem Pendingin Terhadap Isc

Hari	Variasi Pengujian	Isc	Iradiasi
1	0 menit	0,39	796,6
	10 menit	0,39	796,6
2	10 menit	0,4	835,7
	20 menit	0,41	835,7
3	20 menit	0,40	864,5
	30 menit	0,42	864,5
4	30 menit	0,35	764,5
	40 menit	0,37	764,5
5	40 menit	0,34	722,8
	50 menit	0,35	722,8
6	50 menit	0,37	734,3
	0 menit	0,35	734,3

Pada tabel 4.2, dari parameter kinerja panel surya yaitu arus hubung singkat (Isc) yang dihasilkan panel surya mengalami perubahan yang sangat baik dengan ditambahkan sistem pendingin *water spray* pada panel surya. Dapat dilihat bahwa arus hubung singkat (Isc) yang dihasilkan dari variasi lama waktu penyemprotan sistem *water spray* memiliki nilai yang berbeda-beda, terlihat semakin tinggi iradiasi matahari maka semakin tinggi pula nilai Isc yang dihasilkan. Dapat dilihat pada pengujian hari ke-1 yang mana rata-rata iradiasi matahari yaitu 796,6 W/m<sup>2</sup>, arus hubung singkat (Isc) dari pengujian panel surya tanpa sistem pendingin yaitu sebesar 0,39 A, sedangkan pada pengujian penambahan sistem pendingin *water spray* dengan lama waktu penyemprotan 10 menit dengan arus hubung singkat yaitu sebesar 0,39 A.

Pada pengujian hari ke-2 yang mana ada kenaikan rata-rata iradiasi matahari yaitu 835,7 W/m<sup>2</sup>, sehingga arus hubung singkat (Isc) dari pengujian penambahan sistem pendingin *water spray* dengan lama waktu penyemprotan 10 menit sebesar 0,4

A, sedangkan pada pengujian penambahan sistem pendingin *water spray* dengan lama waktu penyemprotan 20 menit didapatkan adanya kenaikan arus hubung singkat yaitu 0,41 A.

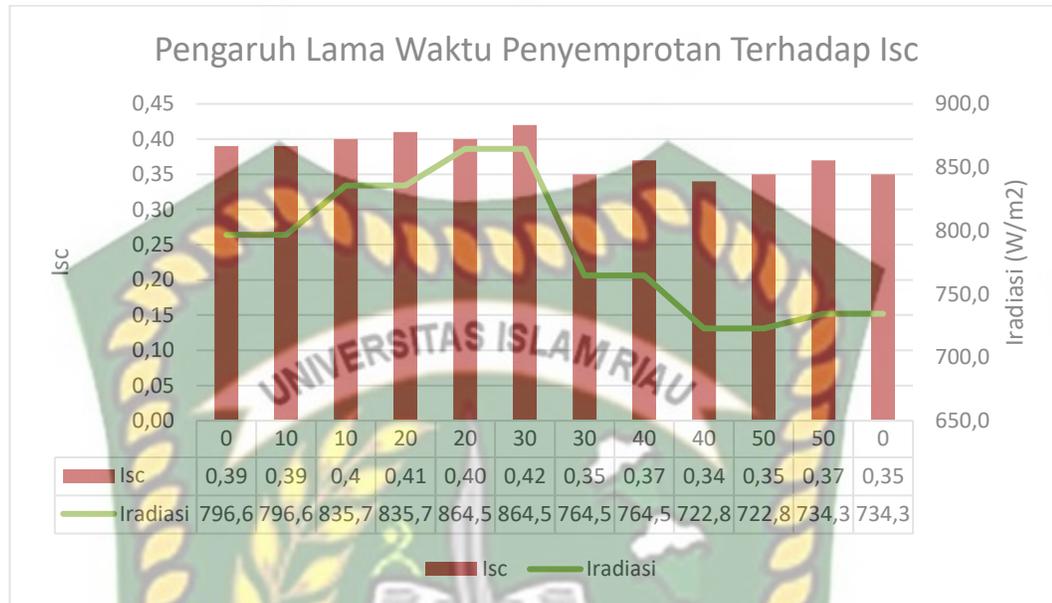
Pada pengujian hari ke-3 adanya mengalami kenaikan rata-rata iradiasi matahari yaitu sebesar 864,5 W/m<sup>2</sup>, arus hubung singkat (Isc) pada pengujian penambahan sistem pendingin *water spray* dengan lama waktu penyemprotan 20 menit didapatkan sebesar 0,4 A, sedangkan pada pengujian penambahan sistem pendingin *water spray* dengan lama waktu penyemprotan 30 menit mengalami adanya kenaikan yaitu sebesar 0,42 A.

Pada pengujian hari ke-4 mengalami penurunan rata-rata iradiasi matahari yaitu sebesar 764,5 W/m<sup>2</sup>, maka arus hubung singkat (Isc) dari pengujian penambahan sistem pendingin *water spray* dengan lama waktu penyemprotan 30 menit yaitu sebesar 0,35 A, sedangkan pada pengujian penambahan sistem pendingin *water spray* dengan lama waktu penyemprotan 40 menit didapatkan kesamaan arus hubung singkat (Isc) yaitu sebesar 0,37 A.

Pada pengujian hari ke-5 rata-rata iradiasi matahari mengalami penurunan dari pengujian hari ke-4 yang mana didapatkan sebesar 722,8 W/m<sup>2</sup>, maka didapatkan arus hubung singkat (Isc) pada pengujian penambahan sistem pendingin *water spray* dengan lama waktu penyemprotan 40 menit yaitu sebesar 0,34 A, sedangkan dari pengujian penambahan sistem pendingin *water spray* dengan lama waktu penyemprotan 50 menit didapatkan arus hubung singkat (Isc) yaitu sebesar 0,35 A.

Lalu pada pengujian terakhir yang mana pada hari ke-6 mengalami adanya kenaikan rata-rata iradiasi matahari yaitu sebesar 734,3 W/m<sup>2</sup>, maka arus hubung singkat (Isc) dari pengujian penambahan sistem pendingin *water spray* dengan lama waktu penyemprotan 50 menit sebesar 0,37 A, sedangkan pada pengujian tanpa penambahan sistem pendingin *water spray* didapatkan arus hubung singkat (Isc) yaitu sebesar 0,35 A.

Kenaikan nilai Isc dapat dilihat dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada gambar 4.2 dibawah ini :



Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Lama Waktu Penyemprotan Terhadap Isc

Dari Gambar 4.2 diatas menunjukkan nilai arus hubung singkat (Isc) yang dihasilkan masing-masing lama waktu penyemprotan sistem *water spray* sebagai media pendingin panel surya memiliki nilai yang berbeda-beda, terlihat bahwa variasi lama waktu penyemprotan sistem pendingin *water spray* pada panel surya menunjukkan hasil yang tidak terlalu signifikan terhadap nilai Isc. Semakin lama waktu penyemprotan sistem pendingin *water spray* dan tingginya intensitas matahari maka semakin besar arus hubung singkat (Isc) yang dihasilkan. Hal tersebut terjadi karena nilai parameter Isc meningkat dengan tingginya intensitas matahari pada saat pengujian. Dalam hal ini semakin lama waktu penyemprotan sistem pendingin *water spray* pada intensitas matahari yang sama, kenaikan nilai arus hubung singkat (Isc) tidak begitu signifikan. Hal itu disebabkan karena nilai Isc cenderung berbanding lurus dengan intensitas matahari, apabila jumlah energi matahari yang diperoleh panel surya berkurang atau intensitas matahari melemah, maka besar arus listrik yang dihasilkan juga akan menurun, sebaliknya jika intensitas matahari semakin tinggi maka arus

listrik yang dihasilkan semakin besar. Terlihat bahwa temperatur permukaan panel surya tinggi tidak berpengaruh terhadap penurunan parameter  $I_{sc}$ , melainkan temperatur linear dengan parameter  $I_{sc}$ , tetapi  $I_{sc}$  berbanding terbalik dengan  $V_{oc}$ .

Pendinginan panel surya yang dilakukan berfungsi untuk meningkatkan nilai tegangan rangkaian terbuka ( $V_{oc}$ ) pada panel surya, dan ini berpengaruh juga pada kenaikan parameter arus hubung singkat ( $I_{sc}$ ). Peningkatan intensitas cahaya matahari akan meningkatkan arus hubung singkat ( $I_{sc}$ ), dan berpengaruh pada peningkatan MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) pada kurva arus-tegangan, peningkatan MPPT akan meningkatkan seluruh kinerja pada panel surya. Peningkatan MPPT yang di kombinasikan dengan sistem pendinginan, menyebabkan kedua parameter tegangan rangkaian terbuka ( $V_{oc}$ ) dan Arus hubung singkat ( $I_{sc}$ ) pada kinerja panel surya menjadi meningkat.

#### **4.3 Pengaruh Lama Waktu Penyemprotan Sistem Pendingin Water Spray Terhadap Daya Maksimal ( $P_{max}$ )**

Dari penelitian yang telah dilakukan, data yang didapat telah diolah sehingga diketahui bahwa adanya pengaruh lama waktu penyemprotan sistem pendingin *water spray* terhadap daya maksimal ( $P_{max}$ ). Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai  $P_{max}$  tertinggi yang dihasilkan oleh panel surya yaitu pada pengujian hari ke- 3 yang mana lama waktu penyemprotan 30 menit dengan nilai  $P_{max} = 5,49$  Watt, dan nilai  $P_{max}$  terendah yang dihasilkan panel surya yaitu pada pengujian hari ke- 6 yang mana tanpa tambahan peralatan sistem pendingin dengan nilai  $P_{max} = 3,69$  Watt. Hasil tersebut dapat dilihat pada table 4.3 dibawah ini.

**Tabel 4. 3 Pengaruh Lama Waktu Penyemprotan Sistem Pendingin Terhadap Pmax**

Hari	Variasi Pengujian	Pmax	Iradiasi
1	0 menit	4,33	796,6
	10 menit	4,86	796,6
2	10 menit	5,02	835,7
	20 menit	5,22	835,7
3	20 menit	5,15	864,5
	30 menit	5,49	864,5
4	30 menit	4,44	764,5
	40 menit	4,52	764,5
5	40 menit	4,36	722,8
	50 menit	4,49	722,8
6	50 menit	4,51	734,3
	0 menit	3,69	734,3

Pada tabel 4.3, dari parameter kinerja panel surya daya maksimal (Pmax) yang dihasilkan panel surya mengalami perubahan yang sangat baik dengan ditambahkan sistem pendingin *water spray* pada panel surya. Dapat dilihat bahwa daya maksimal (Pmax) yang dihasilkan dari variasi lama waktu penyemprotan memiliki nilai yang berbeda-beda, terlihat pada pengujian hari ke-1 yang mana rata-rata iradiasi matahari yaitu 796,6 W/m<sup>2</sup>, daya maksimal (Pmax) dari pengujian panel surya tanpa sistem pendingin yaitu sebesar 4,33 Watt, sedangkan pada pengujian penambahan sistem pendingin *water spray* dengan lama waktu penyemprotan 10 menit didapatkan kenaikan daya maksimal (Pmax) yaitu sebesar 4,86 Watt.

Pada pengujian hari ke-2 yang mana ada kenaikan rata-rata iradiasi matahari yaitu 835,7 W/m<sup>2</sup>, sehingga daya maksimal (Pmax) dari pengujian penambahan sistem pendingin *water spray* dengan lama waktu penyemprotan 10 menit sebesar 5,02 Watt, sedangkan pada pengujian penambahan sistem pendingin *water spray* dengan lama

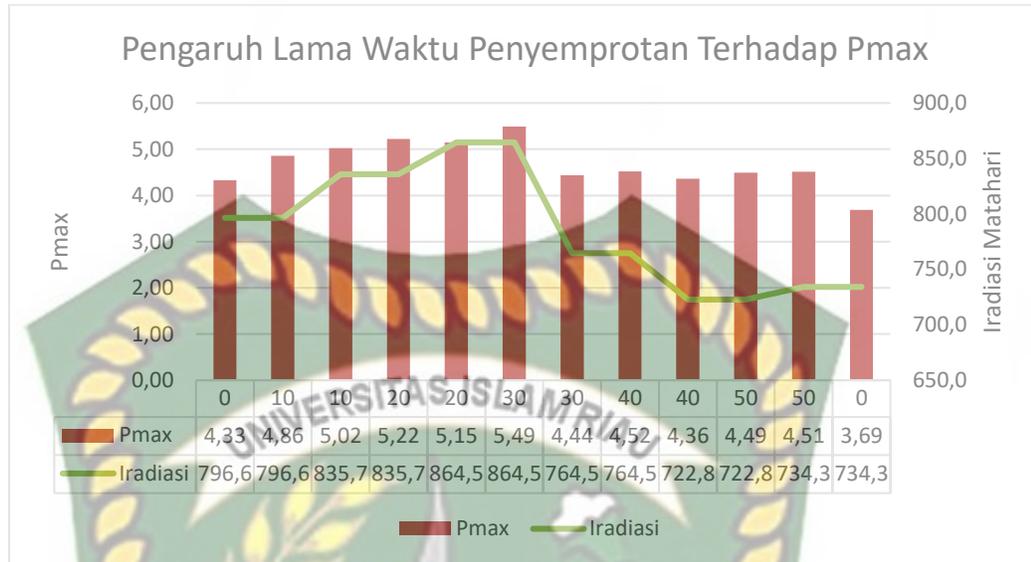
waktu penyemprotan 20 menit didapatkan adanya penurunan daya maksimal ( $P_{max}$ ) yaitu 5,22 Watt.

Pada pengujian hari ke-3 adanya mengalami kenaikan rata-rata iradiasi matahari yaitu sebesar 864,5  $W/m^2$ , maka daya maksimal ( $P_{max}$ ) pada penambahan sistem pendingin *water spray* dengan lama waktu penyemprotan 20 menit didapatkan sebesar 5,09 Watt, sedangkan pada pengujian penambahan sistem pendingin *water spray* dengan lama waktu penyemprotan 30 menit mengalami adanya kenaikan yaitu sebesar 5,49 Watt.

Pada pengujian hari ke-4 mengalami penurunan rata-rata iradiasi matahari yaitu sebesar 764,5  $W/m^2$ , maka daya maksimal ( $P_{max}$ ) dari pengujian penambahan sistem pendingin *water spray* dengan lama waktu penyemprotan 30 menit yaitu sebesar 4,44 Watt, sedangkan pada pengujian penambahan sistem pendingin *water spray* dengan lama waktu penyemprotan 40 menit mengalami kenaikan daya maksimal ( $P_{max}$ ) yaitu sebesar 4,52 Watt.

Pada pengujian hari ke-5 rata-rata iradiasi matahari mengalami penurunan dari pengujian hari ke-4 yang mana didapatkan sebesar 722,8  $W/m^2$ , maka didapatkan daya maksimal ( $P_{max}$ ) pada pengujian penambahan sistem pendingin *water spray* dengan lama waktu penyemprotan 40 menit yaitu sebesar 4,36 Watt, sedangkan dari pengujian penambahan sistem pendingin *water spray* dengan lama waktu penyemprotan 50 menit didapatkan daya maksimal ( $P_{max}$ ) yaitu sebesar 4,49 Watt.

Lalu pada pengujian terakhir yang mana pada hari ke-6 mengalami adanya kenaikan rata-rata iradiasi matahari yaitu sebesar 734,3  $W/m^2$ , maka daya maksimal ( $P_{max}$ ) dari pengujian penambahan sistem pendingin *water spray* dengan lama waktu penyemprotan 50 menit sebesar 4,51 Watt, sedangkan pada pengujian tanpa penambahan sistem pendingin *water spray* didapatkan daya maksimal ( $P_{max}$ ) yaitu sebesar 3,69 Watt.



Gambar 4.3 Grafik Pengaruh Lama Waktu Penyemprotan Terhadap daya maksimal (Pmax)

Dari gambar 4.3 diatas dapat dilihat bahwa daya maksimal (Pmax) yang dihasilkan dari variasi lama waktu penyemprotan memiliki nilai yang berbeda-beda, semakin lama waktu penyemprotan sistem *water spray* dan tingginya intensitas matahari maka semakin besar pula daya maksimum (Pmax) yang dihasilkan. Daya maksimum (Pmax) merupakan perkalian antara tegangan dan arus listrik Dc dengan beban lampu LED 5 watt.

Hal tersebut terjadi ketika intensitas matahari meningkat maka akan meningkatnya nilai arus dan tegangan yang dihasilkan, saat intensitas matahari berada dititik tertinggi akan mengakibatkan temperatur permukaan panel surya akan meningkat, yang akan berefek pada tegangan, karena temperatur berbanding terbalik dengan tegangan, pada saat temperatur mengalami kenaikan secara signifikan maka akan mengakibatkan nilai dari tegangan akan menurun yang akan membuat nilai dari daya maksimum akan ikut menurun pula. Penurunan dan kenaikan temperatur tidak terlalu berefek kepada arus yang dihasilkan, karena temperatur linear terhadap arus dan intensitas matahari. Pendinginan yang dilakukan berfungsi untuk menurunkan

temperatur pada permukaan panel surya, sehingga meningkatkan nilai tegangan pada panel surya, dan ini berefek pada kenaikan arus dan daya maksimum.

#### 4.4 Pengaruh Lama Waktu Penyemprotan Sistem Pendingin Water Spray Terhadap Fill Factor (FF)

Dari penelitian yang telah dilakukan, telah diketahui bahwa adanya pengaruh lama waktu penyemprotan sistem pendingin *water spray* terhadap *fill factor* (FF). Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai FF tertinggi yang dihasilkan oleh panel surya yaitu pada pengujian hari ke- 3 dengan lama waktu penyemprotan 30 menit dengan nilai FF = 0,66, dan nilai FF terendah yang dihasilkan panel surya yaitu di pengujian hari ke- 6 pada tanpa alat pendingin dengan nilai FF = 0,58. Hasil tersebut dapat dilihat pada tabel 4.4 dibawah ini.

**Tabel 4. 4 Pengaruh Lama Waktu Penyemprotan Sistem Pendingin Terhadap FF**

Hari	Variasi Pengujian	FF	Iradiasi
1	0 menit	0,63	796,6
	10 menit	0,64	796,6
2	10 menit	0,64	835,7
	20 menit	0,65	835,7
3	20 menit	0,64	864,5
	30 menit	0,66	864,5
4	30 menit	0,65	764,5
	40 menit	0,65	764,5
5	40 menit	0,63	722,8
	50 menit	0,64	722,8
6	50 menit	0,64	734,3
	0 menit	0,58	734,3

Dari tabel 4.4 diatas dapat dilihat bahwa *fill factor* (FF) yang dihasilkan dari variasi lama waktu penyemprotan memiliki nilai yang berbeda-beda, terlihat *fill factor* (FF) yang dihasilkan tiap masing-masing pada variasi lama waktu penyemprotan sistem *water spray* telah mampu bekerja dengan baik dan optimal secara keseluruhan. Dapat dilihat pada pengujian hari ke-1 yang mana rata-rata iradiasi matahari yaitu  $796,6 \text{ W/m}^2$ , *fill factor* (FF) dari pengujian panel surya tanpa sistem pendingin yaitu  $FF = 0,63$ , sedangkan pada pengujian penambahan sistem pendingin *water spray* dengan lama waktu penyemprotan 10 menit didapatkan kenaikan *fill factor* (FF) yaitu sebesar 0,64.

Pada pengujian hari ke-2 yang mana ada kenaikan rata-rata iradiasi matahari yaitu  $835,7 \text{ W/m}^2$ , sehingga *fill factor* (FF) dari pengujian penambahan sistem pendingin *water spray* dengan lama waktu penyemprotan 10 menit sebesar  $FF = 0,64$ , sedangkan pada pengujian penambahan sistem pendingin *water spray* dengan lama waktu penyemprotan 20 menit didapatkan adanya kenaikan *fill factor* (FF) yaitu  $FF = 0,65$ .

Pada pengujian hari ke-3 adanya mengalami kenaikan rata-rata iradiasi matahari yaitu sebesar  $864,5 \text{ W/m}^2$ , maka *fill factor* (FF) pada penambahan sistem pendingin *water spray* dengan lama waktu penyemprotan 20 menit didapatkan sebesar  $FF = 0,64$ , sedangkan pada pengujian penambahan sistem pendingin *water spray* dengan lama waktu penyemprotan 30 menit mengalami adanya kenaikan yaitu sebesar  $FF = 0,66$ .

Pada pengujian hari ke-4 mengalami penurunan rata-rata iradiasi matahari yaitu sebesar  $764,5 \text{ W/m}^2$ , maka *fill factor* (FF) dari pengujian penambahan sistem pendingin *water spray* dengan lama waktu penyemprotan 30 menit yaitu sebesar  $FF = 0,65$ , sedangkan pada pengujian penambahan sistem pendingin *water spray* dengan lama waktu penyemprotan 40 menit mengalami kenaikan *fill factor* (FF) yaitu sebesar  $FF = 0,65$ .

Pada pengujian hari ke-5 rata-rata iradiasi matahari mengalami penurunan dari pengujian hari ke-4 yang mana didapatkan sebesar  $722,8 \text{ W/m}^2$ , maka didapatkan *fill factor* (FF) pada pengujian penambahan sistem pendingin *water spray* dengan lama

waktu penyemprotan 40 menit yaitu sebesar  $FF = 0,63$ , sedangkan dari pengujian penambahan sistem pendingin *water spray* dengan lama waktu penyemprotan 50 menit didapatkan *fill factor* (FF) yaitu sebesar  $FF = 0,64$ .

Lalu pada pengujian terakhir yang mana pada hari ke-6 mengalami adanya kenaikan rata-rata iradiasi matahari yaitu sebesar  $734,3 \text{ W/m}^2$ , maka *fill factor* (FF) dari pengujian penambahan sistem pendingin *water spray* dengan lama waktu penyemprotan 50 menit sebesar  $FF = 0,64$ , sedangkan pada pengujian tanpa penambahan sistem pendingin *water spray* didapatkan *fill factor* (FF) yaitu sebesar  $FF = 0,58$ .

Kenaikan nilai FF dapat dilihat dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada gambar 4.4 dibawah ini :



Gambar 4.4 Grafik Pengaruh Lama Waktu Penyemprotan Terhadap *fill factor*

Dari gambar 4.4 diatas menunjukkan bahwa *fill factor* (FF) yang dihasilkan tiap masing-masing variasi lama waktu penyemprotan sistem *water spray* telah mampu bekerja dengan baik dan optimal secara keseluruhan. Intensitas matahari sangat

berpengaruh pada nilai parameter *fill factor* semakin tinggi intensitas matahari pada panel surya dengan menggunakan variasi lama waktu penyemprotan sistem *water spray* menunjukkan hasil yang sangat signifikan terhadap FF, kecuali pada panel surya yang tanpa diberi sistem pendingin *water spray*.

Hal tersebut terjadi karena variasi lama waktu penyemprotan sistem *water spray* bekerja dengan cara menurunkan temperatur permukaan panel surya. Peningkatan terhadap nilai parameter *fill factor* menggunakan variasi lama waktu penyemprotan sistem *water spray* disebabkan keefektifan dalam meningkatkan kinerja pada panel surya, karena *fill factor* sangat berpengaruh terhadap tegangan dan arus yang dihasilkan, yang dimana disaat intensitas matahari berada pada titik tertinggi akan membuat arus meningkat tetapi akan membuat temperatur pada panel surya akan meningkat juga yang mengakibatkan tegangan akan berkurang. Dengan adanya variasi lama waktu penyemprotan sistem *water spray* dapat menurunkan temperatur pada permukaan panel surya, maka tegangan dan arus yang dihasilkan akan meningkat, tidak akan mengalami penurunan demi penurunan yang akan membuat nilai grade untuk menentukan rentang FF pada panel surya menjadi berkurang.

#### **4.5 Pengaruh Lama Waktu Penyemprotan Sistem Pendingin Water Spray Terhadap Daya Keluaran (P(out))**

Dari penelitian yang telah dilakukan, telah diketahui bahwa adanya pengaruh lama waktu penyemprotan sistem pendingin *water spray* terhadap daya keluaran (Pout). Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai Pout tertinggi yang dihasilkan oleh panel surya yaitu pada pengujian hari ke- 3 dengan lama waktu penyemprotan 30 menit dengan nilai  $P(\text{out}) = 5,49 \text{ W}$ , dan nilai Pout terendah yang dihasilkan panel surya yaitu di pengujian hari ke- 6 pada tanpa alat pendingin dengan nilai  $P(\text{out}) = 3,69 \text{ W}$ . Hasil tersebut dapat dilihat pada table 4.5 dibawah ini.

**Tabel 4. 5 Pengaruh lama waktu penyemprotan sistem pendingin terhadap daya keluaran (P(out))**

Hari	Variasi Pengujian	Pout	Iradiasi
1	0 menit	4,33	796,6
	10 menit	4,87	796,6
2	10 menit	5,01	835,7
	20 menit	5,21	835,7
3	20 menit	5,14	864,5
	30 menit	5,49	864,5
4	30 menit	4,44	764,5
	40 menit	4,52	764,50
5	40 menit	4,35	722,8
	50 menit	4,50	722,8
6	50 menit	4,52	734,3
	0 menit	3,69	734,3

Pada tabel 4.5, diatas dapat dilihat bahwa daya keluaran (P(out)) yang dihasilkan dari variasi lama waktu penyemprotan memiliki nilai yang berbeda-beda, terlihat nilai daya keluaran (Pout) tertinggi yang dihasilkan berada pada iradiasi matahari tertinggi. Dapat dilihat pada pengujian hari ke-1 yang mana rata-rata iradiasi matahari yaitu 796,6 W/m<sup>2</sup>, daya keluaran (P(out)) dari pengujian panel surya tanpa sistem pendingin yaitu Pout = 4,33 W, sedangkan pada pengujian penambahan sistem pendingin *water spray* dengan lama waktu penyemprotan 10 menit didapatkan kenaikan daya keluaran (P(out)) yaitu sebesar 4,87 W.

Pada pengujian hari ke-2 yang mana ada kenaikan rata-rata iradiasi matahari yaitu 835,7 W/m<sup>2</sup>, sehingga daya keluaran (P(out)) dari pengujian penambahan sistem pendingin *water spray* dengan lama waktu penyemprotan 10 menit sebesar P(out) = 5,01 W, sedangkan pada pengujian penambahan sistem pendingin *water spray* dengan

lama waktu penyemprotan 20 menit didapatkan adanya kenaikan daya keluaran (P(out)) yaitu  $P(\text{out}) = 5,21 \text{ W}$ .

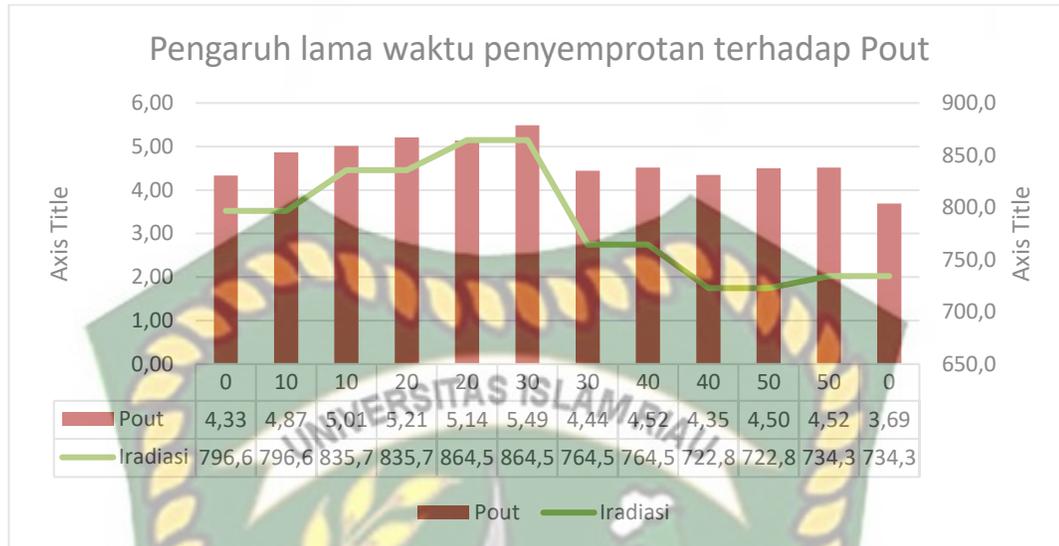
Pada pengujian hari ke-3 adanya mengalami kenaikan rata-rata iradiasi matahari yaitu sebesar  $864,5 \text{ W/m}^2$ , maka daya keluaran (P(out)) pada penambahan sistem pendingin *water spray* dengan lama waktu penyemprotan 20 menit didapatkan sebesar  $P(\text{out}) = 5,14 \text{ W}$ , sedangkan pada pengujian penambahan sistem pendingin *water spray* dengan lama waktu penyemprotan 30 menit mengalami adanya kenaikan yaitu sebesar  $P(\text{out}) = 5,49 \text{ W}$ .

Pada pengujian hari ke-4 mengalami penurunan rata-rata iradiasi matahari yaitu sebesar  $764,5 \text{ W/m}^2$ , maka daya keluaran (P(out)) dari pengujian penambahan sistem pendingin *water spray* dengan lama waktu penyemprotan 30 menit yaitu sebesar  $P(\text{out}) = 4,44 \text{ W}$ , sedangkan pada pengujian penambahan sistem pendingin *water spray* dengan lama waktu penyemprotan 40 menit mengalami kenaikan daya keluaran (Pout) yaitu sebesar  $P_{\text{out}} = 4,52 \text{ W}$ .

Pada pengujian hari ke-5 rata-rata iradiasi matahari mengalami penurunan dari pengujian hari ke-4 yang mana didapatkan sebesar  $722,8 \text{ W/m}^2$ , maka didapatkan daya keluaran (P(out)) pada pengujian penambahan sistem pendingin *water spray* dengan lama waktu penyemprotan 40 menit yaitu sebesar  $P(\text{out}) = 4,35 \text{ W}$ , sedangkan dari pengujian penambahan sistem pendingin *water spray* dengan lama waktu penyemprotan 50 menit didapatkan daya keluaran (P(out)) yaitu sebesar  $P_{\text{out}} = 4,50 \text{ W}$ .

Lalu pada pengujian terakhir yang mana pada hari ke-6 mengalami adanya kenaikan rata-rata iradiasi matahari yaitu sebesar  $734,3 \text{ W/m}^2$ , maka daya keluaran (Pout) dari pengujian penambahan sistem pendingin *water spray* dengan lama waktu penyemprotan 50 menit sebesar  $P(\text{out}) = 4,52 \text{ W}$ , sedangkan pada pengujian tanpa penambahan sistem pendingin *water spray* didapatkan daya keluaran (Pout) yaitu sebesar  $P(\text{out}) = 3,69 \text{ W}$ .

Kenaikan nilai Pout dapat dilihat dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada gambar 4.5 dibawah ini :



Gambar 4.5 Grafik Pengaruh lama waktu penyemprotan Terhadap P(out)

Dari gambar 4.5 diatas dapat diketahui bahwa semakin lama waktu penyemprotan sistem *water spray* maka semakin besar daya keluaran yang dihasilkan. Terlihat bahwa ada hubungan antara kenaikan temperatur terhadap daya keluaran, yaitu daya keluaran (P(out)) berbanding terbalik terhadap temperatur karena apabila temperatur permukaan panel surya semakin tinggi maka daya keluaran (P(out)) dari panel surya semakin kecil, begitupun sebaliknya semakin rendah temperatur permukaan panel surya maka semakin besar pula nilai daya keluaran (Pout), hal itu karena daya keluaran (Pout) itu sendiri hasil dari perkalian tegangan rangkaian terbuka (Voc) dengan arus hubung singkat (Isc) dan *Fill Factor* (FF). Dimana parameter daya keluaran (P(out)) ini adalah nilai hasil dari beban lampu LED 5 Volt, kedua parameter ini cenderung linier terhadap peningkatan dan penurunan intensitas matahari dan berbanding terbalik pada kenaikan temperatur. Hal tersebut terjadi karena seiring dengan kenaikan intensitas cahaya matahari maka arus akan mengalami peningkatan secara signifikan. Arus (Isc) cenderung berbanding lurus dengan intensitas matahari, apabila jumlah energi foton yang diperoleh panel surya sedikit atau intensitas nya melemah, maka besar arus listrik yang dihasilkan juga akan menurun, sebaliknya jika

intensitas nya semakin tinggi maka arus yang dihasilkan semakin besar dan akan berefek pada kenaikan daya keluaran ( $P(out)$ ). Terlihat bahwa temperatur permukaan yang tinggi tidak berpengaruh terhadap penurunan parameter  $I_{sc}$ , melainkan temperatur linear dengan parameter  $I_{sc}$ , tetapi berbanding terbalik terhadap tegangan ( $V_{oc}$ ), karena semakin tinggi temperatur yang dihasilkan panel surya akan mengakibatkan nilai dari tegangan itu akan berkurang dan mengakibatkan nilai arus dan daya keluaran ( $P_{out}$ ) akan menjadi lemah. Pendinginan yang dilakukan berfungsi untuk meningkatkan tegangan rangkaian terbuka ( $V_{oc}$ ) pada panel surya, sehingga dengan adanya variasi lama waktu penyemprotan sistem *water spray* akan menjaga temperatur panel surya tetap stabil sehingga membuat nilai dari tegangan akan meningkat secara signifikan, sehingga meningkatkan kinerja dari daya keluaran ( $P(out)$ ). Nilai dari daya keluaran ( $P(out)$ ) sama dengan nilai daya maksimum ( $P_{max}$ ) mengindikasikan bahwa panel surya dengan variasi kecepatan aliran telah berfungsi dengan baik tanpa adanya rugi-rugi daya pada saat listrik DC yang dibangkitkan menuju lampu LED

#### **4.6 Pengaruh Lama Waktu Penyemprotan Sistem Pendingin Water Spray Terhadap Efisiensi ( $\eta$ )**

Dari penelitian yang telah dilakukan, telah diketahui bahwa adanya pengaruh lama waktu penyemprotan sistem pendingin water spray terhadap efisiensi ( $\eta$ ). Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai ( $\eta$ ) tertinggi yang dihasilkan oleh panel surya yaitu pada pengujian hari ke- 3 dengan lama waktu penyemprotan 30 menit dengan nilai  $\eta = 6,57\%$ , dan nilai  $\eta$  terendah yang dihasilkan panel surya yaitu di pengujian hari ke- 6 pada tanpa alat pendingin dengan nilai  $\eta = 5,35\%$ . Hasil tersebut dapat dilihat pada table 4.6 dibawah ini.

**Tabel 4. 6 Tabel 4.6 Pengaruh Lama Waktu Penyemprotan Sistem Pendingin Terhadap Efisiensi ( $\eta$ )**

Hari	Variasi Pengujian	Efisiensi	Iradiasi
1	0 menit	5,67%	796,6
	10 menit	6,32%	796,6
2	10 menit	6,24%	835,7
	20 menit	6,48%	835,7
3	20 menit	6,14%	864,5
	30 menit	6,57%	864,5
4	30 menit	5,99%	764,5
	40 menit	6,08%	764,51
5	40 menit	5,88%	722,8
	50 menit	6,04%	722,8
6	50 menit	6,11%	734,3
	0 menit	4,96%	734,3

Pada tabel 4.5, diatas dapat dilihat bahwa Efisiensi ( $\eta$ ) yang dihasilkan dari variasi lama waktu penyemprotan memiliki nilai yang berbeda-beda, terlihat nilai Efisiensi ( $\eta$ ) tertinggi yang dihasilkan berada pada iradiasi matahari tertinggi. Dapat dilihat pada pengujian hari ke-1 yang mana rata-rata iradiasi matahari yaitu 796,6 W/m<sup>2</sup>, Efisiensi ( $\eta$ ) dari pengujian panel surya tanpa sistem pendingin yaitu ( $\eta$ ) = 5,67%, sedangkan pada pengujian penambahan sistem pendingin water spray dengan lama waktu penyemprotan 10 menit didapatkan kenaikan Efisiensi ( $\eta$ ) yaitu sebesar 6,32%.

Pada pengujian hari ke-2 yang mana ada kenaikan rata-rata iradiasi matahari yaitu 835,7 W/m<sup>2</sup>, sehingga Efisiensi ( $\eta$ ) dari pengujian penambahan sistem pendingin water spray dengan lama waktu penyemprotan 10 menit sebesar ( $\eta$ ) = 6,24%, sedangkan pada pengujian penambahan sistem pendingin water spray dengan lama

waktu penyemprotan 20 menit didapatkan adanya kenaikan Efisiensi ( $\eta$ ) yaitu ( $\eta$ ) = 6,48%.

Pada pengujian hari ke-3 adanya mengalami kenaikan rata-rata iradiasi matahari yaitu sebesar 864,5 W/m<sup>2</sup>, maka Efisiensi ( $\eta$ ) pada penambahan sistem pendingin water spray dengan lama waktu penyemprotan 20 menit didapatkan sebesar ( $\eta$ ) = 6,14%, sedangkan pada pengujian penambahan sistem pendingin water spray dengan lama waktu penyemprotan 30 menit mengalami adanya kenaikan yaitu sebesar ( $\eta$ ) = 6,57%.

Pada pengujian hari ke-4 mengalami penurunan rata-rata iradiasi matahari yaitu sebesar 764,5 W/m<sup>2</sup>, maka Efisiensi ( $\eta$ ) dari pengujian penambahan sistem pendingin water spray dengan lama waktu penyemprotan 30 menit yaitu sebesar ( $\eta$ ) = 5,99%, sedangkan pada pengujian penambahan sistem pendingin water spray dengan lama waktu penyemprotan 40 menit mengalami kenaikan Efisiensi ( $\eta$ ) yaitu sebesar ( $\eta$ ) = 6,08%.

Pada pengujian hari ke-5 rata-rata iradiasi matahari mengalami penurunan dari pengujian hari ke-4 yang mana didapatkan sebesar 722,8 W/m<sup>2</sup>, maka didapatkan Efisiensi ( $\eta$ ) pada pengujian penambahan sistem pendingin water spray dengan lama waktu penyemprotan 40 menit yaitu sebesar ( $\eta$ ) = 5,88%, sedangkan dari pengujian penambahan sistem pendingin water spray dengan lama waktu penyemprotan 50 menit didapatkan Efisiensi ( $\eta$ ) yaitu sebesar ( $\eta$ ) = 6,08%.

Lalu pada pengujian terakhir yang mana pada hari ke-6 mengalami adanya kenaikan rata-rata iradiasi matahari yaitu sebesar 734,3 W/m<sup>2</sup>, maka Efisiensi ( $\eta$ ) dari pengujian penambahan sistem pendingin water spray dengan lama waktu penyemprotan 50 menit sebesar ( $\eta$ ) = 5,94%, sedangkan pada pengujian tanpa penambahan sistem pendingin water spray didapatkan Efisiensi ( $\eta$ ) yaitu sebesar ( $\eta$ ) = 5,35%.

dari parameter kinerja panel surya efisiensi ( $\eta$ ) yang dihasilkan panel surya mengalami perubahan yang sangat baik dengan ditambahkannya sistem pendingin water spray pada panel surya. Iradiasi cahaya matahari cukup berpengaruh pada

kenaikan nilai  $\eta$ , yang mana semakin tinggi nilai iradiasi matahari maka semakin tinggi nilai  $\eta$  yang di hasilkan oleh panel surya.

Kenaikan nilai  $\eta$  dapat dilihat dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada gambar 4.6 dibawah ini :



Gambar 4.6 Grafik Pengaruh Lama Waktu Penyemprotan Sistem Pendingin Water Spray Terhadap Efisiensi ( $\eta$ )

Dari gambar 4.6 diatas menunjukkan bahwa nilai efisiensi ( $\eta$ ) yang dihasilkan tiap masing-masing lama waktu penyemprotan sistem pendingin *water spray* memiliki nilai yang berbeda-beda, terlihat bahwa dengan semakin lama waktu penyemprotan sistem pendingin *water spray* pada intensitas matahari yang sama menunjukkan hasil yang signifikan terhadap efisiensi. Hal itu dibuktikan dengan semakin lama waktu penyemprotan sistem pendingin *water spray* di intensitas matahari yang sama, kenaikan nilai efisiensi bisa mencapai 1,2 %. Tetapi nilai efisiensi berbeda pada perbandingan panel surya tanpa pendingin (murni) dan dengan ditambahkan lama waktu penyemprotan sistem pendingin *water spray*, nilai efisiensi yang didapatkan meningkat tinggi mencapai 18,9 %.

Peningkatan dan penurunan nilai efisiensi tersebut disebabkan karena tingginya intensitas sinar matahari yang diterima oleh panel surya, sehingga menyebabkan temperatur permukaan panel surya menjadi meningkat, peningkatan temperatur panel surya sangat berpengaruh kepada nilai parameter yang dihasilkan oleh panel surya khususnya efisiensi.



## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan serangkaian pengujian, perhitungan dan analisis terhadap pengaruh lama waktu penyemprotan sistem pendingin *water spray*, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Lama waktu penyemprotan sistem pendingin *water spray* cukup berpengaruh terhadap kinerja panel surya, dimana semakin lama waktu penyemprotan sistem pendingin *water spray* maka kinerja panel surya yang dihasilkan akan lebih baik, tetapi tidak terlalu signifikan.
2. Kinerja panel surya yang paling baik yaitu pada lama waktu penyemprotan 50 menit, hal itu dikarenakan pada intensitas matahari 722,8 W/m<sup>2</sup> didapatkan nilai efisiensi lebih dari 6%. Sehingga dapat disimpulkan jika rata-rata intensitas matahari yang sama pada semua pengujian, maka lama waktu penyemprotan 50 menitlah kinerja panel surya paling baik.

#### 5.2 Saran

Pengaruh lama waktu penyemprotan sistem pendingin *water spray* terhadap kinerja panel surya ini memiliki kekurangan yaitu pada proses pengujian, dimana peletakan *nozzle* diatas panel surya dapat membuat bayangan dipermukaan panel, sehingga hal ini dapat menyebabkan kinerja panel surya tidak maksimal. Maka dari itu sebaiknya *nozzle* diletakkan pada sudut panel surya agar bayangan *nozzle* tidak menutupi permukaan panel surya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Almanda, D., & Bhaskara, D. (2018). Studi Pemilihan Sistem Pendingin pada Panel Surya Menggunakan Water Cooler, Air Mineral dan Air Laut. *RESISTOR (elektRONika kEndali telekomunikaSI Tenaga liSTrik kOmputeR)*
- Pido, R., Himran, S., & Mahmuddin, M. (2019). Analisa Pengaruh Pendinginan Sel Surya Terhadap Daya Keluaran dan Efisiensi. *Teknik Mesin“ TEKNOLOGI*
- Rusminto Tjatur W, 2003: Solar Cell Sumber Energi masa depan yang ramah lingkungan, Berita Iptek, Jakarta.
- Safitri, N., Lhokseumawe, P. N., Rihayat, T., & Lhokseumawe, P. N. (2019). *NO . ISBN 978-623-91323-0-9* (Issue June 2020).
- Sunarno. (2019). *Sistem Pendingin Pasif untuk Meningkatkan Daya Keluaran Panel Sel Surya*.
- Yusuf, I., Studi, P., Elektro, T., Elektro, J., Teknik, F., & Tanjungpura, U. (2017). Implementasi Water Cooling System Untuk Menurunkan Temperature Losses Pada Panel Surya. *Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura*