

**ANALISA PENGARUH VARIASI KECEPATAN ALIRAN
WATER COOLING SISTEM SEBAGAI MEDIA PENDINGIN
TERHADAP UNJUK KERJA SOLAR CELL**

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 :

AMBAR PRATOMO

16.33.100.64

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

2021

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'alamin, puji dan syukur kehadirat ALLAH SWT atas seluruh rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal tugas sarjana yang berjudul “**Analisa Pengaruh Variasi Kecepatan Aliran Water Cooling Sistem Sebagai Media Pendingin Teradap Unjuk Kerja Solar Cell**”.

Tugas akhir 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 sarjana 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 Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau, atas ilmu dan dorongannya dalam menyelesaikan penulisan ini.
5. Teman-teman Seperjuangan, yang telah memberikan bantuan dan dukungannya.

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

Ambar Pratomo

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR NOTASI	vii
ABSTRAK	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pengertian <i>Solar Cell</i>	5
2.2 Energi Dan Radiasi Matahari.....	5
2.3 Prinsip Kerja <i>Solar Cells</i>	6
2.4 Jenis <i>Solar Cell</i>	9
2.4.1 <i>Monocrystalline Silicon</i>	9
2.4.2 Polycrystalline	10
2.4.3 <i>Thin Film Solar Cell (TFSC)</i>	10
2.5 Sistem Pendinginan <i>Solar Cell</i>	11
2.5.1 <i>Water Cooling System</i>	12
2.5.2 Kecepatan Aliran pada <i>Water Cooling</i>	12
2.6 Unjuk Kerja <i>Solar Cell</i>	14

BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	17
3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian	17
3.2 Digram Alir Penelitian	18
3.3 Alat Dan Bahan	19
3.3.1 Alat	19
3.4 Persiapan Pengujian.....	26
3.5 Prosedur Pengujian	26
3.6 Jadwal kegiatan Penelitian	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	29
4.1 Pengaruh Variasi kecepatan Aliran <i>Water Cooling</i> Terhadap Tegangan Rangkaian Terbuka (Voc).....	29
4.2 Pengaruh Variasi Kecepatan Aliran <i>Water Cooling</i> Terhadap Arus Hubung Singkat (Isc).....	33
4.3 Pengaruh Variasi kecepatan Aliran <i>Water Cooling</i> Terhadap Daya Maksimum (<i>Pmax</i>)	37
4.4 Pengaruh Variasi kecepatan Aliran <i>Water Cooling</i> Terhadap <i>Fill Factor</i> (FF)	40
4.5 Pengaruh Variasi kecepatan Aliran <i>Water Cooling</i> Terhadap Daya keluaran (<i>Pout</i>).....	43
4.6 Pengaruh Variasi kecepatan Aliran <i>Water Cooling</i> Terhadap Efisiensi (η) 47	
BAB V PENUTUP.....	52
5.1 Kesimpulan.....	52
5.2 Saran	52
DAFTAR PUSTAKA.....	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses pengubahan energi matahari menjadi energi listrik	6
Gambar 2.2 Kontruksi susunan Pita di dalam sebuah Semikonduktor	7
Gambar 2.3 Skema <i>Photovoltaic Effect</i>	8
Gambar 2.4 Jenis <i>Solar Cell Monocrystalline Silicon</i>	10
Gambar 2.5 Jenis <i>Solar Cell Polycrystalline</i>	10
Gambar 2.6 Jenis Solar Cell <i>Thin Film Solar Cell</i>	11
Gambar 3. 1 Gedung A Teknik UIR	17
Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian	18
Gambar 3. 3 <i>Solar Cell Polycrystalin 10 WP</i>	19
Gambar 3. 4 Pompa Dc 12 Volt	20
Gambar 3. 5 <i>Pyranometer</i>	21
Gambar 3. 6 PWM	21
Gambar 3. 7 <i>Heatsink</i>	22
Gambar 3. 8 <i>Water Flow</i>	22
Gambar 3. 9 <i>photometer</i>	23
Gambar 3. 10 Drum Air	23
Gambar 3. 11 Selang Air	24
Gambar 3. 12 <i>Flexiglass</i>	24
Gambar 3. 13 kran air	25
Gambar 3. 14 Air	25
Gambar 3. 15 Lem Silikon	26
Gambar 4. 1 Tegangan Rangkain Terbuka Pada Variasi Kecepatan Aliran <i>Water Cooling</i>	32

Gambar 4. 2 Arus Hubung Singkat (Isc) Pada Variasi Kecepatan Aliran <i>Water Cooling</i>	36
Gambar 4. 3 Daya Maksimum (Pmax) Pada Variasi Kecepatan Aliran <i>Water Cooling</i>	39
Gambar 4. 4 Fill Factor Pada Variasi Kecepatan Aliran <i>Water Cooling</i>	42
Gambar 4. 5 Daya Keluaran (Pout) Pada Variasi Kecepatan Aliran <i>Water Cooling</i> .	46
Gambar 4. 6 Efisiensi Pada Variasi Kecepatan Aliran <i>Water Cooling</i>	50



Daftar Tabel

Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian	27
Tabel 4.1 Pengaruh Penambahan Peralatan Pendukung Terhadap Voc.....	29
Tabel 4.2 Pengaruh Variasi Kecepatan Aliran Air Terhadap Isc.....	33
Tabel 4.3 Pengaruh Variasi Kecepatan Aliran Air Terhadap Pmax.....	37
Tabel 4.4 Pengaruh Variasi Kecepatan Aliran Air Terhadap FF.....	40
Tabel 4.5 Pengaruh Variasi Kecepatan Aliran Air Terhadap Pout.....	44
Tabel 4.6 Pengaruh Variasi Kecepatan Aliran Air Terhadap Efisiensi.....	48



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 <i>solar cell</i> (m^2)
V_{mp}	= Tegangan maksimum (<i>Volt</i>)
I_{mp}	= Arus Maksimum (<i>Ampere</i>)
V_{oc}	= Tegangan rangkaian terbuka pada panel surya (Volt)
I_{sc}	= Arus hubung singkat pada <i>solar cell</i> (Ampere)
η	= Efisiensi Panel surya (%)
FF	= Faktor pengisi dapat dihitung dengan rumus
P_{max}	= Daya maksimum (<i>Watt</i>)
K	= Konstanta Boltzman (1.30×10^{-16} erg)
Q	= Konstanta muatan elektron (1.602×10^{-19} C)
T	= Temperatur dalam kelvin (K)
I_s	= Arus Saturasi (A)
G	= Tingkat generasi
L_n	= Panjang difusi elektron
L_p	= Panjang difusi <i>hole</i>
Q	= debit air (m^3/s)
t	= waktu (s)
V	= volume air (m^3)
v	= Aliran Fluida (v)
Q	= Debit (m^3/s)A : Luas Penampang (m^2)

**ANALISA PENGARUH VARIASI KECEPATAN ALIRAN WATER
COOLING SISTEM SEBAGAI MEDIA PENDINGIN TERADAP UNJUK
KERJA SOLAR CELL**

Ambar Pratomo, Sehat Abdi Saragih
Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau
Jln. Kaharudin Nasution No 133 Perhentian Marpoyan, Pekanbaru
E-mail : ambarpratomo@student.uir.ac.id

ABSTRAK

Kenaikan listrik konvensional atau listrik PLN untuk rumah non subsidi mencapai 9,7% per tahun. Penyebabnya dipengaruhi oleh banyak faktor, salah satunya adalah kenaikan harga bahan bakar utama. Salah satu upaya menghemat pengeluaran yaitu dengan menggunakan *solar cell* sebagai listrik, jika hal ini diterapkan di rumah tangga, maka dapat menghemat pengeluaran dan dana yang tersimpan pun bisa dialokasikan untuk keperluan lainnya dan tagihan listrik bisa berkurang rata-rata hingga 50%. Suhu optimal Operasi *Solar Cell* sendiri adalah 25⁰C, Kenaikan suhu lingkungan dapat mengurangi daya output. Untuk memaksimalkan kinerja *solar cell* maka diperlukan sebuah sistem tambahan yaitu kecepatan aliran *water cooling* agar menghasilkan tegangan atau *voltase* maupun arus listrik yang maksimal agar menghasilkan *Output* yang paling tinggi. Tujuan penambahan variasi kecepatan aliran agar menurunkan temperatur *losses* pada *Solar Cell* untuk mengoptimalkan unjuk kerja *Solar Cell*. Dari hasil pengujian semakin besar kecepatan aliran yang digunakan maka semakin besar nilai unjuk kerja *solar cell* yang dihasilkan. Unjuk kerja *solar cell* paling besar terletak pada variasi kecepatan 1,18 m/s dimana tegangan yang dihasilkan 19,08 *volt*, daya keluaran yang dihasilkan yaitu sebesar 7,21 *watt* dan efisiensi yang dihasilkan solar cell sebesar 8,53%

Kata kunci : Variasi kecepatan aliran air pendingin, Panel surya, Temperatur

ANALYSIS OF THE EFFECT OF VARIATION IN FLOW RATE OF WATER COOLING SYSTEM AS A COOLING MEDIA ON SOLAR CELL PERFORMANCE

Ambar Pratomo, Sehat Abdi Saragih
Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau
Jln. Kaharudin Nasution No 133 Perhentian Marpoyan, Pekanbaru
E-mail : ambarpratomo@student.uir.ac.id

Abstract

The increase in conventional electricity or PLN electricity for non-subsidized homes reached 9.7% per year. The cause is influenced by many factors, one of which is the increase in the price of major fuels. One effort to save expenses is to use solar cells as electricity, if this is applied in households, it can save expenses and saved funds can be allocated for other purposes and electricity bills can be reduced by an average of up to 50%. The optimal operating temperature of the Solar Cell itself is 250C, The increase in ambient temperature can reduce the output power. To maximize the performance of the solar cell, an additional system is needed, namely the speed of the water cooling flow in order to produce the maximum voltage or electric current to produce the highest output. The purpose of adding water velocity variations is to reduce the temperature losses in the Solar Cell and optimize the performance of the Solar Cell. From the test results, the greater the flow velocity used, the greater the performance value of the resulting solar cell. The greatest performance of the solar cell lies in the speed variation of 1.18 m/s where the resulting voltage is 19.08 volts, the resulting output power is 7.21 watts and the efficiency of the solar cell is 8.53% and the highest performance low in the solar cell test without variations in water coling flow velocity which has the lowest efficiency of 4.98%. So that with the variation of water cooling flow rate can produce the best solar cell performance value.

Keywords: *Variation In Flow Rate Of Water Cooling, Solar cell, Temperature*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kota Pekanbaru yang ada di Provinsi Riau terletak antara $101^{\circ}14'$ - $101^{\circ}34'$ Bujur Timur dan $0^{\circ}25'$ - $0^{\circ}45'$ Lintang Utara. Dengan ketinggian dari permukaan laut berkisar 5 - 50 meter. Permukaan wilayah bagian utara landai dan bergelombang dengan ketinggian berkisar antara 5 - 11 meter yang dimana iklim dan suhu sangat mendukung untuk pemasangan *Solar Cell* karna suhu dikota Pekanbaru sangat panas pada saat puncak nya jam 11.00 – 14.00 siang hari dan dapat memanfaatkan energi pada *solar cell* yang akan dianalisa. Kenaikan listrik konvensional atau listrik PLN untuk rumah non subsidi mencapai 9,7% per tahun. Penyebabnya dipengaruhi oleh banyak faktor, salah satunya adalah kenaikan harga bahan bakar utama. Kenaikan ini akan berdampak pada tingkat perekonomian dan kesejahteraan masyarakat, baik secara langsung dan tidak langsung. Memang, tidak setiap tahunnya terdapat kenaikan. Namun sekali naik, kenaikannya bisa mencapai 20-30%. Dari segi penggunaan, energi listrik tenaga surya sangat cocok karena tidak menggunakan bahan bakar secara konvensional. Energi utamanya adalah matahari yang bisa didapatkan secara gratis. Jika hal ini diterapkan di berbagai instansi, perindustrian, hingga rumah tangga, maka dapat menghemat pengeluaran dan dana yang tersimpan pun bisa dialokasikan untuk keperluan lainnya dan tagihan listrik bisa berkurang rata-rata hingga 50% dengan menggunakan *solar cell*.

Solar cell adalah suatu komponen yang dapat digunakan untuk mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip yang disebut efek photovoltaic. Suhu optimal Operasi *Solar Cell* sendiri adalah 25°C , Kenaikan suhu lingkungan dapat mengurangi daya output hingga $-0,7113 \text{ W}/^{\circ}\text{C}^3$. Setiap kenaikan temperatur 1°C dari (25°C) akan berkurang sekitar 0,4% pada total daya yang mampu dihasilkan atau akan melemah 2 kali lipat untuk kenaikan temperatur per 10° , peningkatan temperatur udara juga dapat mengurangi

tegangan *Output Solar Cell* hingga $0,22V/0C$. Untuk memaksimalkan kinerja *solar cell* maka diperlukan sebuah sistem tambahan yang dapat membuat *solar cell* menghasilkan tegangan atau *voltase* maupun arus listrik yang maksimal agar menghasilkan *Output* yang paling tinggi. *Output* yang dimaksud pada penelitian ini adalah disaat keluaran yang dihasilkan lebih besar dari pada tanpa menggunakan peralatan pendukung. Dampak dari efisiensi sel surya yang rendah ini, berpengaruh pada hasil output daya listrik pada *PV module*. Untuk itu, perlu upaya untuk mengoptimalkan output daya *PV module* agar efisiensinya dapat meningkat juga.

Upaya yang telah dilakukan salah satunya adalah dengan cara menambahkan sistem pendingin pada *solar cell* agar penyerapan sinar matahari yang jatuh pada area permukaan *PV module* akan lebih banyak, dan dapat menurunkan temperatur losses pada *solar cell* (Afriandi , 2017). Namun cara ini masih kurang efektif yaitu mengalirkan aliran dibagian permukaan sehingga penyerapan sinar matahari kurang maksimal , sehingga cahaya matahari terbayangi oleh air yang masih mengalir pada saat pendinginan berlangsung.

Untuk mengatasi hal tersebut solusi yang paling memungkinkan adalah dengan membuat pendingin dengan sistem *Water Cooling* dengan penambahan variasi kecepatan aliran air pada pompa yang akan mengalir pada bagian bawah *PV* untuk pendinginan agar menurunkan temperatur losses pada *Solar Cell* dan mengoptimalkan unjuk kerja *Solar Cell*. Sehingga bagian permukaan dapat menyerap panas tanpa terhalangi oleh aliran air yang akan mendinginkan *Solar Cell* tersebut. Untuk rangkaian sistem pendingin nya saya buat siklus tertutup sehingga air pendingin bersikulasi ulang untuk pendinginan *Solar Cell* tersebut dengan menggunakan *Heatsink* agar suhu air tetap terjaga pada suhu yang optimal . Hal ini yang melandasi penulis untuk merancang dan meneliti suatu penelitian yaitu **“Analisa Pengaruh Variasi Kecepatan Aliran *Water Cooling* Sistem Sebagai Media Pendingin Terhadap Unjuk Kerja *Solar Cell* ”**. Dari hasil penelitian ini diharapkan bisa diketahui seberapa efisien Pengaruh Variasi Kecepatan Aliran *Water Cooling* Sistem Sebagai Media Pendingin Photovoltaic tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, maka permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah

1. Bagaimanakah pengaruh penambahan variasi kecepatan aliran *Water Cooling* sistem sebagai media pendingin terhadap unjuk kerja *Solar Cell* ?
2. Pada kecepatan aliran *Water Cooling* manakah yang memiliki unjuk kerja *Solar Cell* yang paling baik ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan utama dalam penelitian ini antara lain :

1. Untuk mendapatkan pengaruh variasi kecepatan aliran *Water Cooling* sistem terhadap unjuk kerja *Solar Cell*
2. Untuk mendapatkan kecepatan aliran *Water Cooling* sistem sebagai media pendingin yang memiliki unjuk kerja *Solar Cell* yang paling baik.

1.4 Batasan Masalah

Dalam hal ini untuk memperjelas penelitian ini , maka perlu di rencanakan batasan masalah yang meliputi:

1. Pengujian yang dilakukan menggunakan *Solar Cell Polycrystalline* kapasitas 10 WP (*Watt Peak*)
2. Fluida yang digunakan untuk pendinginan adalah Air
3. Menggunakan rangkaian data *logger* untuk sistem input data berbasis *microcontroller arduino nano*
4. Pengujian dengan menambahkan sistem pendingin dengan 4 variasi kecepatan aliran air 0,39 m/s, 0,52 m/s, 0,78 m/s, dan 1,18 m/s.

1.5 Sistematika Penulisan

Untuk memperoleh gambaran secara umum tentang analisa ini , penulis melengkapi penguraian sebagai berikut:

- Bab I Pendahuluan
Pada bagian pendahuluan berisi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan
- Bab II Tinjauan Pustaka
Pada bab bagian tinjauan pustaka ini berisi tentang teori-teori yang berkaitan dengan solar cell, radiasi energi matahari, prinsip kerja *solar cells*, karakteristik panel *photovoltaic*.
- Bab III Metodologi Penelitian
Pada bab ini menjelaskan tentang mengenai tempat dan waktu pelaksanaan penelitian, peralatan yang digunakan, tahapan dan prosedur penelitian
- Bab IV Hasil dan Pembahasan
Pada Bab ini akan mejelaskan data dan energi yang dihasilkan saat panel di tentukan variasi aliran air nya , mengetahui arus (I) dan tegangan (V) pada percobaan
- Bab V Kesimpulan dan Saran
Berisikan tentang kesimpulan dan saran dari tugas akhir yang telah selesai dikerjakan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Solar Cell

Kata 'Photovoltaic' berasal bahasa Yunani yang terdiri dari dua kata, yaitu *photos* yang berarti cahaya dan *volta* (berasal dari seorang fisikawan Italia yang hidup antara tahun 1745-1827 yang bernama Alessandro Volta) yang berarti unit tegangan listrik. *Photovoltaic* merupakan proses konversi energi yang berupa cahaya matahari menjadi energi listrik dimana proses ini juga merupakan kebalikan dari proses penciptaan laser. *Solar cells* atau panel surya adalah alat untuk mengkonversi tenaga matahari menjadi energi listrik. Photovoltaic adalah teknologi yang berfungsi untuk mengubah atau mengkonversi radiasi matahari menjadi energi listrik secara langsung. Efek photovoltaic pertama kali ditemukan oleh Henri Becquerel pada tahun 1839, efek photovoltaic adalah sebuah fenomena dimana suatu sel photovoltaic dapat menyerap energi cahaya kemudian merubahnya menjadi energi listrik.

2.2 Energi Dan Radiasi Matahari

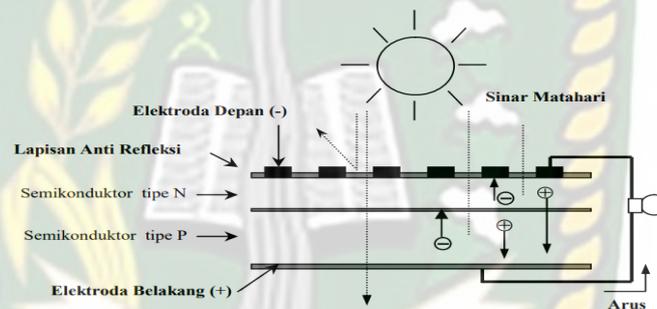
Matahari mengirimkan energi dalam bentuk panas (*heat*) dan cahaya (*light*). Pemanfaatannya berupa pemanfaatan panas seperti memanaskan air dan memanfaatkan radiasi fotonnya seperti untuk membangkitkan listrik. Dapat dipastikan adanya cahaya bersamaan dengan adanya panas. Panas tersebut dapat menyebabkan kenaikan temperatur dari sel, selain itu kondisi lingkungan yang panas juga dapat menaikkan temperatur dari sel surya. Produksi dan penggunaan energi matahari menjadi pilihan banyak pihak karena ekonomis, efisiensi sel surya yang meningkat, terbarukan, ramah lingkungan dan kemudahan perawatan. Sel surya sangat mudah digunakan, karena radiasi matahari yang diserap langsung dikonversi menjadi listrik dan teknologinya bersih dan lembut.

Sel surya terbuat dari bahan semikonduktor yaitu silikon atau germanium (*p-n junction*). Sel ini membutuhkan cahaya yang berasal dari iradiasi matahari yang membawa energi foton untuk merubah energi cahaya menjadi energi listrik.

Di Indonesia, energi matahari dapat bersinar sepanjang tahun sehingga didapatkan energi yang lebih besar, tetapi nilai temperatur lingkungan rata-rata akan lebih tinggi dibandingkan dengan negara 4 musim sehingga dapat menaikkan temperatur sel pada panel sel surya.

2.3 Prinsip Kerja Solar Cells

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 pengubahan energi matahari menjadi energi listrik ditunjukkan dalam gambar 2.1



Gambar 2. 1 Proses pengubahan energi matahari menjadi energi listrik pada sel surya (Budi Yuwono, 2005)

Bagian paling penting untuk terciptanya energi listrik dari sebuah modul *cell* surya adalah *absorber* (penyerap). Meskipun bagian tersebut menjadi yang paling utama, masing-masing bagian (lapisan) yang lain juga turut ikut serta mempengaruhi efisiensi *solar cell* tersebut. Dikarenakan *absorber* merupakan bagian paling penting dan utama dalam pembentukan sinar matahari menjadi *energy* listrik, maka dari itu *absorber* diharapkan mampu menyerap radiasi sinar matahari sebanyak mungkin, perlu diketahui cahaya matahari memiliki banyak jenis gelombang elektromagnetik sehingga kinerja *absorber* sangat di harapkan.

meskipun demikian masing-masing lapisan juga sangat berpengaruh terhadap efisiensi dari sel surya. Sinar matahari terdiri dari bermacam-macam jenis Semikonduktor tipe P Arus Sinar Matahari Semikonduktor tipe N Lapisan Anti Refleksi Elektroda Belakang (+) Elektroda Depan (-) gelombang

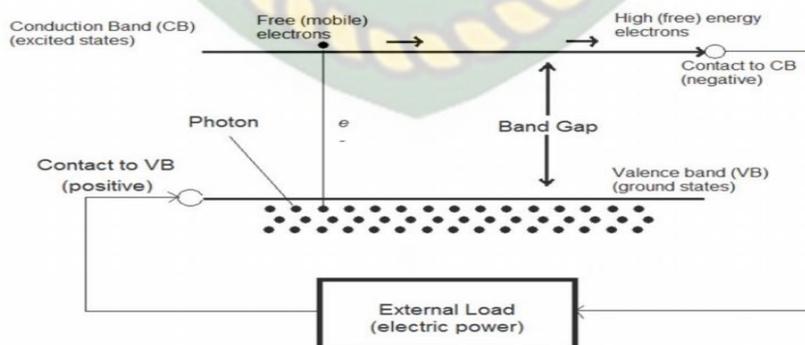
elektromagnetik, oleh karena itu penyerap disini diharapkan dapat menyerap sebanyak mungkin radiasi sinar yang berasal dari cahaya matahari.

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 2.2.



Gambar 2. 2 Kontruksi susunan Pita di dalam sebuah Semikonduktor (Budi Yuwono, 2005)

Sel surya terbuat dari bahan semikonduktor memiliki elektron yang terikat dengan lemah pada suatu pita energi yang disebut pita valensi. Ketika elektron diberikan energi melebihi batas *threshold* (*band-gap*), maka akan mengakibatkan ikatan pada elektron terputus. Kemudian elektron tersebut berkiprah bebas pada suatu pita tenaga baru yang dianggap pita konduksi. Elektron bebas dalam pita konduksi dapat menghasilkan listrik. Bebasnya elektron disebabkan oleh adanya *foton* yaitu partikel yang berasal dari radiasi sinar matahari.



Gambar 2. 3 Skema *Photovoltaic Effect* (Ranny Dwidayanti dkk , 2017)

Gambar 2.3 memperlihatkan sel surya berproses ketika terpapar radiasi sinar matahari, partikel radiasi sinar matahari yaitu foton menabrak elektron, ketika

energi yang terkandung di dalam foton sudah melewati batas (*band-gap*), maka akan mengakibatkan elektron keluar dari pita valensi (VB) hingga melalui pita pemisah (*band-gap*) yang akhirnya akan sampai menuju pita konduksi (CB). Kemudian elektron-elektron tersebut akan terkumpul oleh suatu *selective contac* menuju pita konduksi, dan elektron-elektron tersebut dapat bergerak bebas antara satu sama lain, pergerakan elektron tersebut menghasilkan suatu energi yang disebut energi listrik. Sebelum energi yang merupakan arus listrik tersebut masuk menuju pita valensi melewati *second selective contact* energi tersebutlah yang digunakan sesuai dengan kebutuhan pemakainya. Berdasarkan teori *Maxwell* tentang radiasi electromagnet, cahaya dapat dianggap sebagai spektrum gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang yang berbeda. Pendekatan yang berbeda dijabarkan oleh Einstein bahwa efek *photovoltaic* mengindikasikan cahaya merupakan partikel diskrit atau quanta energi. Dualitas cahaya sebagai partikel dan gelombang.

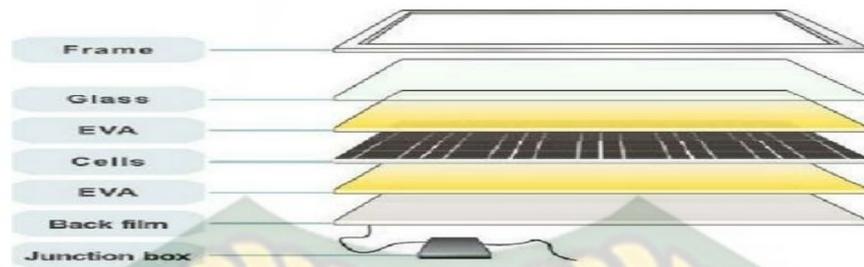
Proses pengubahan atau konversi cahaya matahari menjadi listrik ini dimungkinkan karena bahan material yang menyusun sel surya berupa semikonduktor. Lebih tepatnya tersusun atas *dua* jenis semikonduktor; yakni jenis *n* dan jenis *p*. Semikonduktor jenis *n* merupakan semikonduktor yang memiliki kelebihan elektron, sehingga kelebihan muatan negatif, (*n* = negatif). Sedangkan semikonduktor jenis *p* memiliki kelebihan hole, sehingga disebut dengan *p* (*p* = positif) karena kelebihan muatan positif. Pada awalnya, pembuatan dua jenis semikonduktor ini dimaksudkan untuk meningkatkan tingkat konduktifitas atau tingkat kemampuan daya hantar listrik dan panas semikonduktor alami. Di dalam semikonduktor alami ini, elektron maupun hole memiliki jumlah yang sama. Kelebihan elektron atau *hole* dapat meningkatkan daya hantar listrik maupun panas dari sebuah semikoduktor. Dua jenis semikonduktor *n* dan *p* ini jika disatukan akan membentuk sambungan *p-n* atau dioda *p-n*.)

2.4 Jenis Solar Cell

panel surya ini memiliki berbagai jenis. Secara umum terdapat 3 jenis yang ada dipasaran saat ini Berikut ini adalah ulasan mengenai jenis-jenis panel surya, antara lain:

2.4.1 Monocrystalline Silicon

Dari jenis panel surya yang pertama adalah Monocrystalline Silicon. Panel surya tipe ini menggunakan material silikon sebagai bahan utama penyusun sel surya. Material silikon ini diiris tipis menggunakan teknologi khusus. Dengan digunakannya teknologi inilah, kepingan sel surya yang dihasilkan akan identik satu sama lainnya dan juga memiliki kinerja tinggi. Tipe panel surya ini menggunakan sel surya jenis crystalline tunggal yang memiliki efisiensi yang tinggi. Secara fisik, tipe panel surya ini dapat dikenali dari warna sel hitam gelap dengan model terpotong pada tiap sudutnya. Dengan silikon solid tanpa adanya *boundaries* menyebabkan atom dapat bergerak dengan bebas, kebanyakan *silicon* berkrystal tunggal dibuat dengan melalui proses *Czochralski* proses ini menghasilkan *silicon* ingot yang berbentuk silinder dengan panjang 2 meter, dan berat yang dihasilkan beberapa ratus kilogram, selanjutnya dilakukan pengirisan setipis mungkin dengan ukuran beberapa ratus mikron sesuai dengan prosedur yang telah ditentukan tujuannya ialah untuk mendapatkan *thin wafer*. Di era sekarang ini *single crystalline* sangat banyak digunakan sebagai bahan semikonduktor bagi perangkat elektronik, karena sifatnya yang bagus dan kualitasnya yang mumpuni dalam menghantarkan listrik dan panas. pengembangan perangkat elektronik di zaman ini di dasarkan pada penggunaan kristal tunggal ini. menghasilkan kristal *silicon* tunggal murni dengan metode *Czochralski* membutuhkan biaya yang tidak murah, metode ini tergolong rumit, sehingga mempengaruhi harga jualnya di pasaran. *Monocrystalin* dapat dibuat sampai pada ketebalan 200 mikron dan efisiensi yang dihasilkan mampu mencapai lebih dari 24% (Muchammad et al. 2010).



Gambar 2. 4 Jenis *Solar Cell Monocrystalline Silicon* (Mohammad askari et al, 2015)

2.4.2 Polycrystalline

Material pembentuk sel surya jenis ini terbuat dari proses peleburan di dalam tungku keramik dan kemudian di dinginkan secara perlahan dengan tujuan untuk mendapatkan bahan lapisan *silicon* yang akan muncul pada permukaan silikon. Jika dibandingkan dengan *silicon* kristal tunggal sel surya ini masih kalah dalam hal efisiensi, efisiensi dari sel surya ini yaitu berkisar antara 10-12% (Muhammad et al. 2010)

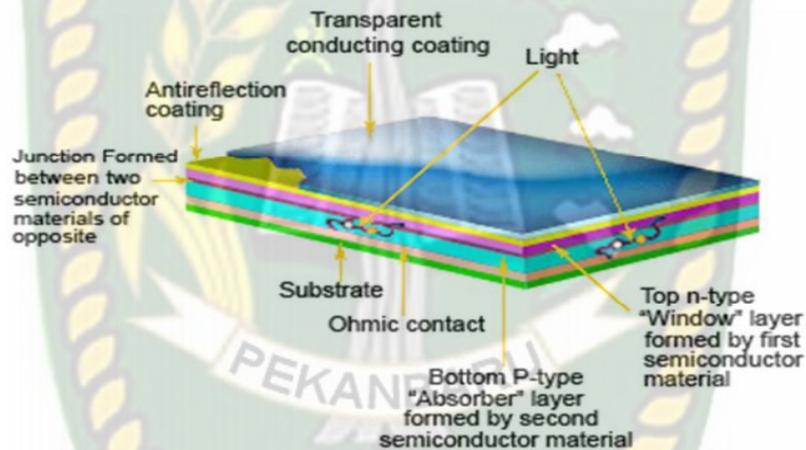


Gambar 2. 5 Jenis *Solar Cell Polycrystalline*(Mohammad askari et al, 2015)

2.4.3 *Thin Film Solar Cell (TFSC)*

Sel surya ini memiliki kemampuan yaitu dapat menyimpan beberapa lapisan tipis menjadi satu-kesatuan yang dapat berfungsi sebagai penyerap cahaya matahari. sel surya jenis ini telah di produksi dalam skala yang besar, dan telah digunakan untuk pengaplikasian material seperti CdTe, *amorphous*, kemudian CIGS dan material teknologi *film* tipis lainnya seperti a-Si, TF-Si. *Thin film* memiliki variasi ketebalan yang berbeda-beda dari yang ukuran nanometer hingga mikrometer, *thin film silicon* generasi pertama (c-Si) memiliki ketebalan

yaitu 200 μ m, dengan berat yang cenderung sangat ringan dari pada pesaingnya, sel surya jenis ini sangatlah fleksibel dan dapat di aplikasikan ke berbagai perangkat. *Thin film* memang sangatlah murah dan fleksibel dalam pengaplikasian, namun tetap memiliki efisiensi yang kurang jika dibandingkan dengan c-Si konvensional meskipun demikian peningkatan efisiensi teknologi *thin film* dari tahun ke tahun kian meningkat, seperti *thin film* dengan material CdTe dan CIGS kini memiliki efisiensi melampaui 21%. Pengembangan dan pengaplikasian *thin film* ke depan akan menuju ke arah *solar cell* generasi ketiga, seperti DSSC, *nanocrystal*, sel surya *mikromorf* dan *perovskit* dll (Mohammad askari et al.2015:)



Gambar 2. 6 Jenis Solar Cell *Thin Film Solar Cell* (Mohammad askari et al, 2015)

2.5 Sistem Pendinginan *Solar Cell*

Sistem pendingin adalah suatu sistem yang bekerja menjaga atau menurunkan suhu pada kondisi ideal dengan cara memindahkan panas dari suatu bidang ke air atau udara. Perpindahan panas dasarnya merupakan perpindahan energi dari suatu tempat ke tempat yang lain dan ada perbedaan suhu di antara dua bagian benda. Panas akan pindah dari suhu tinggi ke suhu rendah. Salah satu cara meningkatkan efisiensi sel surya adalah dengan menurunkan atau mempertahankan temperatur kerja sel surya pada kondisi mendekati 25 $^{\circ}$ C, yang dibagi menjadi beberapa cara yaitu :

- a. 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.
- b. Berdasarkan media pendingin dapat dibagi atas media air atau udara.
- c. 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 (Sunarno A. R 2019)

2.5.1 Water Cooling System

Alias Pendinginan cair pada dasarnya adalah radiator untuk prosesor di dalam komputer. Sistem pendingin yang akan menyalurkan air ke permukaan bawah *Solar Cell* hingga melalui heat sink yang terpasang pada *Solar Cell*. Saat air melewati *heat sink*, panas dari *solar cell* dipindahkan ke cairan pendingin, kemudian memindahkan panas ke udara sekitar. Cairan yang didinginkan kemudian berjalan kembali melalui sistem untuk melanjutkan proses yang berulang tersebut. Pendingin air nyatanya merupakan sistem yang jauh lebih efisien dalam menarik panas dari *Solar Cell* dan di luar sistem.

2.5.2 Kecepatan Aliran pada Water Cooling

Banyaknya zat yang mengalir dengan kecepatan tertentu persatuan waktu, artinya tiap-tiap partikel mempunyai garis alir tertentu dan untuk luas penampang yang sama akan memiliki kecepatan aliran yang sama. Kecepatan aliran fluida yang akan mengatur lajunya aliran pada sistem pendingin *Water*

Cooling yang akan digunakan untuk mendinginkan *Solar Cell*. Sebelum menentukan kecepatan aliran kita harus menentukan debit air nya. Debit adalah suatu koefisien yang menyatakan banyaknya air yang mengalir dari suatu sumber persatuan waktu, biasanya diukur dalam satuan liter per/detik, untuk memenuhi kebutuhan air pengairan, debit air harus lebih cukup untuk disalurkan ke saluran yang telah disiapkan. Penentuan kecepatan di sejumlah titik pada suatu penampang memungkinkan untuk membantu dalam menentukan besarnya kapasitas aliran sehingga pengukuran kecepatan merupakan fase yang sangat penting dalam menganalisa suatu aliran fluida. Kecepatan dapat diperoleh dengan melakukan pengukuran terhadap waktu yang dibutuhkan suatu partikel yang dikenali untuk bergerak sepanjang jarak yang telah ditentukan. (Laju Aliran Massa Dan Debit Aliran, Tan Ali Al Ayubi 2017)

Debit air dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Q = \frac{V}{t} \dots \dots \dots \text{Pers (2.1)}$$

Keterangan :

Q = debit air (m³/s)

t = waktu (s)

V = volume air (m³)

Setelah debit sudah ditentukan maka kecepatan aliran sudah bisa di cari dengan persamaan 2.2

Dalam satuan internasional (SI) kecepatan aliran adalah (m/s)

Kecepatan aliran fluida dalam pipa :

$$v = \frac{Q}{A} \dots \dots \dots \text{Pers (2.2)}$$

Keterangan :

V :Aliran Fluida (v)

Q : Debit (m³/s)

A : Luas Penampang (m²)

2.6 Unjuk Kerja Solar Cell

Sebelum mengetahui berapa nilai daya sesaat yang dihasilkan harus diketahui daya yang diterima (Daya Input), dimana daya tersebut adalah :

Perkalian antara Intensitas radiasi matahari yang diterima dengan luas area modul PV dengan persamaan :

1. Rangkaian tegangan terbuka / (V_{oc}) yaitu tegangan maksimum yang terjadi pada sel surya terjadi karena arus bernilai 0 ($I_{sc} = 0$), Untuk menghitung arus hubung singkat maka bisa menggunakan persamaan 2.3 dibawah ini.

$$V_{oc} = \frac{KT}{q} \ln\left(\frac{I_{sc}}{I_s} + 1\right) \dots \dots \dots \text{Pers (2.3)}$$

Keterangan :

K = Konstanta Boltzman (1.30×10^{-16} erg)

Q = Konstanta muatan elektron (1.602×10^{-19} C)

T = Temperatur dalam kelvin (K)

I_s = Arus Saturasi (A)

2. Arus *Short Circuit* (I_{sc})

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

$$I_{sc} = qG (L_n + L_p) \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan :

G = Tingkat generasi

L_n = Panjang difusi elektron

L_p = Panjang difusi *hole*

- 3 Daya masuk (P_{in}), merupakan besarnya daya yang di terima sel surya selama sel surya terpapar radiasi sinar matahari, daya masuk dapat di peroleh dengan mengalikan intensitas cahaya matahari yang diterima dengan luas nya area pada sel surya. Daya masuk dapat di cari menggunakan Persamaan 2.5 dibawah ini.

$$P_{in} = I_r A \dots \dots \dots \text{Pers (2.5)}$$

Keterangan:

P_{in} = Daya input akibat radiasi matahari (W)

I_r = Intensitas radiasi matahari (W/m^2)

A = Luas permukaan *solar cell* (m^2)

4 Daya maksimum (P_{max}), di dapatkan dari perkalian antara arus dan tegangan yang berada pada titik maksimum, pada kurva karakteristik sel surya yaitu kurva I-V terlihat bahwa titik puncak daya maksimum berada pada titik A yang memiliki luasan terbesar

$$P_{max} = V_{max} \times I_{max} \dots \dots \dots \text{Pers (2.6)}$$

Keterangan :

P_{max} = Daya maksimum (*Watt*)

V_{max} = Tegangan maksimum (*Volt*)

I_{max} = Arus maksimum (*Ampere*)

5 Daya keluaran (P_{out}) Sedangkan untuk besarnya daya keluaran pada panel surya (P_{out}) yaitu perkalian tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}), arus hubung singkat (I_{sc}), dan faktor pengisi (FF) yang dihasilkan oleh solar cell yang dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$P_{out} = V_{oc} I_{sc} FF \dots \dots \dots \text{Pers (2.7)}$$

Keterangan :

P_{out} : Daya yang dibangkitkan oleh *solar cell* (*Watt*)

V_{oc} : Tegangan rangkaian terbuka pada panel surya (*Volt*)

I_{sc} : Arus hubung singkat pada *solar cell* (*Ampere*)

FF : Faktor pengisi dapat dihitung dengan rumus

6 *Fill Factor (FF)*, merupakan ukuran yang menunjukkan kualitas sebuah sel surya, faktor pengisi dapat di temukan dengan cara membandingkan antara daya maksimum teoritis yang di dapatkan dengan daya keluaran yang dihasilkan oleh arus hubung singkat dan tegangan rangkaian terbuka. ($I_{sc} \times V_{oc}$) dan nilai keluaran dari daya maksimum yaitu perkalian antara ($V_{max} \times I_{max}$) yang *solar cell* hasilkan. Faktor pengisi dapat di cari dengan persamaan 2.8 dibawah ini.

$$FF = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}} \dots \dots \dots \text{Pers (2.8)}$$

Keterangan :

V_{mp} : maximum power point voltage

I_{mp} : maximum power point current

V_{oc} : Tegangan rangkaian terbuka pada panel surya (Volt)

I_{sc} : Arus hubung singkat pada *solar cell* (Ampere)

7 Efisiensi terjadi pada panel surya adalah merupakan perbandingan daya keluaran dengan daya intensitas matahari dapat dihitung dengan rumus :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \dots \dots \dots \text{Pers (2.9)}$$

Keterangan :

η : Efisiensi Panel surya

P_{in} : daya intensitas matahari (*Watt*)

P_{out} : Daya maksimum keluaran (*Watt*)

Salah satu faktor yang dapat memperngaruhi peningkatan kinerja pada photovoltaic adalah banyaknya jumlah intensitas cahaya yang mengenai permukaan panel. Hal inilah yang mendasari penulis melakukan penelitian dengan menambahkan sistem pendingin dengan variasi kecepatan aliran pada *solar cell*.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian

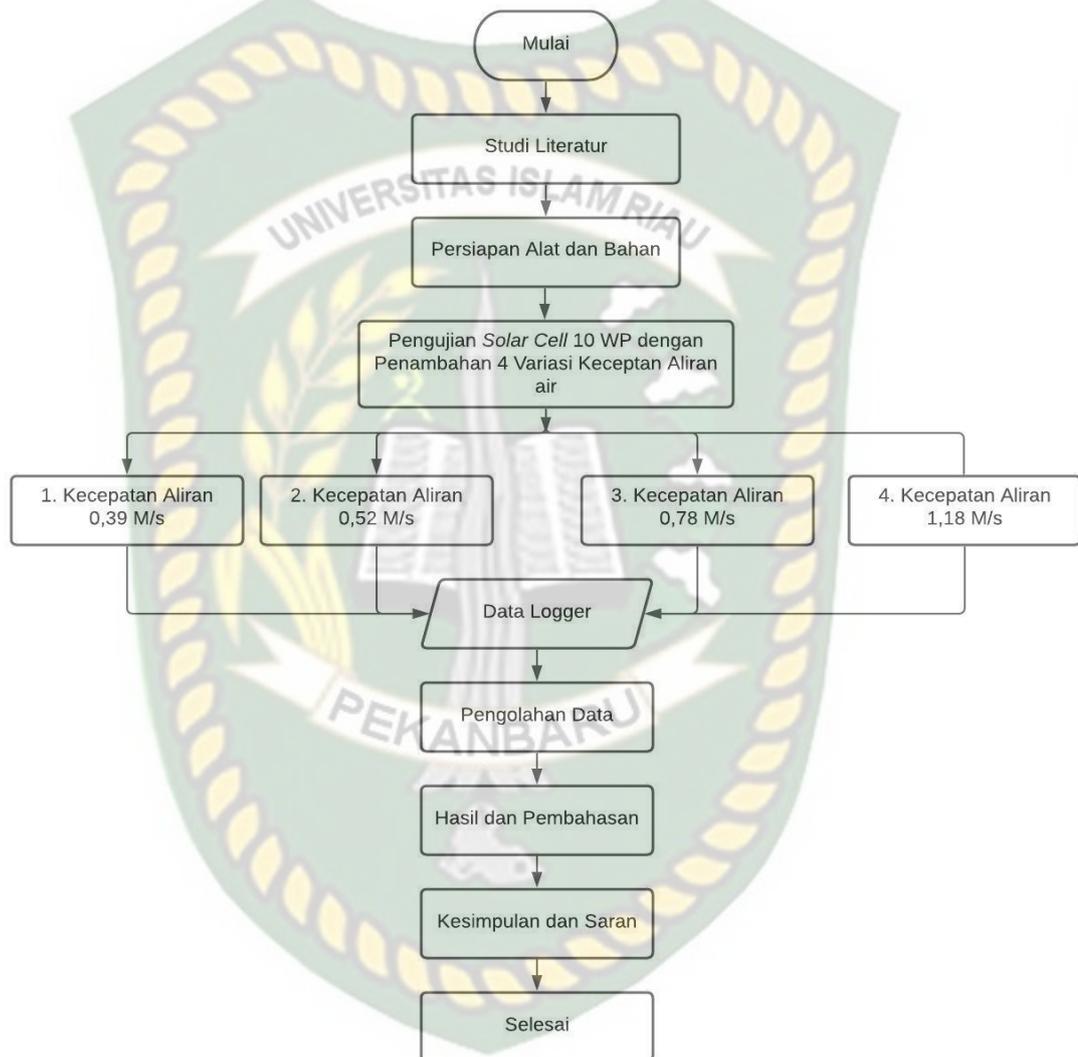
Pengujian pada *solar cell* ini akan dilaksanakan pada tanggal bulan September 2020 bertempat di Gedung A Fakultas Teknik Universitas Islam Riau .



Gambar 3. 1 Gedung A Teknik UIR

3.2 Digram Alir Penelitian

Berfungsi Sebagai Alur Dalam Penelitian, Proses Ini Digambarkan Seperti *Flowchart* Gambar 3.2



Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian

3.3 Alat Dan Bahan

3.3.1 Alat

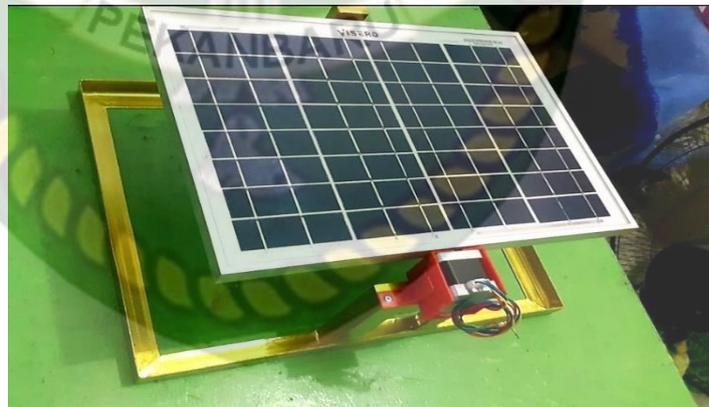
Didalam penelitian ini alat yang digunakan adalah:

1. Solar Cell

Dengan menggunakan *Solar Cell* jenis *Polycrystalin* 10 WP dengan dimensi 415 x 245 x 20 mm dan berat 1,5 kg

2. Karakteristik Panel

- Max. Power (Pmax) : 10 W
- Max. Power Voltage (Vmp) : 17.2 V
- Max. Power Current (Imp) : 0,58 A
- Open Circuit Voltage (Voc) 20,64 V
- Short Circuit Current (Isc) : 0,65 A
- Nominal Operating Cell Temp (NOCT) : $45\pm 2^{\circ}\text{C}$
- Max. System Voltage : 1000 v
- Max. Series Fuse : 16 A



Gambar 3. 3 *Solar Cell Polycrystalin* 10 WP

3. Pompa air DC 12V

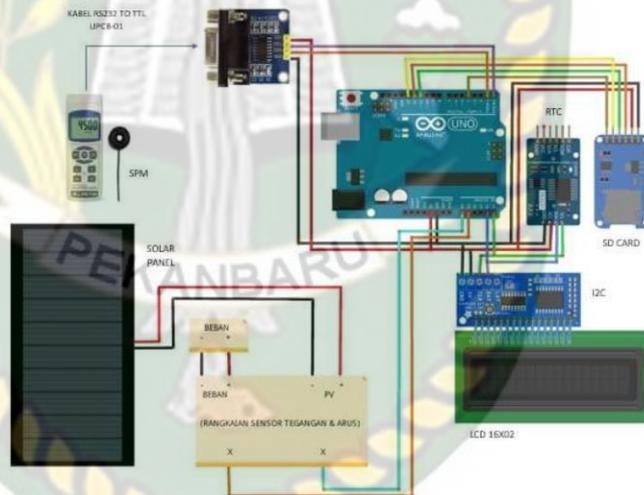
Sebagai alat yang akan memindahkan air dari drum penyimpanan melalui pipa dengan menggunakan tenaga listrik untuk mendorong air.



Gambar 3. 4 Pompa Dc 12 Volt

4. Data Logger

Berfungsi untuk membantu pencatatan data secara otomatis sehingga kinerja *solar cell* dapat terpantau secara *real time*



Gambar 3.5 Data Logger

5. Pyranometer

merupakan peralatan yang berfungsi untuk mengukur iradiasi matahari pada bidang datar, pyranometer juga dilengkapi dengan *meng* untuk membantu menghitung daya yang dihasilkan oleh iradiasi matahari dalam satuan W/m^2 .



Gambar 3. 5 Pyranometer

6. PWM (Pulse Width Modulation)

Sebagai alat pengatur kecepatan putaran pompa



Gambar 3. 6 PWM

7. Heatsink

Heatsink dengan ukuran 40cm x 12 cm x 3,5 cm sebanyak 2 buah terpasang pada panel 1 dan 2 . terdapat 12 sirip yang jarak antar siripnya sekitar 1 cm.



Gambar 3. 7 Heatsink

8. *Water Flow*

Sensor Fungsi menghitung kecepatan aliran air



Gambar 3. 8 Water Flow

9. *photometer*

Merupakan peralatan yang berfungsi untuk mengukur daya yang dihasilkan oleh iradiasi sinar matahari dalam satuan W/m^2 , biasanya *photometer* selalu berdampingan dengan *pyranometer*, karena *photometer* bertugas..membantu *pyranometer* dalam menerjemahkan hasil yang di dapatkan



Gambar 3. 9 *photometer*

10. Ember Penampung Air

Untuk penyimpanan air yang akan digunakan pada saat penelitian



Gambar 3. 10 Ember Air

11. Selang air $\frac{1}{4}$ inc

Untuk mengalirkan air ke bagian permukaan *solar cell* yang nantinya untuk sebagai pendinginan *solar cell* tersebut



Gambar 3. 11 Selang Air

12. *Fleksiglass*

Bahan ini akan direkatkan di sisi *solar cell* agar air tertampung pada bagian bawah *solar cell*



Gambar 3. 12 *Flexiglass*

13. Kran air

Berfungsi untuk mengatur aliran air yang keluar dari pompa



Gambar 3. 13 kran air

Bahan yang digunakan selama penelitian adalah :

1. Air

Merupakan Bahan utama pada penelitian ini sebagai pendinginan untuk menurunkan temperatur dan mendapatkan unjuk kerja paling efektif pada *solar cell*



Gambar 3. 14 Air

2. Lem Silikon

Untuk merekatkan fleksiglass ke rangkaian *Solar Cell* nya dan mencegah kebocoran agar air tidak terbuang kebawah



Gambar 3. 15 Lem Silikon

3.4 Persiapan Pengujian

Sebelum melakukan pengujian harus mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan , maka dari itu persiapan yang dilakukan sebagai berikut :

1. Mempersiapkan *Solar Panel* , Pompa air , *Pwm* dan data *logger* yang akan digunakan saat penelitian dan alat pendukung lain nya agar mudah saat melakukan penelitian
2. Memastikan semua alat dalam keadaan bagus atau tidak ada yang rusak maupun *error* saat pengujian sehingga tidak menimbulkan data yang *failed* karena *system* ini berjalan secara *realtime*
3. Merancang sistem pendingin pada bagian rangka panel dengan masing masing peralatan pendukung seperti *Fleksiglass*, pipa pvc $\frac{1}{2}$ in, *Flow Meter*, dan pompa air kemudian melakukan pengujian sesuai dengan prosedur pengujian yang telah di buat
4. Mempersiapkan dan memastikan baterai laptop tidak low atau laptop tidak mati saat digunakan, agar dapat digunakan untuk memantau data yang keluar dari data *logger* secara nyata agar dapat di olah untuk masuk pada tahap analisa data.

3.5 Prosedur Pengujian

Pengujian I, II, III, dan IV *Solar Cell* Dengan Penambahan Variasi Kecepatan Aliran 0,39 m/s, 0,52 m/s 0,78 m/s, 1,18 m/s Pada Pompa

Langkah-langkah dalam pengujian ini dapat dilakukan sebagai berikut:

1. Menempatkan *Solar Cell* pada lokasi yang sudah di tentukan
2. Pastikan rangkaian aliran untuk mendinginkan pada *Solar Cell* dan rangkaian data *logger* dalam keadaan yang optimal untuk siap dilakukan pengujian
3. Laptop dalam keadaan standby / hidup
4. Nyalakan rangkaian *Solar Cell* , data *logger* dan rangkaian sistem pendingin untuk mengalirkan air dengan pompa dengan kecepatan aliran 0,39 m/s, 0,52 m/s 0,78 m/s, 1,18 m/s pengujian selama 4 hari
5. Pengecekan data yang tampil di layar laptop yang terdiri dari data Arus hubung singkat, tegangan rangkaian terbuka, daya input, daya *output Solar Cell* setelah selesai kemudian simpan
6. Saat penelitian sudah berakhir dan data dari keempat penelitian sudah di dapat kan matikan pompa dan semua alat ukur yang telah digunakan

3.6 Jadwal kegiatan Penelitian

Agar penelitian tentang analisa pengaruh variasi kecepatan aliran *Water Cooling* sebagai media pendingin pada *solar cell* terhadap unjuk *solar cell* ini dapat berjalan optimal sesuai dengan waktu yang ditentukan maka perlu dibuat jadwal penelitian seperti yang terlihat pada Tabel 3.2 dibawah ini

NO	Jenis Kegiatan	BULAN											
		9			10			11			12		
1	Pembuatan Proposal	■											
2	Studi Literatur		■	■	■								
3	Persiapan Alat dan Bahan				■								
4	Pengujian dan pengumpulan data						■	■					
5	Analisa data								■	■	■	■	
6	Hasil akhir dan presentasi												■

Dokumen ini adalah Arsip Miik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Variasi kecepatan Aliran *Water Cooling* Terhadap Tegangan Rangkaian Terbuka (*Voc*)

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa terdapat pengaruh penambahan sistem pendinginan pada *solar cell* terhadap tegangan rangkaian terbuka (*Voc*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai *Voc* yang paling besar yang dihasilkan *solar cell* ialah ada penambahan variasi kecepatan aliran *Water Cooling* terhadap *solar cell* pada hari ke 5 dengan nilai *Voc* 19,08 *volt* dan nilai *Voc* yang paling rendah tanpa variasi kecepatan *Water Cooling* ialah sebesar 17,53 *volt* pada hari pertama pengujian. Hasil pengujian bisa dilihat pada tabel 4.1 dibawah ini

Tabel 4.1 pengaruh Variasi kecepatan Aliran air terhadap *Voc*

hari	Variasi kecepatan Aliran air pada pendinginan	<i>Voc</i> (v)	Iradiasi
1	0	17,53	699,3
	Kecepatan 0,39 m/s	18,52	699,3
2	Kecepatan 0,39 m/s	18,54	703,0
	Kecepatan 0,52 m/s	18,50	703,0
3	Kecepatan 0,52 m/s	18,69	727,2
	Kecepatan 0,78 m/s	18,78	727,2
4	Kecepatan 0,58 m/s	18,89	809,4

	Kecepatan 1,18 m/s	18,96	809,4
5	Kecepatan 1,18 m/s	19,08	879,7
	0	17,89	879,7

Pada tabel 4.1 diatas, untuk parameter umjuk kerja *solar cell* yaitu tegangan rangkain terbuka (Voc) yang dihasilkan *solar cell* saat pengambilan data. Dari tabel diatas dapat dilihat *solar cell* mengalami perubahan yang sangat meningkat dengan ada nya variasi kecepatan aliran *Water Cooling* pada panel. Disaat *solar cell* tanpa Variasi kecepatan aliran di intesitas rendah parameter Voc pun menurun begitu pula *solar cell* tanpa pendinginan berada di intensitas tertinggi nilai Voc juga mengalami penurunan. Seperti pada pengujian hari 1 pengujian pada *solar cell* tanpa Variasi kecepatan aliran *Water Cooling* dengan intensitas pada titik tertinggi 699,3 W/m² nilai Voc nya hanya 17,53 V dan sebaliknya dengan adanya variasi kecepatan aliran water cooling dengan kecepatan aliran air 0,39 m/s dengan intesitas sama 699,3 W/m² dengan nilai Voc nya 18,52.

Pada pengujian hari 2 rata-rata intensitas cahaya matahari mengalami kenaikan yaitu menjadi 703,0, nilai rangkaian tegangan terbuka (Voc) dengan variasi kecepatan 0,39 m/s mengalami kenaikan dari pengujian sebelum nya yaitu sebesar 18,54 volt. dihari pengujian dan intensitas yang sama dengan variasi kecepatan 0,52 m/s nilai Voc mengalami kenaikan tidak terlalu jauh yaitu sebesar 18,60 volt. jadi penambahan kecepatan aliran 0,39 membuat unggul nilai parameter Voc nya ketimbang pengujian sebelum nya.

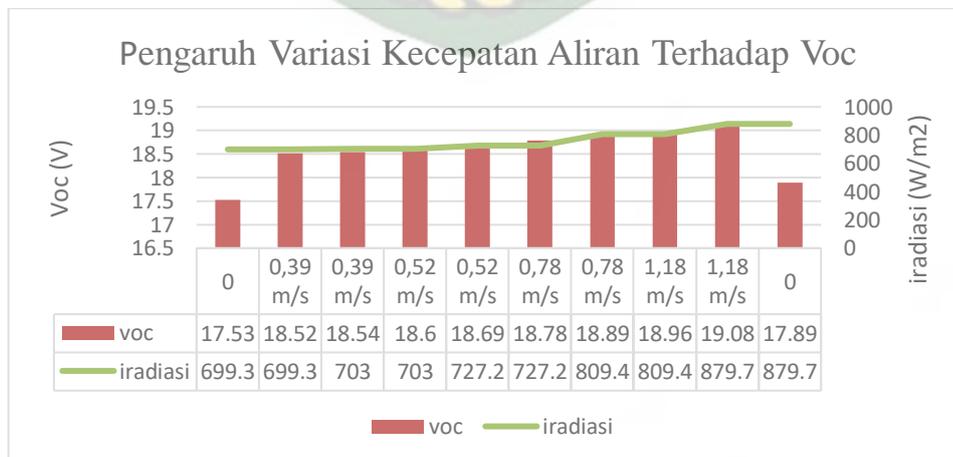
Pada pengujian hari 3 rata-rata intensitas mengalami kenaikan lagi karena cuaca sedang cerah dengan nilai intensitas nya yaitu 809,4 W/m², tegangan rangkaian terbuka (Voc) yang dihasil kan oleh *solar cell* diberi penambahan pendinginan dengan variasi kecepatan aliran air 0,52 m/s sama dengan pengujian ke 2 dengan meningkatnya nilai parameter Voc nya yaitu sebesar 18,69 volt, disini bisa dilihat pada pengujian ke dua intensitas dan variasi kecepatan aliran air

sebagai media pendingin sangat berpengaruh untuk nilai Voc, kemudian di hari dan intensitas yang sama ada penambahan variasi kecepatan aliran yaitu sebesar 0,78 m/s nilai parameter Voc nya mengalami peningkatan yaitu 18,78 volt.

Pada pengujian ke 4, nilai rata-rata intensitas matahari mengalami kenaikan lagi dengan nilai intensitas sebesar 809,4 W/m². pada pengujian sebelum nya yaitu pada pengujian ke 3 dengan variasi kecepatan 0,78m/s mendapatkan nilai Voc sebesar 0,78 volt, di variasi kecepatan aliran yang sama pada pengujian ke 4 ini mengalami kenaikan nilai parameter Voc nya sebesar 18,89 volt, kemudian ada penambahan variasi kecepatan aliran untuk pengujian di solar cell yang berbeda yaitu 1,18 m/s dengan ini hasil dari pengujian di hari itu mendapatkan nilai parameter Voc nya mnegalami kenaikan sebesar 18,96 volt.

Pada pengujian ke 5 hari terakhir, nilai rata rata intensitas matahari mengalami kenaikan lagi yaitu sebesar 879,7 W/m². Pada pengujian hari ke 5 ini tidak ada penambahan variasi kecepatan, variasi kecepatan aliran yang di pakai sama pada hari ke 4 tetapi berbeda hari saat pengambilan data nya. Nilai parameter Voc yang di dapat kan pada variasi kecepatan 1,18 m/s terus mengalami kenaikan yaitu meyentuh angka 19,08 volt, di hari yang sama dengan pengujian tanpa variasi kecepatan aliran *water cooling* nilai parameter Voc mnegalami penrun yang sangat signifikan yaitu sebesar 17,89 dengan nilai intensitas cahaya matahari yang sama.

peningkatan nilai parameter Voc dapat dilihat dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Tegangan Rangkain Terbuka Pada Variasi Kecepatan Aliran *Water Cooling*

Dari Gambar 4.1 diatas dapat diketahui bahwa semakin besar kecepatan aliran *water cooling* maka semakin besar pula nilai tegangan yang dihasilkan, terlihat bahwa pada pengujian hari ke-5 pada variasi kecepatan aliran 1,18 m/s menunjukkan hasil yang sangat signifikan terhadap Voc. Hal tersebut disebabkan karena, dalam pengujian menggunakan *solar cell* jenis *polycrystalline*, karena Pada jenis *Solar Cell* tersebut sangat *Sensitive* terhadap suhu. *solar cell* dapat bekerja optimal pada saat temperatur konstan yaitu 25 °C, ketika suhu permukaan *solar cell* meningkat maka tegangan yang dihasilkan akan mengalami penurunan sangat signifikan dan sebaliknya jika suhu permukaan *solar cell* mengalami penurunan maka tegangan yang dihasilkan akan meningkat signifikan. Temperatur panel memberikan pengaruh terhadap kinerja *solar cell polycrystalline* khususnya pada tegangan keluarannya (Voc), dari hasil pengujian dan pengamatan memperlihatkan pada saat temperatur panel rendah maka tegangan keluaran yang diperoleh besar. Begitupun sebaliknya bila temperatur panel tinggi maka tegangan keluaran dari *solar cell* jenis *polycrystalline* akan menjadi kecil, sehingga dapat diasumsikan bahwa hubungan antara temperatur dengan tegangan yaitu berbanding terbalik. Kenaikan temperatur pada permukaan *solar cell* dapat menurunkan besar daya listrik yang diproduksi serta juga dipengaruhi oleh bahan *silikon solar cell* yang mampu menyerap energi foton sekaligus panas dari radiasi matahari. Temperatur yang tinggi *linear* dengan energi yang di kandung oleh foton, semakin tinggi temperatur dan intensitas sinar matahari yang diterima oleh *solar cell* 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 daripada energi band-gap. Jika energi foton terlalu besar dari pada energi band-gap, maka extra energi tersebut akan dirubah dalam bentuk panas pada *solar cell*. sehingga dengan itu menyebabkan parameter Voc pada *solar cell* yang memiliki temperatur tinggi mengalami penurunan. Tegangan

pada *solar cell* dengan variasi kecepatan aliran lebih tinggi dibandingkan *solar cell* tanpa variasi kecepatan aliran *water cooling*, Dalam hal ini dapat dikatakan bahwa dengan menjaga suhu pada *Solar Cell* dapat meningkatkan nilai dari tegangan rangkaian terbuka (Voc) tersebut.

4.2 Pengaruh Variasi Kecepatan Aliran *Water Cooling* Terhadap Arus Hubung Singkat (Isc)

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa terdapat pengaruh variasi kecepatan aliran *water cooling* pada *solar cell* terhadap arus hubung singkat (Isc). Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai Isc terbesar yang dihasilkan oleh *solar cell* yaitu ada pada Variasi kecepatan aliran 1,18 m/s dengan pada hari ke 5 pengujian ke V dengan nilai Isc sebesar 0,47 ampere, dan nilai terendah Isc dihasilkan oleh *solar cell* tanpa variasi kecepatan *water cooling* pada hari ke 1, pengujian ke I dengan nilai Isc sebesar 0,33 ampere. Hal tersebut dapat dilihat secara detail pada tabel 4.2 dibawah ini

Tabel 4.2 pengaruh Variasi kecepatan Aliran air terhadap Isc

Hari	Variasi kecepatan Aliran air pada pendinginan	Isc (A)	Iradiasi
1	0	0,33	699,3
	Kecepatan 0,39 m/s	0,34	699,3
2	Kecepatan 0,39 m/s	0,35	703,0
	Kecepatan 0,52 m/s	0,37	703,0
3	Kecepatan 0,52 m/s	0,39	727,2
	Kecepatan 0,78 m/s	0,40	727,2
4	Kecepatan 0,78 m/s	0,42	809,4

	Kecepatan 1,18 m/s	0,45	809,4
5	Kecepatan 1,18 m/s	0,47	879,7
	0	0,44	879,7

Pada tabel 4.2, untuk parameter kinerja *solar cell* yaitu arus hubung singkat (I_{sc}) yang dihasilkan oleh *solar cell* mengalami perubahan yang cukup signifikan seiring dengan penambahan variasi kecepatan aliran *water cooling* yang ditambahkan. Intensitas yang semakin naik, secara keseluruhan membuat nilai parameter I_{sc} juga semakin. Pada pengujian hari ke 1 saat itu intensitas cahaya matahari berada dititik tertinggi nya yaitu dengan nilai rata rata $699,3 \text{ W/m}^2$ dengan nilai arus hubung singkat (I_{sc}) yang dihasilkan *solar cell* tanpa variasi kecepatan aliran pada pengujian I bernilai $0,33 \text{ ampere}$, sedangkan pada hari dan intensitas yang sama , *solar cell* yang di beri variasi kecepatan aliran *Water Cooling* dengan nilai $0,39 \text{ m/s}$ menghasilkan nilai yang sedikit naik niali I_{sc} nya dari pada sebelumnya , yaitu sebesar $0,34 \text{ ampere}$.

Kemudian pada pengujian di hari ke 2 dengan nilai intensitas cahaya matahari mengalami kenaikan yang tidak terlalu jauh dari pengujian hari ke I dengan nilai $703,0 \text{ W/m}^2$, arus hubung singkat (I_{sc}) yang dihasilkan *solar cell* dengan variasi yang sama pada pengujian sebelum nya yaitu $0,39 \text{ m/s}$ mengalami peningkatan yaitu menjadi $0,35 \text{ ampere}$, sedangkan di hari dan intensitas cahaya matahari yang sama dengan variasi kecepatan yang berbeda yaitu $0,52 \text{ m/s}$ arus hubung singkat (I_{sc}) yang dihasilkan tidak begitu jauh naik nya dengan rata rata nilai I_{sc} nya $0,37 \text{ ampere}$.

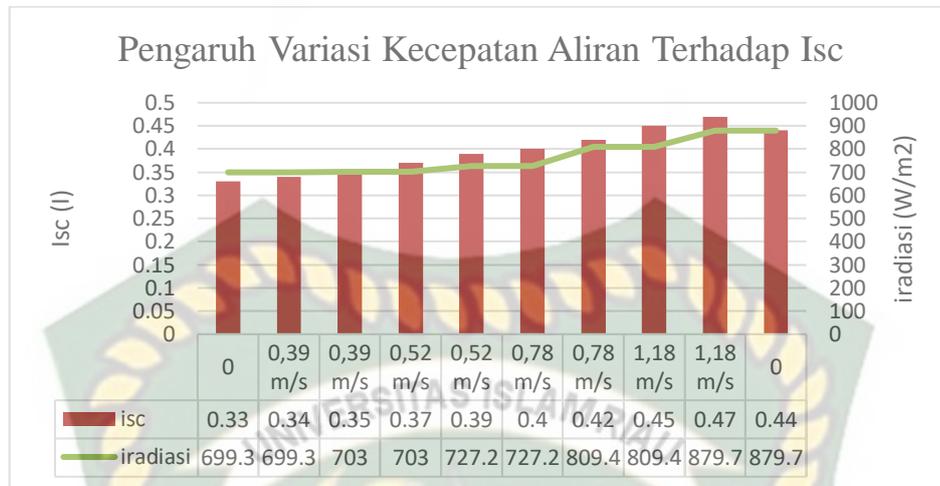
Pada pengujian hari ke 3 intensitas cahaya matahari lagi lagi mengalami kenaikan disebabkan setiap waktu pengambilan data di riau terutama pekanbaru sedang cerah dengan nilai intensitas $703,0 \text{ W/m}^2$, arus hubung singkat (I_{sc}) yang diperoleh dari *solar cell* yang di beri variasi kecepatan aliran *water cooling* $0,52 \text{ m/s}$ mengalami kenaikan lagi dari penelitian sebelumnya yaitu sebesar $0,39 \text{ ampere}$, sedang kan di hari dan intensitas yang sama, di *solar cell* yang berbeda

dengan variasi 0,78 m/s dengan arus hubung singkat (Isc) yang di peroleh mengalami kenaikan sebesar 0,40 *ampere*

Pengujian di hari ke 4 dengan naik nya intensitas cahaya matahari secara signifikan yaitu 809,4 W/m², arus hubung singkat (Isc) yang didapatkan pada saat pengujian dengan variasi 0,78 m/s, dengan adanya pemasangan alat sistem pendingin dengan variasi tersebut menghasilkan nilai sebesar 0,42 *ampere* . nilai pada pengujian tersebut mengalami kenaikan yg signifikan dari pengujian sebelum nya dikarenakan intensitas matahari yang semakin meningkat . Di hari dan intensitas matahari yang sama *solar cell* terpasang dengan tambahan variasi kecepatan 1,18 m/s, arus hubung singkat (Isc) yang dihasil kan pada *solar cell* tersebut mengalami kenaikan yang cukup signifikan yaitu sebesar 0,45 *ampere* sehingga berpengaruh kepada daya *output solar cell* yang dihasikan.

Pengujian hari ke 5 dengan variasi kecepatan yang sama dengan hari ke 4 1,18 m/s, dengan naik nya intensitas matahari pada pengujian di hari ke 5 secara signifikan yaitu 879,7 W/m². Arus hubung singkat (Isc) yang didapatkan pada saat pengujian cenderung naik dikarenakan pengaruh intensitas dan variasi kecepatan tersebut dengan nilai 0,47 *ampere*. Sedangkan dihari dan intensitas yang sama *solar cell* yang tanpa di beri variasi kecepatan aliran *water cooling* nilai Isc nya cenderung menurun dari pengujian yang menggunakan variasi 1,18 m/s yaitu sebesar 0,44 *ampere*.

Dengan adanya tambahan variasi kecepatan aliran *Water Cooling* membuat nilai Isc semakin bagus dapat di lihat pada dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada gambar 4.2 dibawah ini.



Gambar 4. 2 Arus Hubung Singkat (Isc) Pada Variasi Kecepatan Aliran *Water Cooling*

Dari gambar 4.2 diatas dapat diketahui bahwa semakin besar kecepatan aliran *water cooling* dan tinggi nya intensitas cahaya matahari maka semakin besar arus hubung singkat yang dihasilkan. Hal tersebut terjadi karena nilai parameter Isc meningkat karena tingginya intensitas pada saat pengujian. Dalam hal ini arus mengalami kenaikan yang signifikan, seiring dengan kenaikan intensitas cahaya matahari maka arus akan meningkat. Isc cenderung berbanding lurus dengan intensitas matahari, apabila jumlah energi matahari yang diperoleh *solar cell* berkurang 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. Terlihat bahwa temperatur permukaan yang tinggi tidak berpengaruh terhadap penurunan parameter Isc, melainkan temperatur *linear* dengan parameter Isc, tetapi berbanding terbalik dengan Voc. Pendinginan yang dilakukan berfungsi untuk meningkatkan tegangan rangkaian terbuka (Voc) pada *solar cell*, dan ini berefek pada kenaikan parameter arus hubung singkat (Isc). Peningkatan intensitas cahaya matahari akan meningkatkan arus hubung singkat, dan berpengaruh pada peningkatan MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) pada kurva arus-tegangan, peningkatan MPPT akan meningkatkan seluruh kinerja pada *solar cell*. Peningkatan MPPT yang di

kombinasikan dengan sistem pendinginan, menyebabkan kedua parameter tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) dan Arus hubung singkat (I_{sc}) pada kinerja *solar cell* menjadi meningkat.

4.3 Pengaruh Variasi kecepatan Aliran *Water Cooling* Terhadap Daya Maksimum (P_{max})

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa terdapat pengaruh penambahan variasi kecepatan aliran *water cooling* pada *solar cell* terhadap daya maksimum (P_{max}). Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai P_{max} terbesar yang dihasilkan oleh *solar cell* yaitu ada pada penambahan variasi kecepatan aliran *water cooling* pada *solar cell* pada hari ke 5, pengujian ke V dengan nilai P_{max} sebesar 7,21 watt, dan nilai terendah P_{max} dihasilkan oleh *solar cell* tanpa penambahan variasi kecepatan *water cooling* pada hari ke 1, dengan nilai P_{max} sebesar 3,34 watt. Hal tersebut dapat dilihat secara detail pada tabel 4.3 dibawah ini.

Tabel 4.3 Pengaruh Variasi Kecepatan Aliran Air Terhadap P_{max}

hari	Variasi kecepatan Aliran air	P_{max}	Iradiasi
1	0	3,34	699,3
	Kecepatan 0,39 m/s	3,83	699,3
2	Kecepatan 0,39 m/s	4,00	703,0
	Kecepatan 0,52 m/s	4,29	703,0
3	Kecepatan 0,52 m/s	4,68	727,2
	Kecepatan 0,78 m/s	4,96	727,2
4	Kecepatan 0,78 m/s	5,66	809,4
	Kecepatan 1,18 m/s	6,10	809,4

5	Kecepatan 1,18 m/s	7,21	879,7
	0	4,56	879,7

Pada tabel 4.3, seperti pada pengujian hari ke 1, dengan intensitas matahari terendah yaitu $699,3 \text{ W/m}^2$ daya maksimum P_{max} yang dihasilkan oleh *solar cell* tanpa adanya tambahan variasi kecepatan aliran *water cooling* yaitu sebesar 3,34 watt, sedangkan di hari dan intensitas yang sama *solar cell* yang diberi variasi kecepatan 0,39 m/s mengalami kenaikan dari pengujian sebelumnya menghasilkan nilai P_{max} sebesar 3,38 watt, sehingga bisa di lihat penambahan variasi kecepatan membuat peningkatan pada nilai P_{max} .

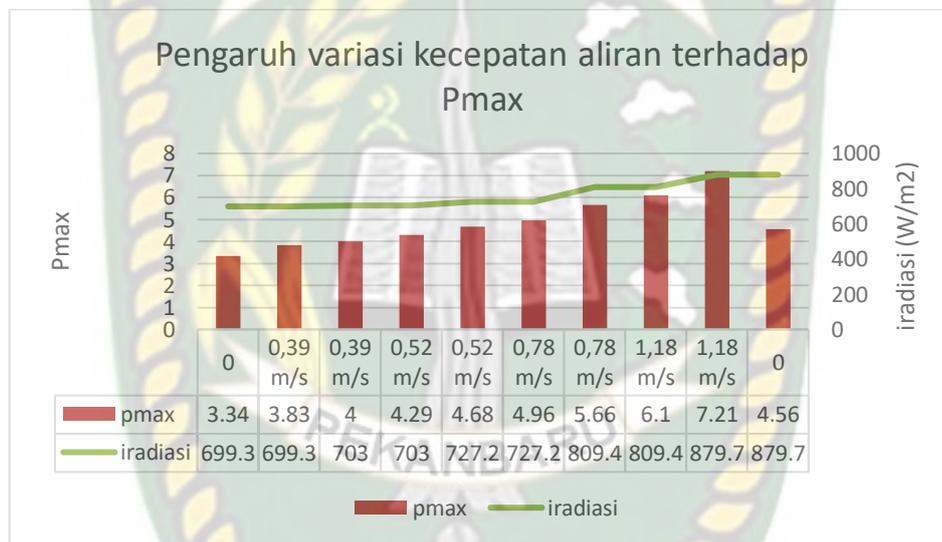
Pengujian di hari ke 2, intensitas sinar matahari mengalami kenaikan dengan nilai rata-rata yaitu sebesar $703,0 \text{ W/m}^2$, daya maksimum (P_{max}) yang dihasilkan *solar cell* dengan variasi yang sama dengan pengujian ke 1 yaitu sebesar 4,00 watt, sedangkan di hari yang sama *solar cell* dengan variasi kecepatan 0,52 m/s menghasilkan daya maksimum (P_{max}) sebesar 4,29 watt. Bisa di lihat penambahan variasi kecepatan aliran dapat meningkatkan nilai P_{max} .

Kemudian pengujian di hari ke 3, meningkatnya nilai rata-rata intensitas cahaya matahari sebesar $727,2 \text{ W/m}^2$, daya maksimum (P_{max}) yang dihasilkan *solar cell* dengan variasi kecepatan 0,52 m/s meningkat dari pengujian sebelumnya yaitu sebesar 4,68 watt. Sedangkan dihari yang sama *solar cell* yang di beri variasi kecepatan 0,78 m/s, nilai daya maksimum (P_{max}) yang dihasilkan mengalami kenaikan yaitu sebesar 4,96 watt.

Hari ke 4 pengujian dengan nilai rata-rata intensitas cahaya matahari sebesar $809,4 \text{ W/m}^2$, daya maksimum (P_{max}) yang dihasilkan *solar cell* yang diberi variasi kecepatan aliran *water cooling* sebesar 0,78 m/s meningkat dari pengujian sebelumnya yaitu sebesar 5,66 watt, sedangkan di hari dan intensitas cahaya matahari yang sama *solar cell* yang di beri kecepatan aliran 1,18 m/s, nilai P_{max} nya mengalami kenaikan sebesar 6,10 watt. Bisa kita lihat di pengujian hari ke empat dengan kecepatan 1,18 m/s memiliki nilai P_{max} yang lebih besar.

Pengujian di hari ke 5 dengan nilai rata-rata intensitas cahaya matahari tertinggi yaitu sebesar 878,7 W/m², daya maksimum (*P_{max}*) yang dihasilkan oleh *solar cell* signifikan yaitu sebesar 7,21 watt, sedangkan di hari yang sama melakukan pengujian *solar cell* tanpa di beri variasi kecepatan aliran water cooling daya maksimum (*P_{max}*) yang di peroleh dari *solar cell* mengalami penurunan yang cukup rendah yaitu sebsar 4,56 watt.

Peningkatan dan penurunan nilai parameter *P_{max}* disajikan dalam bentuk grafik yang dapat di lihat pada gambar 4.3 dibawah ini.



Gambar 4. 3 Daya Maksimum (*P_{max}*) Pada Variasi Kecepatan Aliran *Water Cooling*

Dari gambar 4.3 dapat diketahui bahwa semakin besar kecepatan aliran *water cooling* maka semakin besar pula daya maksimum yang dihasilkan. Terlihat bahwa ada hubungan antara kenaikan temperatur terhadap daya maksimum (*P_{max}*), yaitu daya maksimum berbanding terbalik terhadap temperatur karena apabila temperatur panel semakin tinggi maka daya maksimum dari *solar cell* semakin kecil begitupun sebaliknya bahwa semakin rendah temperatur panel maka semakin besar pula daya maksimum, Daya maksimum merupakan perkalian antara tegangan maksimum (*V_{max}*) dan arus maksimum (*I_{max}*) listrik Dc dengan beban lampu LED 5 watt, kedua parameter ini cenderung berbanding terbalik terhadap peningkatan temperatur. Hal tersebut dapat terjadi karena, disaat

intensitas cahaya matahari mengalami peningkatan yang cukup signifikan, maka temperatur pada permukaan *solar cell* mengalami peningkatan yang akan berefek pada nilai tegangan yang dihasilkan, karena temperatur berbanding terbalik dengan tegangan. Jika temperatur mengalami kenaikan maka tegangan yang dihasilkan akan mengalami penurunan, begitu sebaliknya jika temperatur mengalami penurunan maka nilai tegangan akan mengalami peningkatan, dengan adanya variasi kecepatan aliran *water cooling*, temperatur mengalami penurunan secara signifikan sehingga tegangan akan meningkat yang akan berefek pada peningkatan daya maksimum. Kenaikan temperatur tidak terlalu berefek kepada arus yang dihasilkan, karena temperatur *linear* terhadap arus semakin tinggi intensitas cahaya matahari yang dihasilkan semakin besar arus yang dihasilkan sehingga membuat daya yang dihasilkan semakin besar. Seperti pada pengujian hari ke 5 dengan menggunakan variasi kecepatan 1,18 m/s daya maksimum yang dihasilkan yaitu sebesar 7,21 watt, pada variasi kecepatan 1,18 m/s ini menghasilkan nilai daya maksimum tertinggi sehingga paling efektif dalam peningkatan kinerja pada daya maksimum.

4.4 Pengaruh Variasi kecepatan Aliran *Water Cooling* Terhadap *Fill Factor* (FF)

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa terdapat pengaruh penambahan variasi kecepatan aliran *water cooling* pada *Solar Cell* terhadap *Fill Factor* (FF). Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai FF yang paling besar yang dihasilkan *solar cell* ialah adanya variasi kecepatan aliran *water cooling* pada *Solar Cell* pada hari ke 5 dengan nilai FF sebesar 0,81 dan nilai FF yang paling rendah *Solar Cell* tanpa variasi kecepatan aliran *Water Cooling* ialah sebesar 0,57, Hasil pengujian bisa dilihat secara detail pada tabel 4.4 dibawah ini.

Tabel 4.4 Pengaruh Variasi Kecepatan Aliran Air Terhadap FF

Hari	Variasi kecepatan Aliran air	FF	Iradiasi
1	0	0,58	699,3

	Kecepatan 0,39 m/s	0,61	699,3
2	Kecepatan 0,39 m/s	0,62	703,0
	Kecepatan 0,52 m/s	0,62	703,0
3	Kecepatan 0,52 m/s	0,63	727,2
	Kecepatan 0,78 m/s	0,65	727,2
4	Kecepatan 0,78 m/s	0,70	809,4
	Kecepatan 1,18 m/s	0,72	809,4
5	Kecepatan 1,18 m/s	0,81	879,7
	0	0,57	879,7

Pada tabel 4.4, untuk paramater kinerja *Solar Cell* yaitu *Fill Factor* (FF) yang dihasilkan oleh *Solar Cell* mengalami perubahan yang cukup signifikan, Variasi kecepatan aliran *Water Cooling* ditambahkan mampu meningkatkan *Fill Factor* pada *Solar Cell*. Seperti pengujian ke 1 *Solar Cell* tanpa variasi kecepatan aliran *Water Cooling*, saat nilai rata-rata intensitas cahaya matahari berada di $699,3 \text{ W/m}^2$ *Fill Factor* yang di hasil kan *solar cell* adalah sebesar 0,58, sedangkan di hari dan intensitas cahaya matahari yang sama *Solar Cell* yang di lengkapi variasi kecepatan 0,39 m/S *Fill Factor* yang di hasil kan meningkat dari sebelumnya yaitu sebesar 0,61 .

Pada pengujian hari ke 2 dengan meningkatnya nilai rata-rata intensitas cahaya matahari sebesar $703,0 \text{ W.m}^2$, *Solar Cell* yang di lengkapi variasi kecepatan 0,39 m/s *Fill Factor* yang dihasilkan meningkat dari pengujian sebelumnya yaitu sebesar 0,62. Sedangkan di hari yang sama *Solar Cell* yang di lengkapi variasi kecepatan aliran 0,52 m/s nilai *Fill Factor* yang dihasilkan sama yaitu sebesar 0,62.

Kemudian pengujian di hari ke 3, dengan meningkat nya intensitas cahaya matahari sebesar $727,2 \text{ W.m}^2$ membuat nilai *Fill Factor* dari *Solar Cell* yang di lengkapi variasi kecepatan aliran $0,52 \text{ m/s}$ meningkat yaitu sebesar $0,63$. Sedangkan di hari yang sama *Solar Cell* yang dilengkapi variasi kecepatan aliran $0,78 \text{ m/s}$ menunjukkan hasil nilai *Fill Factor* meningkat dari pengujian sebelumnya yaitu sebesar $0,65$.

Pada pengujian di hari ke 4, dengan meningkat nya nilai rata-rata intensitas cahaya matahari sebesar $809,4 \text{ W.m}^2$. *Solar Cell* yang di lengkapi variasi kecepatan yang sama dengan pengujian di hari ke 4 yaitu $0,78 \text{ m/s}$ menunjukkan meningkat nya hasil dari *Fill Factor* dari *Solar Cell* tersebut sebesar $0,70$. Sedangkan di hari yang sama *Solar Cell* yang di lengkapi variasi kecepatan $1,18 \text{ m/s}$ *Fill Factor* yang dihasilkan meningkat sebesar $0,72$.

Pada pengujian terakhir hari ke 5, dengan meningkat nya nilai rata-rata intensitas cahaya matahari secara signifikan yaitu sebesar $879,7 \text{ W/m}^2$. *Solar cell* yang dilengkapi variasi kecepatan aliran $1,18 \text{ m/s}$ *Fill Factor* yang dihasilkan meningkat secara signifikan sebesar $0,81$ dikarenakan pada saat pengujian cuaca sedang cerah. Sedangkan dihari dan intensitas cahaya matahari yang sama *Solar cell* yang tidak di lengkapi variasi kecepatan aliran nilai *Fill Factor* yang di hasilkan cenderung turun sangat jauh yaitu sebesar $0,57$.

Peningkatan dan penurunan nilai parameter *Fill Factor* (FF) disajikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada gambar 4.4 dibawah ini.



Gambar 4. 4 Fill Factor Pada Variasi Kecepatan Aliran *Water Cooling*

Dari gambar 4.4 diatas menunjukkan bahwa *fill factor* (FF) yang dihasilkan tiap masing-masing variasi kecepatan aliran *water cooling* telah mampu bekerja dengan baik dan optimal secara keseluruhan. Intensitas cahaya matahari sangat berpengaruh pada nilai parameter *fill factor* semakin tinggi intensitas sinar matahari pada *solar cell* dengan menggunakan variasi kecepatan aliran *water cooling* menunjukkan hasil yang sangat signifikan. Hal tersebut terjadi karena variasi kecepatan aliran *water cooling* bekerja dengan cara menurunkan temperatur permukaan *solar cell*. Peningkatan terhadap nilai parameter *fill factor* menggunakan variasi kecepatan aliran *water cooling* disebabkan keefekifan dalam meningkatkan kinerja pada *solar cell*, karena *fill factor* sangat berpengaruh terhadap tegangan dan arus yang dihasilkan, yang dimana disaat intensitas cahaya matahari berada pada titik tertinggi akan membuat arus meningkat tetapi akan membuat temperatur pada *solar cell* akan meningkat juga yang mengakibatkan tegangan akan berkurang. Seperti pada pengujian di hari ke 5 dimana dengan adanya variasi kecepatan aliran *water cooling* dapat menurunkan temperatur pada permukaan *solar cell*, maka tegangan dan arus yang dihasilkan akan meningkat, tidak akan mengalami penurunan demi penurunan yang akan membuat nilai grade untuk menentukan rentang FF pada *solar cell* menjadi berkurang.

4.5 Pengaruh Variasi kecepatan Aliran *Water Cooling* Terhadap Daya keluaran (*Pout*)

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa terdapat pengaruh penambahan variasi kecepatan aliran *water cooling* pada *solar cell* terhadap daya keluaran (*Pout*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai *Pout* terbesar yang dihasilkan oleh *solar cell* yaitu ada pada penambahan variasi kecepatan aliran *water cooling* pada *solar cell* pada hari ke 5, pengujian ke V dengan nilai *Pout* sebesar 7,21 watt, dan nilai terendah *Pout* dihasilkan oleh *solar cell* tanpa penambahan variasi kecepatan *water cooling* pada hari ke 1, dengan

nilai *Pout* sebesar 3,34 *watt*. Hasil dari semua pengujian tersebut dapat dilihat secara detail pada tabel 4.5 dibawah ini.

Tabel 4.5 Pengaruh Variasi Kecepatan Aliran Air Terhadap *Pout*

Hari	Variasi kecepatan Aliran air	<i>Pout</i>	Iradiasi
1	0	3,34	699,3
	Kecepatan 0,39 m/s	3,82	699,3
2	Kecepatan 0,39 m/s	4,02	703,0
	Kecepatan 0,52 m/s	4,27	703,0
3	Kecepatan 0,52 m/s	4,68	727,2
	Kecepatan 0,78 m/s	4,96	727,2
4	Kecepatan 0,78 m/s	5,66	809,4
	Kecepatan 1,18 m/s	6,09	809,4
5	Kecepatan 1,18 m/s	7,21	879,7
	0	4,57	879,7

Pada tabel 4.5 , untuk paramater kinerja *solar cell* yaitu daya keluaran (*Pout*) yang dihasilkan oleh *solar cell* mengalami perubahan yang cukup signifikan, Variasi kecepatan aliran *water cooling* ditambahkan mampu meningkatkan daya keluaran pada *solar cell*. Namun jika lihat secara keseluruhan intensitas cahaya matahari yang meningkat membuat parameter nilai daya keluaran ikut meningkat pula, Meskipun beberapa Variasi kecepatan aliran mampu bekerja dengan baik, daya keluaran yang dihasilkan mengalami peningkatan dibandingkan dengan *solar cell* tanpa menggunakan Variasi kecepatan aliran *water cooling*. Seperti pada pengujian di hari ke 1, dengan nilai

rata-rata intensitas cahaya matahari yaitu sebesar $699,3 \text{ W/m}^2$ daya keluaran (*Pout*) yang dihasilkan pada *solar cell* tanpa tambahan variasi kecepatan aliran *water cooling* yaitu sebesar $3,34 \text{ watt}$, sedangkan di hari dan intensitas cahaya matahari yang sama pengujian *solar cell* dengan tambahan variasi kecepatan $0,39 \text{ m/s}$ menghasilkan nilai yang lebih signifikan dari sebelumnya yaitu sebesar $3,82 \text{ watt}$, dengan adanya tambahan variasi kecepatan aliran *water cooling* dapat meningkatkan nilai daya keluaran pada *solar cell* (*Pout*)

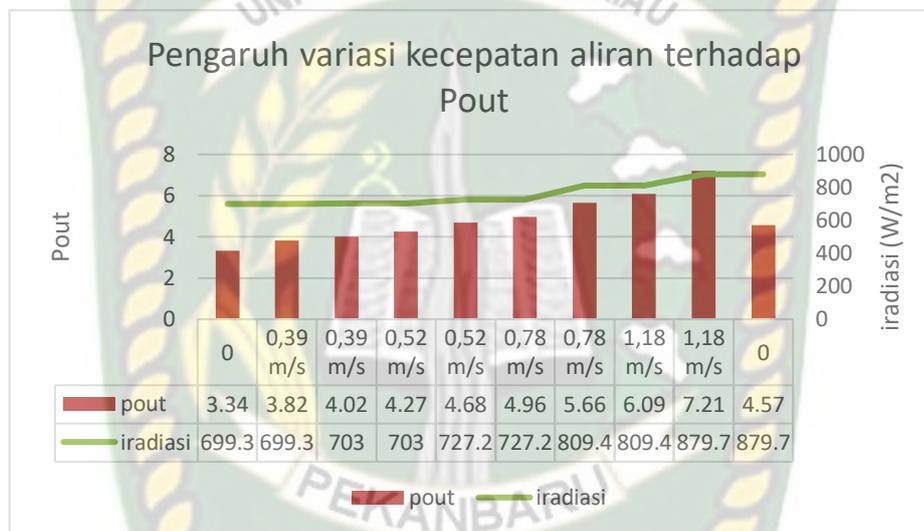
Pengujian hari ke 2, nilai rata-rata intensitas cahaya matahari meningkat dari hari sebelumnya yaitu sebesar $703,0 \text{ W/m}^2$, daya keluaran (*Pout*) yang dihasilkan *solar cell* dengan variasi yang sama pada pengujian hari ke 1 dengan kecepatan aliran $0,39 \text{ m/s}$ mengalami kenaikan yaitu sebesar $4,02 \text{ watt}$, sedangkan di hari dan intensitas cahaya matahari yang sama *solar cell* dengan penambahan variasi kecepatan aliran *water cooling* $0,52 \text{ m/s}$ menghasilkan nilai daya keluaran (*Pout*) sebesar $4,27 \text{ watt}$.

Pada pengujian di hari ke 3, kembali meningkatnya nilai rata-rata intensitas cahaya matahari yaitu sebesar $727,2 \text{ W/m}^2$. Daya keluaran (*Pout*) yang dihasilkan *solar cell* dengan variasi kecepatan aliran $0,52 \text{ m/s}$ mengalami kenaikan dari pengujian sebelumnya yaitu sebesar $4,68 \text{ watt}$, sedangkan di hari dan intensitas yang sama *solar cell* dengan penambahan variasi kecepatan aliran *water cooling* $0,78 \text{ m/s}$, menghasilkan nilai yang lebih signifikan yaitu sebesar $4,96 \text{ watt}$.

pengujian di hari ke 4, kembali meningkatnya nilai rata-rata intensitas cahaya matahari yaitu sebesar $809,4 \text{ W/m}^2$ daya keluaran (*Pout*) yang dihasilkan pada *solar cell* dengan variasi kecepatan aliran $0,78 \text{ m/s}$, mengalami kenaikan dari pengujian sebelumnya yaitu sebesar $5,66 \text{ watt}$, sedangkan di hari dan intensitas cahaya matahari yang sama pengujian *solar cell* dengan tambahan variasi $1,18 \text{ m/s}$ menghasilkan nilai yang lebih signifikan dari sebelumnya yaitu sebesar $6,09 \text{ watt}$, dengan adanya tambahan variasi kecepatan aliran *water cooling* dapat meningkatkan nilai daya keluaran pada *solar cell* (*Pout*)

pengujian di hari ke 5, kembali meningkatnya nilai rata-rata intensitas cahaya matahari yaitu sebesar $879,7 \text{ W/m}^2$ daya keluaran (*Pout*) yang dihasilkan

pada *solar cell* dengan variasi kecepatan aliran 1,18 m/s, mengalami kenaikan yang cukup signifikan dari pengujian sebelumnya yaitu sebesar 7,21 watt, sedangkan di hari dan intensitas cahaya matahari yang sama pengujian *solar cell* tanpa tambahan variasi kecepatan aliran *water cooling* cenderung menghasilkan nilai yang cukup cenderung lebih rendah dari pengujian sebelumnya yaitu sebesar 6,09 watt. Peningkatan dan penurunan nilai parameter daya keluaran (*Pout*) disajikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada gambar 4.5 dibawah ini.



Gambar 4. 5 Daya Keluaran (*Pout*) Pada Variasi Kecepatan Aliran *Water Cooling*

Dari gambar 4.5 diatas dapat diketahui bahwa semakin besar kecepatan aliran *water cooling* maka semakin besar daya keluaran yang dihasilkan. Terlihat bahwa ada hubungan antara kenaikan temperatur terhadap daya keluaran, yaitu daya keluaran berbanding terbalik terhadap temperatur karena apabila temperatur panel semakin tinggi maka daya keluaran dari *solar cell* semakin kecil begitupun sebaliknya bahwa semakin rendah temperatur panel maka semakin besar pula daya keluaran, hal itu karena daya keluaran sendiri hasil dari perkalian tegangan rangkaian terbuka (*Voc*), arus hubung singkat (*Isc*) dan *Fill Factor* (*FF*) dimana parameter daya keluaran ini adalah hasil keluaran dari beban lampu LED 5 Volt, kedua parameter ini cenderung *linier* terhadap peningkatan dan penurunan intensitas cahaya matahari dan berbanding terbalik pada kenaikan suhu. Hal

tersebut terjadi karena seiring dengan kenaikan intensitas cahaya matahari maka arus akan mengalami peningkatan secara signifikan. Arus (I_{sc}) cenderung berbanding lurus dengan intensitas matahari, apabila jumlah energi matahari yang diperoleh *solar cell* berkurang 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. 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 *solar cell* akan mengakibatkan nilai dari tegangan itu akan berkurang dan mengakibatkan nilai arus dan daya keluaran akan menjadi lemah.. Pendinginan yang dilakukan berfungsi untuk meningkatkan tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) pada *solar cell*, sehingga dengan adanya variasi kecepatan aliran *water cooling* akan menjaga suhu *solar cell* tetap stabil sehingga membuat nilai dari tegangan akan meningkat secara signifikan, sehingga meningkatkan kinerja dari daya keluaran. Nilai dari daya keluaran sama dengan nilai daya maksimum mengindikasikan bahwa *solar cell* 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 Variasi kecepatan Aliran *Water Cooling* Terhadap Efisiensi (η)

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa terdapat pengaruh penambahan variasi kecepatan aliran *water cooling* pada *solar cell* terhadap Efisiensi (η). Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai efisiensi terbesar yang dihasilkan oleh *solar cell* yaitu ada pada penambahan variasi kecepatan aliran *water cooling* pada *solar cell* pada hari ke 5, pengujian ke V dengan nilai P_{out} sebesar 7,21% dan nilai terendah dihasilkan oleh *solar cell* tanpa penambahan variasi kecepatan *water cooling* pada hari ke 1, dengan nilai P_{out} sebesar 4,98%. Hasil dari semua pengujian tersebut dapat dilihat secara detail pada tabel 4.6 dibawah ini.

Tabel 4.6 Pengaruh Variasi Kecepatan Aliran Air Terhadap Efisiensi

Hari	Variasi kecepatan Aliran air pada pendinginan	(η)	Iradiasi
1	0	4,98%	699,3
	Kecepatan 0,39 m/s	5,59%	699,3
2	Kecepatan 0,39 m/s	5,91%	703,0
	Kecepatan 0,52 m/s	6,30%	703,0
3	Kecepatan 0,52 m/s	6,61%	727,2
	Kecepatan 0,78 m/s	7,07%	727,2
4	Kecepatan 0,78 m/s	7,20%	809,4
	Kecepatan 1,18 m/s	7,80%	809,4
5	Kecepatan 1,18 m/s	8,53%	879,7
	0	5,40%	879,7

Pada tabel 4.5 , untuk paramater kinerja *solar cell* yaitu efisiensi (η) yang dihasilkan oleh *solar cell* mengalami perubahan yang cukup signifikan, Variasi kecepatan aliran *water cooling* ditambahkan mampu meningkatkan efisiensi pada *solar cell*. Namun jika lihat secara keseluruhan intensitas cahaya matahari yang meningkat membuat parameter nilai efisiensi ikut meningkat pula, Meskipun beberapa Variasi kecepatan aliran mampu bekerja dengan baik, Efisiensi yang dihasilkan mengalami peningkatan dibandingkan dengan *solar cell* tanpa menggunakan Variasi kecepatan aliran *water cooling*. Seperti pengujian ke 1 *solar cell* tanpa variasi kecepatan aliran *water cooling*, saat nilai rata-rata intensitas cahaya matahari berada di 699,3 W/m², efisiensi (η) yang di hasil kan *solar cell* adalah sebesar 4,98%, sedangkan di hari dan intensitas cahaya matahari yang

sama *solar cell* yang di lengkapi variasi kecepatan 0,39 m/s efisiensi yang dihasilkan meningkat dari sebelumnya yaitu sebesar 5,59%.

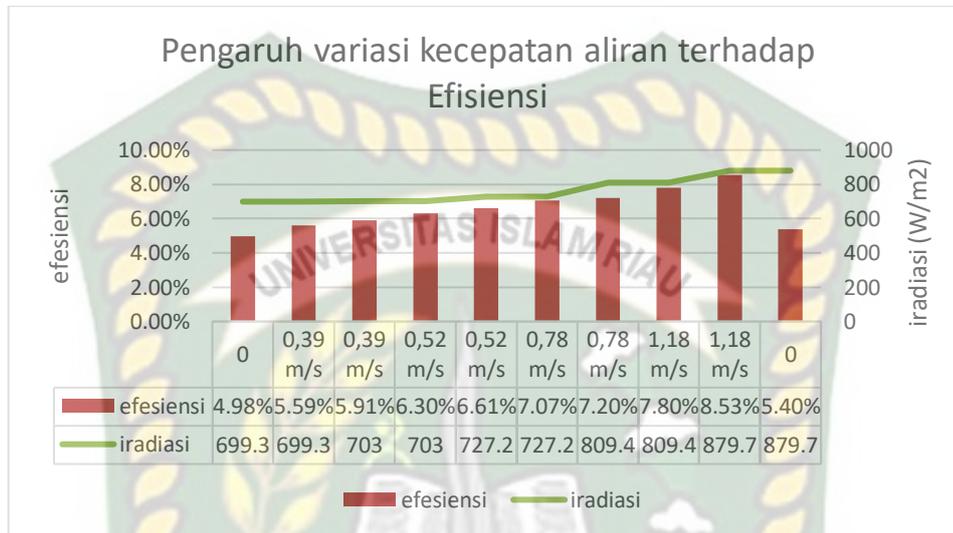
Pengujian hari ke 2, nilai rata-rata intensitas cahaya matahari meningkat dari hari sebelumnya yaitu sebesar 703,0W/m², efisiensi (η) yang dihasilkan *solar cell* dengan variasi yang sama pada pengujian hari ke 1 dengan kecepatan aliran 0,39 m/s mengalami kenaikan yaitu sebesar 5,91%, sedangkan di hari dan intensitas cahaya matahari yang sama *solar cell* dengan penambahan variasi kecepatan aliran *water cooling* 0,52 m/s menghasilkan nilai efisiensi (η) sebesar 6,30%.

Pada pengujian di hari ke 3, kembali meningkatnya nilai rata-rata intensitas cahaya matahari yaitu sebesar 727,2 W/m². Efisiensi (η) yang dihasilkan *solar cell* dengan variasi kecepatan aliran 0,52 m/s mengalami kenaikan dari pengujian sebelumnya yaitu sebesar 6,61%, sedangkan dihari dan intensitas yang sama *solar cell* dengan penambahan variasi kecepatan aliran *water cooling* 0,78 m/s, menghasilkan nilai yang lebih signifikan yaitu sebesar 7,07%.

pengujian di hari ke 4, kembali meningkatnya nilai rata-rata intensitas cahaya matahari yaitu sebesar 809,4 W/m² efisiensi (η) yang dihasilkan pada *solar cell* dengan variasi kecepatan aliran 0,78 m/s, mengalami kenaikan dari pengujian sebelumnya yaitu sebesar 7,20% , sedangkan di hari dan intensitas cahaya matahari yang sama pengujian *solar cell* dengan tambahan variasi 1,18 m/s menghasilkan nilai yang lebih signifikan dari sebelumnya yaitu sebesar 7,80%, dengan adanya tambahan variasi kecepatan aliran *water cooling* dapat meningkatkan nilai efisiensi (η) pada *solar cell*.

pengujian di hari ke 5, kembali meningkatnya nilai rata-rata intensitas cahaya matahari yaitu sebesar 879,7 W/m² efisiensi (η) yang dihasilkan pada *solar cell* dengan variasi kecepatan aliran 1,18 m/s, mengalami kenaikan yang cukup signifikan dari pengujian sebelumnya yaitu sebesar 8,53%, sedangkan di hari dan intensitas cahaya matahari yang sama pengujian *solar cell* tanpa tambahan variasi kecepatan aliran *water cooling* cenderung menghasilkan nilai yang cukup cenderung lebih rendah dari pengujian sebelumnya yaitu sebesar 5,40% .

Peningkatan dan penurunan nilai parameter efisiensi (η) disajikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada gambar 4.6 dibawah ini.



Gambar 4. 6 Efisiensi Pada Variasi Kecepatan Aliran *Water Cooling*

Dari gambar 4.6 diatas dapat diketahui bahwa semakin besar kecepatan aliran *water cooling* maka semakin besar Efisiensi yang dihasilkan. Dimana parameter ini merupakan hasil pembagian antara daya masuk pada *solar cell* dan daya keluaran yang dihasilkan oleh *solar cell* kemudian dikali dengan 100, dengan beban lampu LED sebesar 5 *watt* dimana kedua parameter ini adalah hasil keluaran dari beban berupa LED 5 *watt*, kedua parameter ini cenderung *linear* terhadap peningkatan dan penurunan temperatur dan tinggi nya intensitas sinar matahari Hal tersebut dapat terjadi karena, disebabkan tingginya intensitas sinar matahari yang diterima oleh *solar cell*, sehingga menyebabkan arus yang dihasilkan semakin besar, tetapi suhu permukaan *solar cell* menjadi meningkat, peningkatan suhu *solar cell* sangat berpengaruh kepada nilai parameter yang dihasilkan oleh *solar cell* khususnya tegangan, karena tegangan yang dihasilkan oleh *solar cell* berefek pada arus yang akan dihasilkan *Solar Cell*, maka dari itu dengan adanya tambahan variasi kecepatan aliran *Water Cooling* membuat

tegangan yang dihasilkan mengalami peningkatan dan arus yang dihasilkan meningkat pula sehingga berdampak pada kenaikan efisiensi.



Dokumen ini adalah Arsip Miik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan serangkaian pengujian, perhitungan dan analisa terhadap pengaruh variasi kecepatan aliran *Water Cooling*, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Pengujian pada unjuk kerja *Solar Cell* dan analisa dilakukan menunjukkan ada pengaruh variasi kecepatan aliran *Water Cooling* terhadap unjuk kerja *Solar Cell*. Dimana Semakin cepat aliran *Water Cooling* yang mengalir pada bagian bawah *Solar Cell* maka Unjuk kerja *Solar Cell* yang dihasilkan akan lebih bagus. Bisa dilihat dari hasil pengujian hari ke-1 sampai hari ke-5 bahwa penggunaan variasi kecepatan aliran *Water Cooling* dapat menghasilkan Unjuk kerja *Solar Cell* yang paling efektif.
2. Kinerja *Solar Cell* yang paling baik diperoleh pada variasi kecepatan aliran 1,18m/s di hari ke 5, dengan nilai efisiensi (η) sebesar 8,53%, nilai arus hubung singkat (I_{sc}) sebesar 0,47 ampere, nilai daya maksimum (P_{max}) sebesar 7,21 watt, nilai daya keluaran (P_{out}) sebesar 7,21 watt, nilai *Fill Factor* (FF) sebesar 0,81, nilai tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) sebesar 19,08 volt. Dengan itu dalam pengujian variasi kecepatan 1,18 m/s mendapatkan hasil kinerja *Solar Cell* yang paling bagus dari variasi kecepatan yang lain nya.

5.2 Saran

Analisa pengaruh variasi kecepatan aliran *Water Cooling* pada *Solar Cell* terhadap unjuk kerjanya ini memiliki kekurangan yaitu, pada pengujian jenis *solar cell* yang di gunakan yaitu jenis *polycrystalline*, jenis *solar cell* tersebut memiliki nilai efisiensi 13% hingga 16% dalam merubah sinar matahari menjadi energi listrik, sehingga kinerja nya lebih rendah bila dibandingkan dengan jenis *monocrystalline*. Untuk penelitian selanjutnya agar bisa menambahkan perancangan *Solar Cell* dengan menambahkan alat pendukung seperti lensa

fresnel pada *Solar Cell* agar cahaya matahari yang diterima tidak terpantul kembali keatas yang disebabkan oleh permukaan *Solar Cell*, lensa fresnel membuat cahaya matahari tetap berada didalam *Solar Cell* dan agar dapat menambahkan kinerja *Solar Cell* lebih baik lagi.



Dokumen ini adalah Arsip Miik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau

DAFTAR PUSTAKA

- Surya Insano. (2019). Pengaruh Variasi Sudut Kemiringan Panel Surya Tipe 195 Wp Dan 200wp Terhadap Kemampuan Daya Serap Panel Surya. *Teknik Mesin “ Universitas Islam Riau “*
- Pido, R., Himran, S., & Mahmuddin, M. (2019). Analisa Pengaruh Pendinginan Sel Surya Terhadap Daya Keluaran dan Efisiensi. *Teknik Mesin“ TEKNOLOGI,” 19(1 Okt).*
- Assiddiq, H., Himran, S. S., & Jalaluddin. (2018). Improved Efficiency Of Photovoltaic Cell With The Use Of Cooling. *Research Gate*, (May).
- YUWONO, B. (2005). *OPTIMALISASI PANEL SEL SURYA DENGAN MENGGUNAKAN SISTEM PELACAK BERBASIS MIKROKONTROLER AT89C51.*
- Yusuf, I., Studi, P., Elektro, T., Elektro, J., Teknik, F., & Tanjungpura, U. (2017). *Implementasi Water Cooler System Untuk Menurunkan Temperature Losses Pada Panel Surya. Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura*
- Tan Ali Al Yubi. (2017). *Laju Aliran Massa Dan Debit Aliran.* Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
- I h s a n. (2013). Peningkatan suhu modul dan daya keluaran panel surya dengan menggunakan reflektor.
- Mohammad Bagher, A. (2015). Types of Solar Cells and Application. *American Journal of Optics and Photonics*