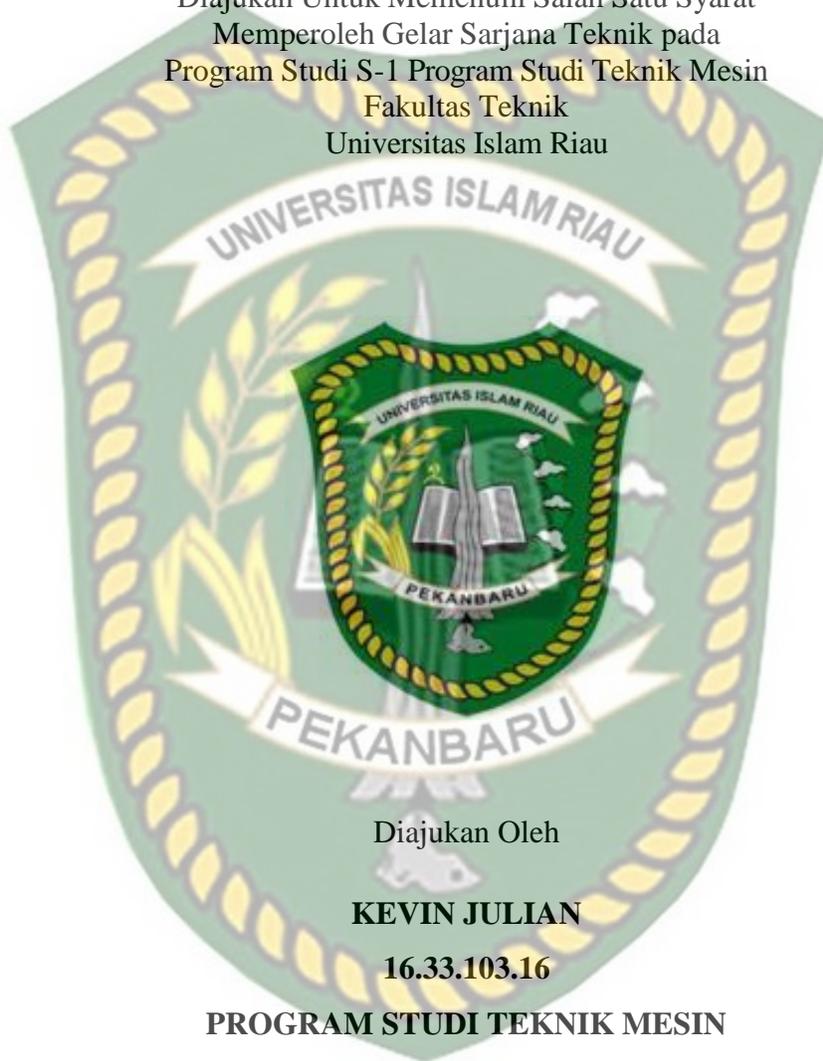


**PENGARUH VARIASI JUMLAH *COOLING FAN*
TERHADAP UNJUK KERJA *SOLAR CELL***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi S-1 Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik
Universitas Islam Riau



Diajukan Oleh

KEVIN JULIAN

16.33.103.16

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

UNIVERSITAS ISLAM RIAU

PEKANBARU

2022

HALAMAN PERSETUJUAN

TUGAS AKHIR

**PENGARUH VARIASI JUMLAH COOLING FAN TERHADAP
UNJUK KERJA SOLAR CELL**



Disusun Oleh :

KEVIN JULIAN

NPM : 163310316

Disetujui Oleh :

SEHAT ABDI SARAGIH, S.T., M.T
Dosen Pembimbing

Tanggal :

HALAMAN PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**PENGARUH VARIASI JUMLAH COOLING FAN TERHADAP
UNJUK KERJA SOLAR CELL**

UNIVERSITAS ISLAM RIAU

Disusun Oleh :

KEVIN JULIAN

NPM : 163310316

PEKANBARU

Disahkan Oleh :

MENGETAHUI

Ketua Prodi Teknik Mesin



JHONNI RAHMAN, B.Eng., M.Eng., PhD
NIDN. 1009038504

PEMBIMBING



SEHAT ABDI SARAGIH, S.T., M.T
NIDN. 1012107502

PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

NAMA : Kevin Julian

NPM : 163310316

PROGRAM STUDI : Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa penelitian yang saya lakukan untuk Tugas Akhir dengan judul "Pengaruh Variasi Jumlah Cooling Fan Terhadap Unjuk Kerja Solar Cell" yang diajukan guna melengkapi syarat untuk mendapatkan gelar sarjana Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Islam Riau adalah merupakan hasil penelitian dan karya ilmiah saya sendiri dengan bantuan dosen pembimbing dan bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari tugas akhir yang telah dipublikasikan atau pernah digunakan untuk mendapatkan gelar sarjana di Universitas Islam Riau (UIR) maupun Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali pada bagian sumber informasinya telah dicantumkan sebagaimana mestinya.

Apabila di kemudian hari ada yang merasa dirugikan dan atau menuntut karena penelitian ini menggunakan sebagian hasil tulisan atau karya orang lain tanpa mencantumkan nama penulis yang bersangkutan, atau terbukti karya ilmiah ini bukan karya saya sendiri atau plagiat hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Pekanbaru, 18 Januari 2022



Kevin Julian
163310316

RIWAYAT HIDUP



Nama Lengkap : Kevin Julian
NPM : 163310316
Tempat / Tanggal Lahir : Pekanbaru / 22 Juli 1998
Alamat : Jl.Merpati 2 no.6, kel.sidomulyo timur, kec.Marpoyan damai, Pekanbaru, Riau.
Email : kevinggs@student.uir.ac.id

Riwayat Pendidikan

- 1 SDN 005 Pekanbaru : Tahun 2004 - 2010
- 2 SMPN 32 Pekanbaru : Tahun 2010 - 2013
- 3 SMAN 7 Pekanbaru : Tahun 2013 - 2016
- 4 Universitas Islam Riau : Tahun 2016 - 2022

Riwayat Organisasi

- 2014 - 2016 : Kaderasi OSIS SMAN 7 Pekanbaru
2017 -2018 : Anggota HMM Universitas Islam Riau

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Puji syukur penulis ucapkan atas kehadiran Allah Subhanahu Wata'ala atas segala limpahan nikmat yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul “Pengaruh Variasi Jumlah *Cooling fan* Terhadap unjuk kerja *solar cell*”.

Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk memenuhi persyaratan akademis dalam rangka meraih gelar kesarjanaan di jurusan teknik mesin fakultas teknik universitas islam riau. Dalam menyelesaikan tugas akhir ini penulis banyak mendapatkan bantuan, bimbingan, dan petunjuk dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung.

Untuk itu dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar besarnya kepada :

1. Bapak Jhonni rahman, B.Eng., M.Eng., P.hD Selaku ketua program studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
2. Bapak Sehat Abdi Saragih, ST, MT. Selaku dosen pembimbing tugas akhir program studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
3. Bapak Eddy Elfiano, ST., M.Eng selaku penguji tugas akhir program studi Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau.
4. Bapak Rafil Arizona, ST., M.Eng selaku penguji tugas akhir program studi teknik mesin, fakultas teknik, Universitas Islam Riau.
5. Dosen-dosen di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau, atas ilmu dan dorongannya dalam menyelesaikan penulisan proposal tugas sarjana
6. Teman-teman Seperjuangan, yang telah memberikan bantuan dan dukungannya untuk menyelesaikan proposal tugas sarjana

TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih yang tiada tara untuk kedua orang tua saya. Untuk ayahanda Novis dan ibunda Susilawati yang telah menjadi orang tua terhebat dalam hidup saya, ayah dan ibu telah melalui banyak perjuangan dan rasa sakit. Tapi saya berjanji tidak akan membiarkan semua itu sia – sia. Saya ingin melakukan yang terbaik untuk setiap kepercayaan yang diberikan. Saya akan tumbuh, untuk menjadi yang terbaik yang saya bisa. Pencapaian ini adalah persembahan istimewa saya untuk ayah dan ibu yang selalu memberikan motivasi, nasehat, perhatian, kasih sayang, doa, batuan moril dan materil sehingga bisa menyelesaikan tugas akhir.

Untuk kakak dan adik saya, Risky ramadhan, cindy karina, dan nadien visila. terimakasih atas segala perhatian, kasih sayang, dan motivasi serta doanya. Terimakasih banyak telah menjadi bagian dari motivator yang luar biasa sehingga saya dapat menyelesaikan proposal tugas sarjana.

Pekanbaru, Januari 2022

Kevin Julian

PENGARUH VARIASI JUMLAH *COOLING FAN* TERHADAP UNJUK KERJA *SOLAR CELL*

Kevin Julian, Sehat Abdi Saragih
Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik,
Universitas Islam Riau, Jln. Kaharuddin Nasution no.133
perhentian marpoyan, Pekanbaru, Riau.
kevinggs@student.uir.ac.id

ABSTRAK

Panel surya jenis polycrystalline memiliki kelemahan dimana pada suhu lebih dari 25°C mengalami penurunan unjuk kerjanya, kota Pekanbaru memiliki suhu rata-rata 30°C yang mana lebih tinggi dari pada suhu optimal panel surya polycrystalline yang menyebabkan unjuk kerja panel surya menurun. Dalam penelitian ini dilakukan suatu upaya agar unjuk kerja panel surya dapat meningkat, upaya yang dilakukan adalah dengan penambahan *cooling fan* untuk menurunkan temperature pada panel surya. Penelitian ini bertujuan untuk mendapat pengaruh dari penambahan *cooling fan* yang paling baik untuk membantu unjuk kerja panel surya. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *cooling fan* yang bervariasi yaitu menggunakan 1 *cooling fan*, 2 *cooling fan*, 3 *cooling fan* dan 4 *cooling fan*. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa uji kinerja dan analisa yang dilakukan menunjukkan bahwa ada pengaruh terhadap penambahan *cooling fan* terhadap unjuk kerja panel surya yang paling baik didapat menggunakan Variasi 4 *cooling fan*, dimana mendapatkan tegangan arus terbuka (Voc) sebesar 17,94 V, *short-circuit current* (*Isc*) sebesar 0,55 A, daya maksimum (*Pmax*) sebesar 7,15 W, Fill factor (FF) sebesar 0,72, daya keluar (*Pout*) sebesar 7,15 W, dan efisiensi (η) sebesar 9,86%.

Kata kunci : panel surya, polycrystalline, *cooling fan*, temperatur

THE EFFECT OF VARIATIONS A LOTS COOLING FAN ON SOLAR CELL PERFORMANCE

Kevin Julian, Sehat Abdi Saragih
Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik,
Universitas Islam Riau, Jln. Kaharuddin Nasution no.133
perhentian marpoyan, Pekanbaru, Riau.
kevinggs@student.uir.ac.id

ABSTRACT

Polycrystalline solar panels have a weakness where at temperatures of more than 25°C their performance decreases, the city of Pekanbaru has an average temperature of 30°C which is higher than the optimal temperature of polycrystalline solar panels which causes the performance of solar panels to decrease. For this reason, it is necessary to make an effort so that the performance of the solar panel can increase, the effort made is by adding a cooling fan to reduce the temperature on the solar panel. This study aims to obtain the effect of adding the best cooling fan to help the performance of solar panels. This research was conducted using various cooling fans, namely using 1 cooling fan, 2 cooling fan, 3 cooling fan and 4 cooling fan. From the results of the study, it was found that the performance test and analysis carried out showed that there was an influence on the addition of a cooling fan to the performance of the solar panel, the best was obtained using Variation 4 cooling fan, which got an open current voltage (V_{oc}) of 17.94 V, short-circuit current (I_{sc}) of 0.55 A, maximum power (P_{max}) of 7.15 W, Fill factor (FF) of 0.72, output power (P_{out}) of 7.15 W, and efficiency (η) of 9,86%.

Keywords : *solar cell, polycrystalline, cooling fan, temperature*

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
ABSTRAK	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR NOTASI	x
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Sistem penulisan.....	3
BAB II LANDASAN TEORI	5
2.1 Energi Surya	5
2.1.1 Pemanfaatan energi surya berdasarkan jenis penggunaannya.	6
2.1.2 Kelebihan pembangkit listrik tenaga surya.	6
2.2 Radiasi Matahari.....	7
2.3 Sel Surya.....	8
2.3.1 Efek perubahan temperatur pada photovoltaic.....	13
2.3.2 Efek Perubahan Pancaran Iradiasi Matahari.	14
2.4 Prinsip Kerja Panel Surya.....	15
2.5 Karakteristik Sel Surya.....	20
2.6 Teknik Pendinginan Aktif dan Pasif pada Panel Surya.....	21
2.6.1 Teknik Pendinginan <i>cooling fan</i>	22
2.7 Parameter Unjuk Kerja Panel Surya.....	22
2.7.1. <i>Short-circuit current (Isc)</i>	22

2.7.2.	<i>Open-circuit voltage (Voc)</i>	23
2.7.3.	<i>Fill factor (FF)</i>	24
2.7.4.	Daya Maksimum (Pm)	24
2.7.5.	Daya Masuk (Pin)	25
2.7.6.	Daya keluar (Pout)	25
2.7.7.	Efisiensi Panel Surya (η).....	26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		27
3.1	Waktu Dan Tempat Penelitian	27
3.2	Diagram Alir Penelitian.....	27
3.3	Alat Dan Bahan	29
3.3.1	Alat.....	29
3.3.2	Bahan.....	32
3.4	Persiapan Pengujian	33
3.5	Prosedur Pengujian.....	33
3.6	Jadwal kegiatan penelitian.....	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		35
4.1	Pengaruh variasi jumlah cooling fan terhadap tegangan rangkaian terbuka (Voc).....	35
4.2	Pengaruh variasi jumlah cooling fan terhadap short-circuit current (Isc). ...	38
4.3	Pengaruh variasi jumlah <i>cooling fan</i> terhadap daya maksimum (Pmax). .	42
4.4	Pengaruh variasi jumlah <i>cooling fan</i> terhadap fill factor (FF).	45
4.5	Pengaruh variasi jumlah <i>cooling fan</i> terhadap daya keluar (Pout).....	47
4.6	Pengaruh variasi jumlah <i>cooling fan</i> terhadap efisiensi sel surya(η).....	50
BAB V PENUTUP.....		54
5.1	Kesimpulan.....	54
5.2	Saran	54

DAFTAR PUSTAKA vii

LAMPIRAN..... ix



Dokumen ini adalah Arsip Miik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Hubungan antara matahari dan bumi.....	7
Gambar 2. 2 Panel atau modul sel surya yang terbuat dari bahan semikonduktor.....	9
Gambar 2. 3 Proses pengubahan energi matahari menjadi energi listrik pada sel surya	10
Gambar 2. 4 Struktur pita sebuah semikonduktor	11
Gambar 2. 5 Tingkat energi yang dihasilkan oleh sambungan p-n semikonduktor	11
Gambar 2. 6 Kemampuan Photovoltaic pada beberapa Variasi Temperatur dengan Irradiance 1000 Watt/m ²	14
Gambar 2. 7 Pengaruh Iradiasi, E pada Karakteristik I-V dari Sel Surya	15
Gambar 2. 8 Struktur Kristal Silikon dan Konduktivitas Intrinsik.....	16
Gambar 2. 9 Konduksi Ekstrinsik pada Silikon n-doped dan p-doped	17
Gambar 2. 10 Pembentukan Daerah Muatan Ruang pada sambungan p-n melalui Difusi Elektron dan Lubang.....	18
Gambar 2. 11 Proses Pembangkit Energi Listrik pada Sebuah photovoltaic.	20
Gambar 3. 1 Gedung A Fakultas Teknik.....	27
Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian.....	28
Gambar 3. 3 Panel Surya polycrystalline 10 Wp.....	29
Gambar 3. 4 Data Logger	30
Gambar 3. 5 Cooling Fan	31
Gambar 3. 6 plat	31
Gambar 3. 7 pyranometer	32
Gambar 4. 1 grafik pengaruh variasi jumlah cooling fan terhadap tegangan rangkaian terbuka (Voc).....	37
Gambar 4. 2 grafik pengaruh variasi jumlah cooling fan terhadap I _{sc}	41
Gambar 4. 3 Grafik pengaruh variasi jumlah cooling fan terhadap P _{max}	44
Gambar 4. 4 Grafik pengaruh variasi jumlah cooling fan terhadap fill factor	47

Gambar 4. 5 Grafik pengaruh variasi jumlah cooling fan terhadap daya keluar
(Pout).....50

Gambar 4. 6 Grafik pengaruh variasi jumlah cooling fan terhadap efesiensi53



DAFTAR NOTASI

Pin	Daya Input Akibat Radiasi Matahari	W
Pout	Daya Maksimum Keluaran	Watt
Ir	Intensitas Radiasi Matahari	W/m ²
A	Luas Permukaan <i>Solar Cell</i>	m ²
Vmp	<i>Maximum Power Point Voltage</i>	Volt
Imp	<i>Maximum Power Point Current</i>	Ampere
Voc	Tegangan Rangkaian Terbuka Pada Panel Surya	Volt
Isc	Arus Hubung Singkat Panel Surya	Ampere
η	Efisiensi Panel Surya	
FF	Faktor Pengisi	
Pmax	Daya Maksimum	Watt
Vmax	Tegangan Maksimum	Volt
Imax	Arus Maksimum	Ampere
K	Kostanta Boltzman	1,30 x 10 ⁻¹⁶ erg
Q	Konstanta Muatan Elektron	1.062 x 10 ⁻¹⁹ C
T	Temperatur	K
Is	Arus Satu Rasi	A
G	Tingkat Generasi	
Ln	Panjang Difusi Elektron	
Lp	Panjang difusi <i>hole</i>	

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam beberapa tahun terakhir, pengembangan pembangkit listrik energi terbarukan secara luas gencar dianjurkan oleh banyak negara. Energy surya ialah salah satu produk yang dimanfaatkan menjadi energi terbarukan yang sangat diminati. Energy surya sendiri dapat menjadi sumber energi terbarukan yang potensial, karena dapat dilihat dari sumbernya yang memancarkan energi yang sangat besar dan waktunya yang lama. Dilihat dari letak geografisnya, Indonesia memiliki potensi energi surya yang berlimpah, karena indonesia berada tepat di garis khatulistiwa. Energi surya tidak bisa langsung digunakan, jadi harus dikonversikan dahulu ke dalam bentuk energy listrik menggunakan alat yang disebut panel surya. Energy surya bisa dikonversikan dengan menggunakan alat *Parabolic Trough Collectors* (Gakkhar et al.2016)

Panel surya yang dilengkapi dengan sel fotovoltaic bisa mengkonversikan radiasi matahari menjadi listrik yang bisa dimanfaatkan untuk peralatan yang menggunakan listrik. Tetapi, sepanjang pengeoprasian panel surya, kurang lebih 15% dari radiasi matahari dikonversikan menjadi energy listrik serta sisanya menjadi panas. Radiasi matahari adalah sekitar 1.000 W/m^2 (Katsuaki et al. 2012, Nwabueze et al.2011, Ugwuoke et al.2012). Namun nilai tersebut bisa berubah tergantung letak, waktu dan cuaca. Kinerja dan efesiensi *solar cell monocrystalline* dan *polycrystalline* turun drastis ketika temperatur meningkat (Biodun et al. 2017). efeknya efesiensi panel surya menurun ketika temperatur panel naik. Setiap peningkatan 1°C (dari 25°C) akan menyebabkan turunya sekitar 0,5% pada efesiensi kinerja yang dihasilkan. Temperatur udara yang tinggi bisa pengaruhi kinerja panel surya (Alamanda & Baskara, 2018).

Kota Pekanbaru memiliki rata-rata suhu udara pada siang hari di atas 35°C dibandingkan suhu optimal operasi panel surya sendiri adalah 25°C . Peningkatan temperatur udara juga dapat mengurangi tegangan *output* panel surya hingga $0,22\text{V}/^{\circ}\text{C}$ (Afriandi et al, 2017).

Adapun upaya pendinginan panel surya yang telah dilakukan dengan memanfaatkan udara sebagai media pendingin. (T.azuar rizal et al, 2014). 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 VARIASI JUMLAH *COOLING FAN* TERHADAP UNJUK KERJA *SOLAR CELL* " 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 variasi jumlah *cooling fan* terhadap unjuk kerja *solar cell*.
2. Pada variasi jumlah *cooling fan* manakah yang memiliki unjuk kerja *solar cell* yang paling baik.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penyusunan proposal tugas sarjana ini yaitu :

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi jumlah *cooling fan* terhadap unjuk kerja *solar cell*.

2. Untuk mendapatkan variasi jumlah *cooling fan* sebagai media pendingin yang memiliki unjuk kerja *solar cell* yang paling baik.

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. Penelitian dilakukan pada waktu titik puncak sinar matahari yaitu: mulai pukul 10;00 WIB.
3. Variasi jumlah *cooling fan* yaitu : 1 *cooling fan*, 2 *cooling fan*, 3 *cooling fan*, dan 4 *cooling fan*
4. Penelitian ini difokuskan untuk mendapatkan nilai unjuk kerja 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.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

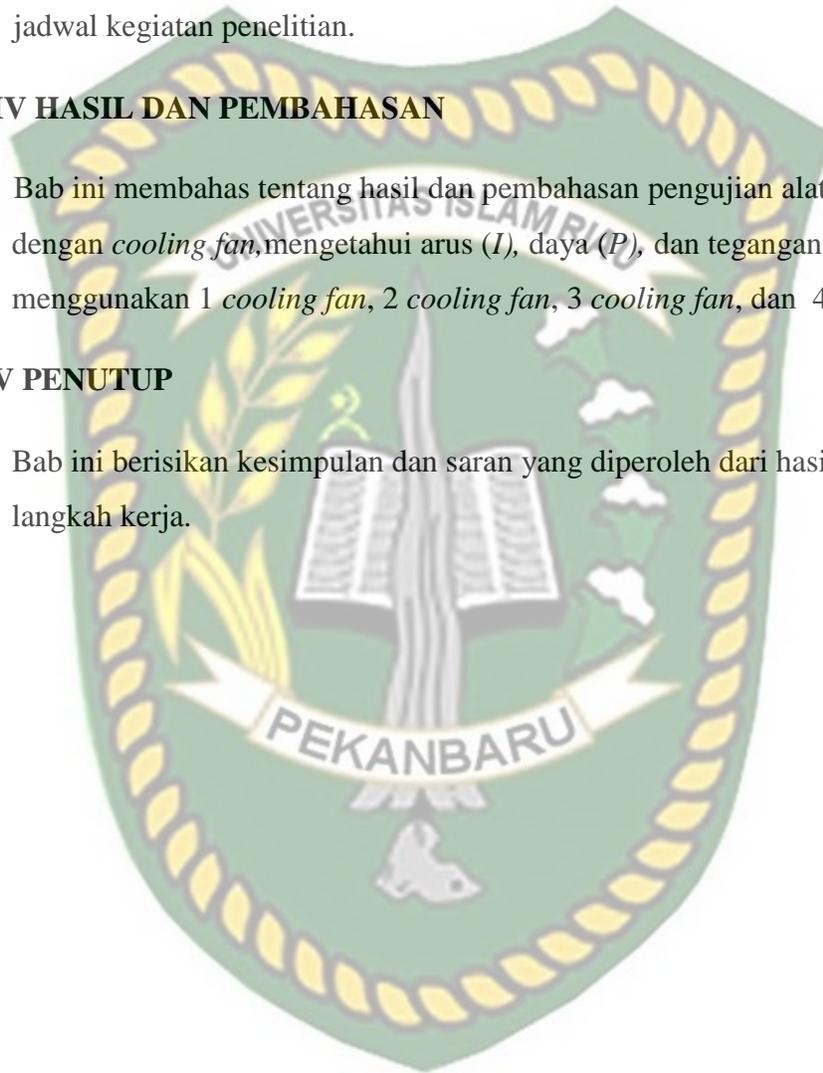
Bab ini menjelaskan tentang mengenai diagram alir penelitian, waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan, persiapan pengujian, prosedur pengujian, jadwal kegiatan penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas tentang hasil dan pembahasan pengujian alat *solar cell* dengan *cooling fan*, mengetahui arus (I), daya (P), dan tegangan (V) menggunakan 1 *cooling fan*, 2 *cooling fan*, 3 *cooling fan*, dan 4 *cooling fan*.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisikan kesimpulan dan saran yang diperoleh dari hasil analisa langkah kerja.



BAB II LANDASAN TEORI

2.1 Energi Surya

Energi surya adalah energi, berupa sinar dan panas, yang berasal dari matahari. Energi ini dapat dimanfaatkan dengan secara langsung atau pun diubah menjadi bentuk energi lain dengan menggunakan teknologi, sebelum akhirnya digunakan kembali.

Matahari adalah bola awan gas dengan suhu yang sangat panas. Diameter bola matahari adalah $1,39 \times 10^9$ km, sedangkan jauh rata-rata dengan bumi adalah $1,5 \times 10^{11}$ km. Matahari berputar pada porosnya dengan kecepatan sekali putar dalam 4 minggu. Karena matahari terdiri dari kumpulan awan panas dan tidak solid maka bagian ekuatorialnya berputar sekali dalam 27 hari sedangkan kutub-kutubnya berputar sekali dalam 30 hari. Suhu efektif pada permukaan besarnya 5760 K. sedangkan temperaturnya dapat mencapai lebih kurang 8×10^6 sampai dengan 40×10^6 K. (pudjana Astu, Djati Nursuhud. Mesin konversi energy, edisi pertama, penerbit C.V Andi Offset, Yogyakarta 2006.)

Pada dasarnya energi radiasi yang dipancarkan oleh sinar matahari mempunyai besaran yang tetap (konstan), tetapi karena peredaran bumi mengelilingi matahari dalam bentuk elips maka besaran konstanta matahari bervariasi antara 1308Watt/m^2 dan 1398Watt/m^2 . Dengan berpedoman pada luas penampang bumi yang menghadap matahari dan yang berputar sepanjang tahun, maka energi yang dapat diserap oleh bumi besarnya adalah $751 \times 10 \text{ kW/-jam}$.

Sinar matahari, atau energy surya, dapat diubah menjadi pemanas rumah, pencahayaan, pembangkit listrik, pemanas air dan berbagai proses industri. Energy surya dapat diubah menjadi energy listrik dengan menggunakan *solar cell*, memanaskan gedung dengan pompa panas, mengubah listrik dengan menggunakan menara surya, dan memanaskan makanan dengan oven surya.

Matahari tidak memberikan energy konstan untuk setiap sudut di bumi, sehingga penggunaannya terbatas. Sel surya sering digunakan untuk daya baterai, karena kebanyakan aplikasi dari tenaga surya hanya sebagai energy sekunder untuk mengantisipasi padamnya listrik. Adapun pemanfaatan dan kelebihan pembangkit listrik tenaga surya:

2.3.1 Pemanfaatan energi surya berdasarkan jenis penggunaannya.

Secara umum, ada 3 cara pemanfaatan energi surya berdasarkan jenis penggunaannya, yaitu :

1. Pemanfaatan sinar radiasi matahari dengan menggunakan teknologi sel surya fotovoltaik. Dimana sinar radiasi matahari diubah menjadi listrik dengan memanfaatkan teknologi sel surya fotovoltaik.
2. Pemanfaatan panas matahari dengan menggunakan teknologi pengumpulan panas. Dimana panas matahari diubah menjadi listrik dengan mengumpulkan panas matahari pada sebuah medium yang dipusatkan.
3. Pemanfaatan cahaya dari matahari secara langsung. Dimana energi matahari dimanfaatkan apa adanya, tanpa langsung mengkonversi energi tersebut menjadi listrik dalam penerapannya.

2.3.2 Kelebihan pembangkit listrik tenaga surya.

Ada banyak jenis pembangkit lain yang dapat dimanfaatkan, namun mengapa pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) lebih unggul? Hal ini karena :

1. PLTS selalu dapat digunakan selagi ada matahari dan minim polusi.
2. PLTS tidak tergantung pada pasokan energi karena PLTS selalu dapat menghasilkan energi listrik selama ada matahari. Jika malam maupun mendung, teknologi baterai dapat mendukung kehandalan sistem PLTS

3. PLTS lebih mudah digunakan karena hanya meletakkan panel surya, listrik sudah bisa langsung dinikmati.
4. PLTS hanya membutuhkan lokasi tanpa banyangan untuk memanen matahari.

2.2 Radiasi Matahari

Jarak eksentrisnya dari lintasan bumi adalah jarak antara matahari dan bumi dengan variasi 1,7%. Dari hasil pengukuran astronomi didapat jarak rata-rata bumi matahari adalah $1,495 \times 10^{11}$ m dengan sudut kecenderungan matahari 32° . Radiasi yang diemisikan oleh matahari dan ruang angkasa yang berhubungan dengannya ke bumi menghasilkan intensitas radiasi matahari yang hampir konstan di luar atmosfer bumi. Konstanta matahari (G_{sc}) adalah energi dari matahari per unit waktu yang diterima pada satu unit luasan permukaan yang tegak lurus arah radiasi matahari pada jarak rata-rata matahari-bumi di luar atmosfer.



Gambar 2.1 Hubungan antara matahari dan bumi.

Sumber : (Darmanto, 2011)

Selain itu, ada juga yang disebut dengan konstanta radiasi ekstraterrestrial (G_{on}) yaitu radiasi di luar atmosfer bumi yang diukur pada bidang normal terhadap radiasi

pada hari ke-n pada satu tahun, hal ini dikarenakan orbit bumi sebenarnya berbentuk elips sehingga perlu sedikit koreksi terhadap konstanta matahari di atas. Jadi sebenarnya ada dua penyebab adanya variasi radiasi ekstraterrestrial yaitu variasi radiasi yang diemisikan matahari dan variasi jarak matahari-bumi.

2.3 Sel Surya

Sel surya merupakan alat konversi energi yang dapat merubah intensitas cahaya matahari menjadi elektron yang bergerak atau yang disebut dengan arus listrik. Panel surya, terdiri dari silikon, silikon mengubah intensitas sinar matahari menjadi energi listrik, saat intensitas cahaya berkurang (berawan, hujan, mendung) energi listrik yang dihasilkan juga akan berkurang. Dengan menambah s panel surya (memperluas) berarti menambah konversi tenaga surya. (Zawahar & Sudrajad, 2014).

Teknologi sel surya mampu menghasilkan daya maksimal sebesar 1000 watt/m² pada kondisi cuaca cerah disiang hari, hal ini dikarenakan pada saat itu intensitas cahaya matahari yang sampai ke permukaan bumi saat tengah hari adalah paling besar nilainya. Apabila piranti semikonduktor dengan luasan satu m² memiliki efisiensi 12%, maka daya yang dibangkitkan oleh modul sel surya sebesar 120 Watt. Modul sel surya yang ada dipasaran memiliki efisiensi sekitar 4% hingga 16%, perbedaan nilai efisiensi sangat tergantung dari bahan modul sel surya tersebut. Modul sel surya yang terbuat dari Silicon Cristal memiliki efisiensi yang paling tinggi jika dibandingkan dengan material lain, akan tetapi dana untuk pembuatan modul tersebut paling mahal. Hal tersebut merupakan masalah tersendiri dalam hal implementasi modul sel surya secara massal. Perbandingan antara energi listrik yang dihasilkan dengan energi cahaya yang diterima dari pancaran sinar matahari oleh modul sel surya disebut dengan efisiensi. Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) menjelaskan bahwa efiseinsi konversi juga dipengaruhi oleh besarnya sinar matahari yang mampu dikonversi menjadi energi listrik. (Asy'ari, 2014)

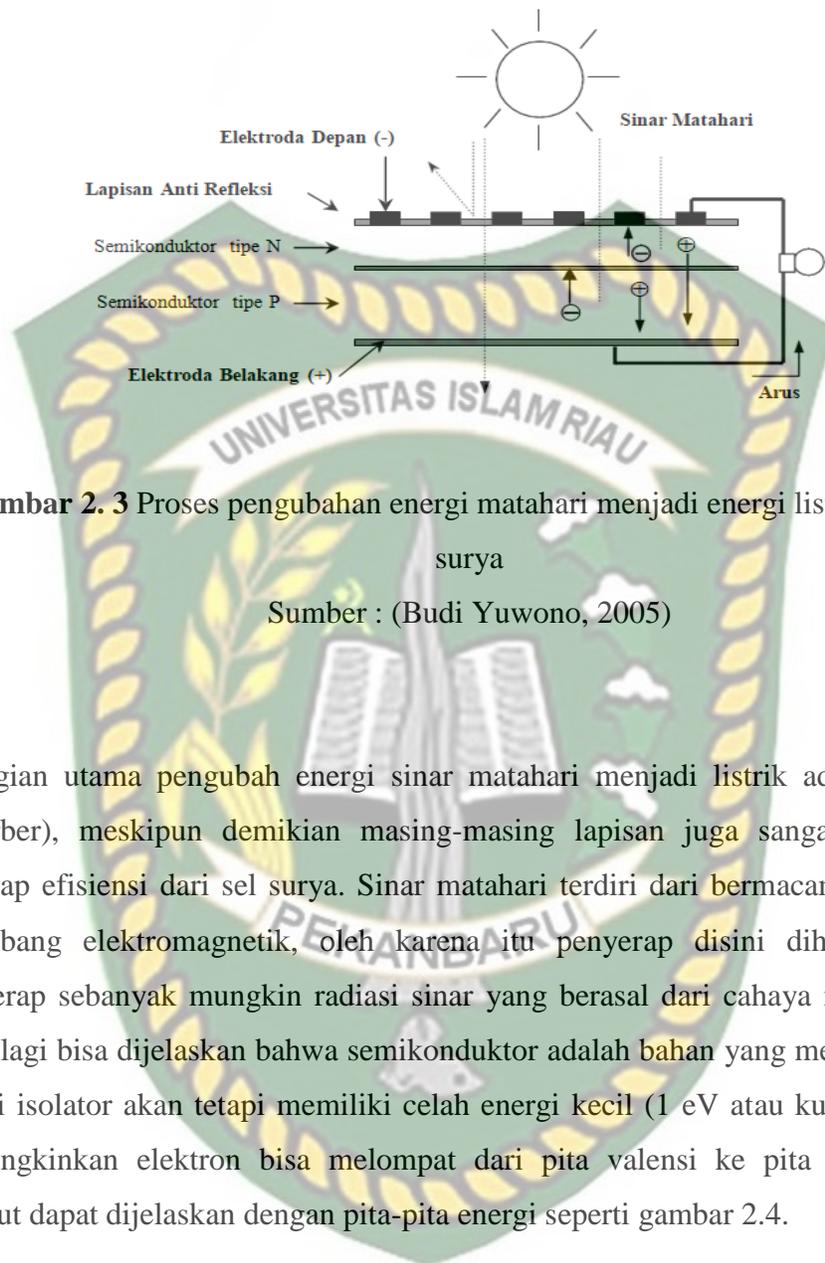


Gambar 2. 2 Panel atau modul sel surya yang terbuat dari bahan semikonduktor

Sumber : (Hasan,2012)

Tegangan yang dihasilkan setiap sel pada sebuah modul sel surya sekitar 0,5 Volt pada 2 A, pada kondisi kekuatan radiasi sinar matahari mencapai $1000 \text{ W/m}^2 = \text{”1 Sun”}$ arus listrik (I) yang akan dihasilkan sekitar 30 mA/cm^2 /sel pada modul sel surya. (Asy'ari, 2014).

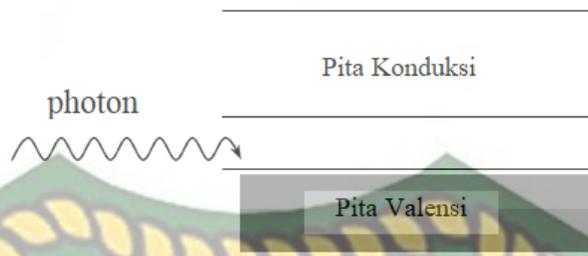
Secara sederhana sel surya terdiri dari persambungan bahan semikonduktor bertipe p dan n (p-n junction semiconductor) yang jika terkena sinar matahari maka akan terjadi aliran elektron, aliran elektron inilah yang disebut sebagai aliran arus listrik. Proses pengubahan energi matahari menjadi energi listrik ditunjukkan dalam gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Proses pengubahan energi matahari menjadi energi listrik pada sel surya

Sumber : (Budi Yuwono, 2005)

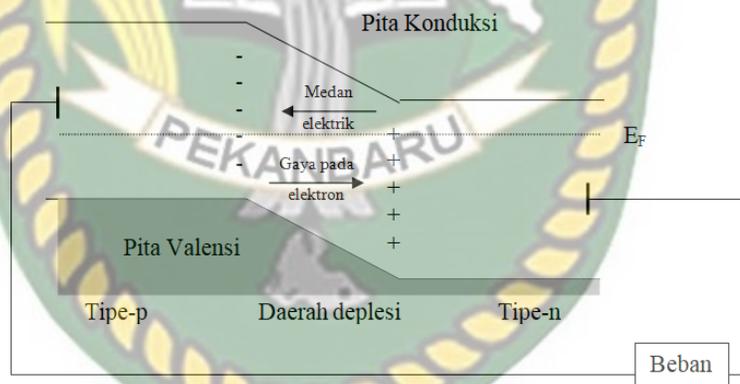
Bagian utama pengubah energi sinar matahari menjadi listrik adalah penyerap (absorber), meskipun demikian masing-masing lapisan juga sangat berpengaruh terhadap efisiensi dari sel surya. Sinar matahari terdiri dari bermacam-macam jenis gelombang elektromagnetik, oleh karena itu penyerap disini diharapkan 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 2.4.



Gambar 2. 4 Struktur pita sebuah semikonduktor

Sumber : (Budi Yuwono, 2005)

Elektron dari pita konduksi dapat meloncat ke pita valensi ketika sambungan tersebut dikenai photon dengan energi tertentu. Tingkat energi yang dihasilkan diperlihatkan pada gambar 2.4.



Gambar 2. 5 Tingkat energi yang dihasilkan oleh sambungan p-n semikonduktor

Sumber : (Budi Yuwono, 2005)

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 2.2, dan hanya foton dengan tingkat energi tertentu yang akan membebaskan elektron dari ikatan atomnya, sehingga mengalirlah 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_2 yang dikenal merupakan salah satu dari direct semiconductor (Rusminto, 2003).

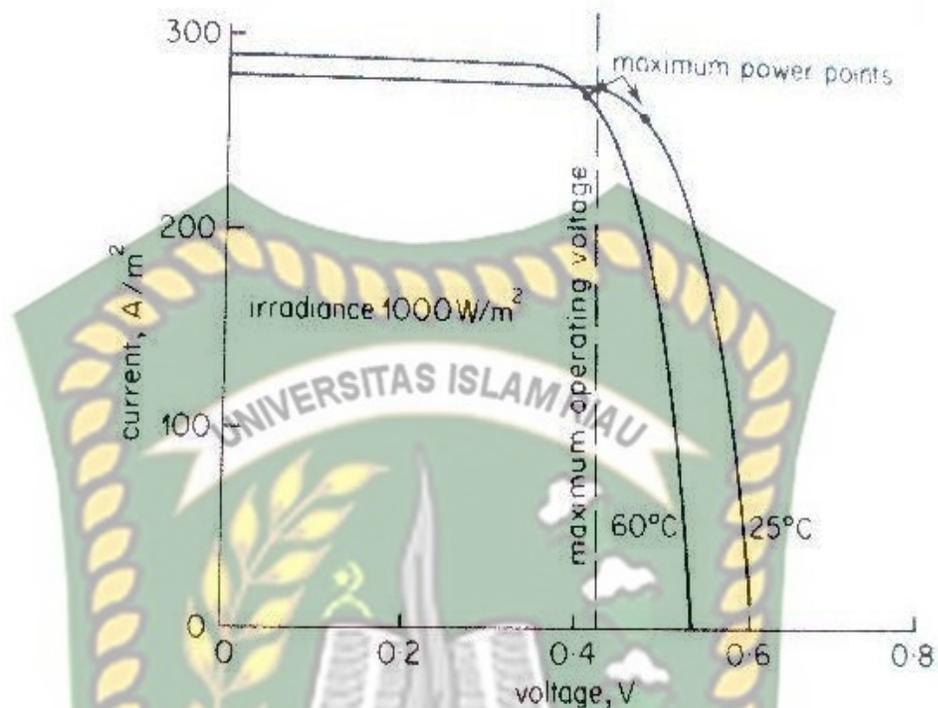
Untuk mendapatkan keluaran yang besar maka perlu penggabungan dari beberapa sel surya yang disebut dengan modul sel surya. Pada modul, sel surya dihubungkan secara seri atau parallel untuk menghasilkan tegangan, arus, atau daya yang tinggi. Permukaan modul ditutup dengan kaca atau materi transparan lain untuk proteksi terhadap lingkungan (Budi wuyono, 2005).

2.3.1 Efek perubahan temperatur pada photovoltaic.

Temperatur juga mempengaruhi kinerja sel dan efisiensi. Jika sel mendapat lebih dingin, maka menghasilkan lebih daya. Hubungannya bervariasi untuk produk- produk yang berbeda. Pada umumnya, ketika penyinaran pada sel adalah 1 kw/m^2 , temperatur sel kira-kira 30°C lebih tinggi dari udara sekitar.

Tegangan yang dihasilkan dari sel surya bergantung dari temperatur sel surya, makin besar temperatur sel surya, tegangan berkurang sekitar $0,0023 \text{ Volt}^{\circ}\text{C}$ untuk teknologi silikon *crystalline* atau sekitar $0,0028 \text{ Volt}^{\circ}\text{C}$ untuk teknologi film tipis. Daya listrik juga mengalami penurunan sampai $0,5\%^{\circ}\text{C}$ untuk teknologi silikon *crystalline* atau sekitar $0,3\%^{\circ}\text{C}$ untuk teknologi film tipis. Sementara tegangan mengalami penurunan, sebaliknya arus listrik menunjukkan peningkatan dengan adanya penambahan temperatur. Karakteristik perubahan temperatur pada sel surya diperlihatkan pada gambar 2.6 di bawah ini :



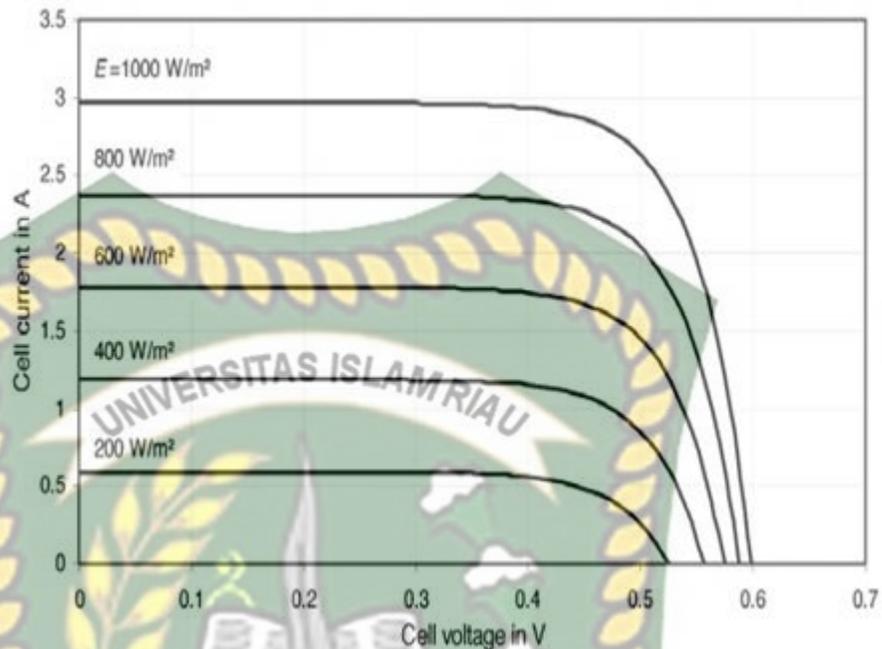


Gambar 2. 6 Kemampuan Photovoltaic pada beberapa Variasi Temperatur dengan Irradiance 1000 Watt/m²

sumber : (Darmanto,2011)

2.3.2 Efek Perubahan Pancaran Iradiasi Matahari.

Apabila jumlah energi cahaya matahari yang diperoleh sel surya berkurang atau intensitas cahayanya melemah, maka besar tegangan dan arus listrik yang dihasilkan juga akan menurun. Penurunan tegangan relatif lebih kecil dibandingkan penurunan arus listriknya , Gambar 2.7 di bawah ini menunjukkan pengaruh dari iradiasi pada karakteristik I-V dari sel surya.

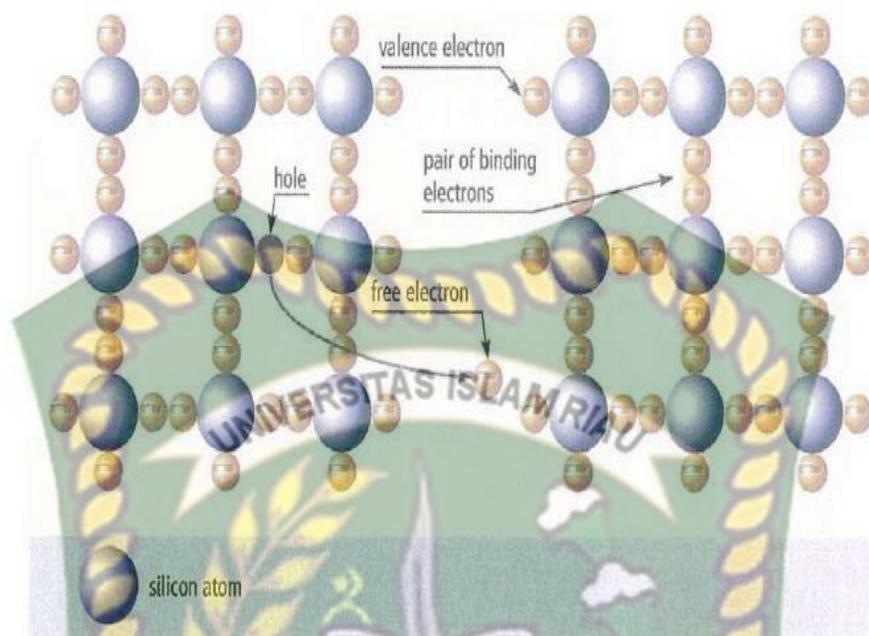


Gambar 2. 7 Pengaruh Iradiasi, E pada Karakteristik I-V dari Sel Surya

Sumber : (Darmanto,2011)

2.4 Prinsip Kerja Panel Surya

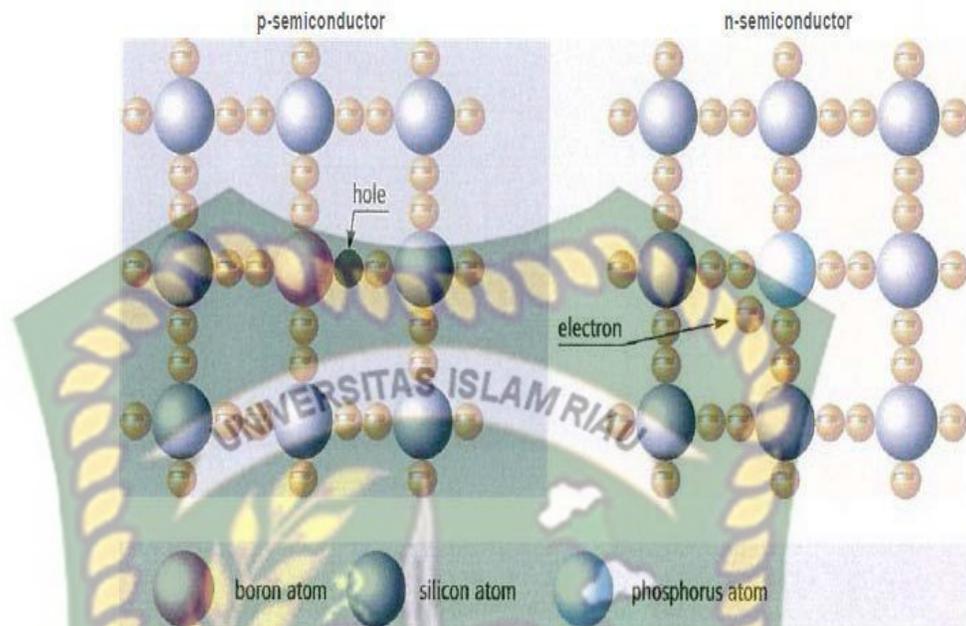
Silikon kemurnian tinggi dengan kualitas kristal yang tinggi pula, diperlukan untuk membuat sel surya. Atom-atom silikon tersebut membentuk suatu kisi kristal yang stabil. Tiap atom silikon memiliki empat ikatan elektron (elektron valensi) di kulit terluarnya. Untuk membentuk konfigurasi elektron yang stabil di dalam kisi kristal, dua elektron dengan atom yang saling berdekatan membentuk suatu ikatan pasangan elektron. Dengan membentuk ikatan pasangan elektron dengan empat atom yang berdekatan, silikon mencapai konfigurasi gas mulia yang stabil dengan delapan elektron di kulit terluarnya. Suatu ikatan elektron bisa dipisahkan dengan pemberian cahaya atau panas. Elektron tersebut kemudian bebas bergerak dan menuju suatu rongga di dalam kisi kristalnya yang dikenal sebagai konduktivitas intrinsik.



Gambar 2. 8 Struktur Kristal Silikon dan Konduktivitas Intrinsik

Sumber (Darmanto, 2011)

Konduktivitas intrinsik tidak bisa digunakan dulu untuk menghasilkan listrik. Maka material silikon dapat digunakan untuk menghasilkan energi, pengotornya dengan bebas masuk ke dalam kisi kristal. Hal ini disebut sebagai atom doping (*doping atoms*), lihat (Gambar 2.8). Atom-atom ini memiliki satu elektron lebih banyak (fosfor) dan satu elektron lebih sedikit (boron) daripada silikon di kulit elektron terluarnya. Sehingga, *doping atoms* menghasilkan atom pengotor (*impurity atom*) di dalam kisi Kristal.



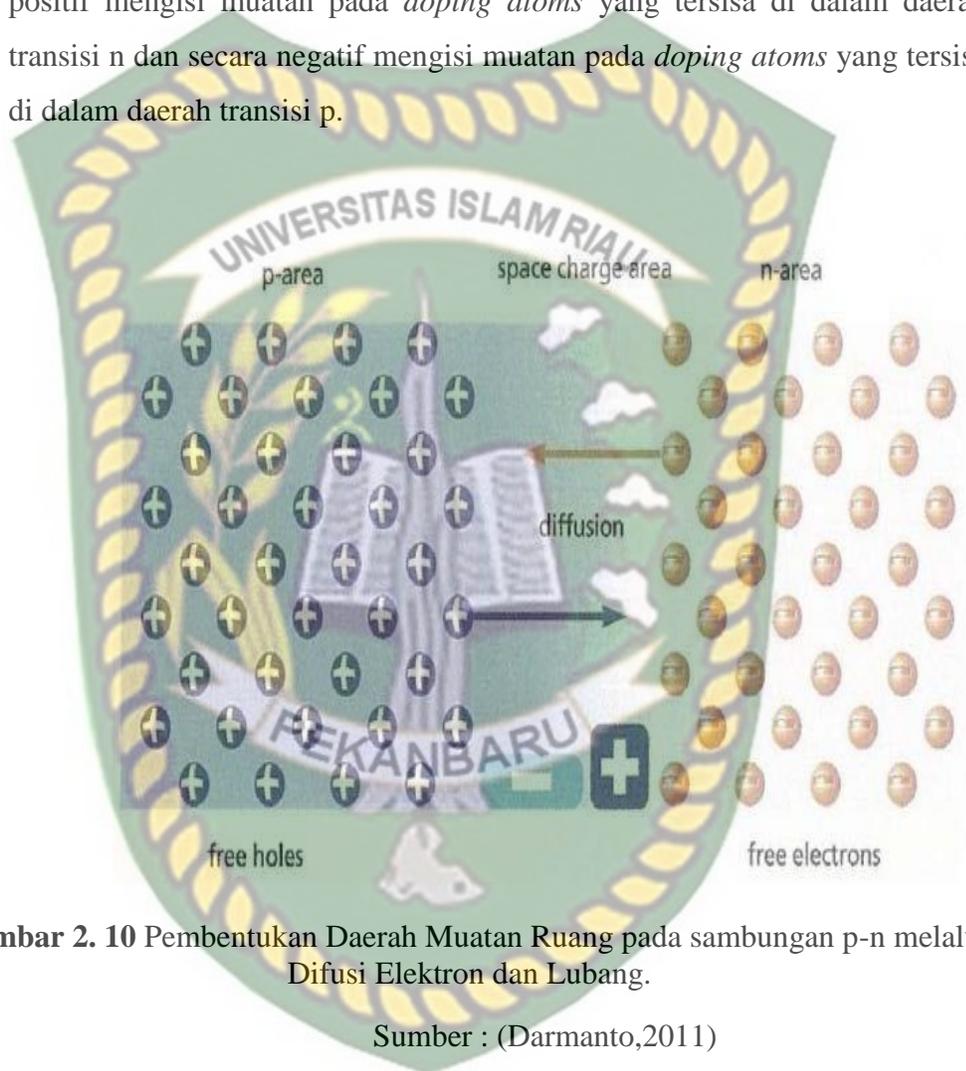
Gambar 2. 9 Konduksi Ekstrinsik pada Silikon n-doped dan p-doped

Sumber : (Darmanto, 2011)

Pada fosfor *doping* (*phosphorus doping, n-doped*), terdapat kelebihan elektron untuk setiap atom fosfor di dalam kisi. Elektron ini dapat bergerak bebas di dalam kristal dan dapat membawa muatan listrik. Pada *boron doping* (*p-doped*), terdapat suatu rongga (ikatan elektron yang hilang) untuk setiap atom boron pada kisi. Elektron- elektron dari atom silikon yang berdekatan dapat mengisi rongga ini, membentuk sebuah rongga baru di tempat lain. Metode konduksi yang berdasarkan pada *doping atoms* ini dinamakan konduksi pengotor (*impurity conduction*) atau konduksi ekstrinsik. Pada material *n-doped* atau *p-doped*, muatan-muatan bebas tidak memiliki arah yang ditentukan untuk pergerakannya.

Jika lapisan semikonduktor n dan p-doped secara bersamaan, akan membentuk suatu sambungan positif negatif (*p-n junction*). Pada sambungan ini, kelebihan elektron dari semikonduktor n terdifusi ke dalam lapisan

semikonduktor p. Hal ini akan membentuk sebuah daerah (*region*) dengan sedikit pembawa (*carrier*) muatan bebas (lihat Gambar 2.9). Daerah ini dikenal sebagai daerah muatan ruang (*space charge region*) yang secara positif mengisi muatan pada *doping atoms* yang tersisa di dalam daerah transisi n dan secara negatif mengisi muatan pada *doping atoms* yang tersisa di dalam daerah transisi p.



Gambar 2. 10 Pembentukan Daerah Muatan Ruang pada sambungan p-n melalui Difusi Elektron dan Lubang.

Sumber : (Darmanto,2011)

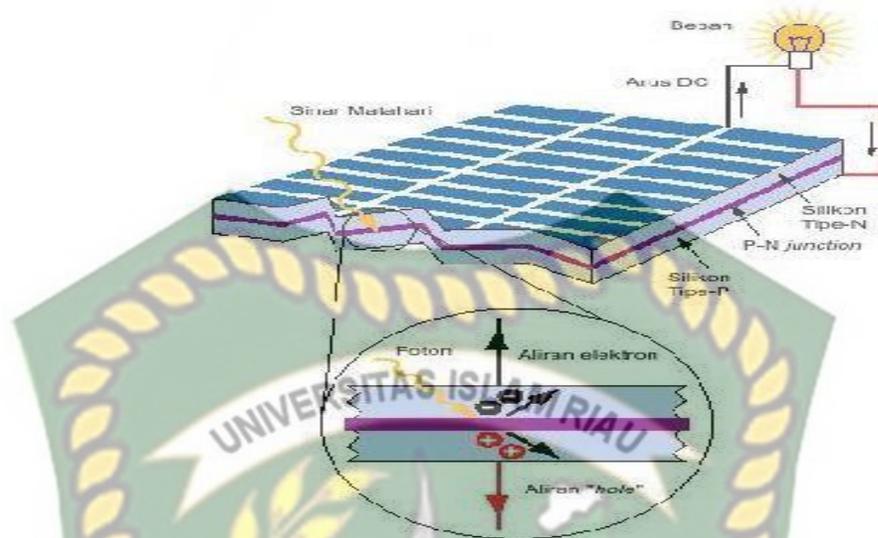
Jika semikonduktor p-n (sel surya) sekarang diarahkan menghadap cahaya, maka foton akan diserap oleh elektron. Energi masukan ini akan memecah ikatan elektron. Elektron yang terlepas akan tertarik melewati

medan listrik, menjadi daerah n (*n-region*). Rongga yang terbentuk akan berpindah ke arah berlawanan menjadi daerah p.

Proses ini secara keseluruhan disebut sebagai efek *photovoltaic*. Difusi pembawa muatan ke hubungan listrik akan menyebabkan timbulnya tegangan yang ada pada sel surya. Pada keadaan tak berbeban timbul tegangan rangkaian terbuka (*open circuit voltage*) pada sel surya. Jika rangkaian listriknya ditutup, arus akan mengalir.

Jika lapisan P dan lapisan N dihubungkan dengan beban, maka akan mengalir arus dari lapisan N menuju lapisan P (untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar (2.10)).

Beberapa elektron tidak mampu mencapai kontak dan akan menyatu ulang (*recombine*) pada ikatan elektron bebas dengan atom yang kekurangan elektron terluar (rongga). Panjang difusi dalam hal ini adalah jarak rata-rata elektron pada kisi kristalnya selama waktu hidupnya hingga menyatu dengan atom yang kehilangan elektron serta terikat dengannya. Panjang difusi tergantung pada jumlah atom pengotornya didalam kristal dan harus cukup besar sehingga cukup untuk sejumlah pembawa muatan mencapai kontak dengan Panjang difusi tergantung pada materialnya. Pada satu atom pengotor kristal (*doping*) ke 10 milyar atom silicon jaraknya 0,5 mm.



Gambar 2. 11 Proses Pembangkit Energi Listrik pada Sebuah photovoltaic.

Sumber : (Darmanto, 2011)

2.5 Karakteristik Sel Surya

Kapasitas daya dari sel atau modul surya dilambangkan dalam *watt peak* (Wp) dan diukur berdasarkan standar pengujian Internasional yaitu *Standard Test Condition* (STC). Standar ini mengacu pada intensitas radiasi sinar matahari sebesar 1000W/m^2 yang tegak lurus sel surya pada suhu 25°C . Modul *photovoltaic* memiliki hubungan antara arus dan tegangan. Pada saat tahanan variabel bernilai tak terhingga (*open circuit*) maka arus bernilai minimum (nol) dan tegangan pada sel berada pada nilai maksimum, yang dikenal sebagai tegangan *open circuit* (Voc). Pada keadaan yang lain, ketika tahanan variable bernilai nol (short circuit) maka arus bernilai maksimum, yang dikenal sebagai arus *short circuit* (Isc). Jika tahanan variabel memiliki nilai yang bervariasi antara nol dan tak terhingga maka arus (I) dan tegangan (V) akan diperoleh nilai yang bervariasi.

2.6 Teknik Pendinginan Aktif dan Pasif pada Panel 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. Mendinginkan bagian bawah panel dengan mencelupkan bagian bawah panel ke dalam air (Sunarno A.R, 2019).

2.6.1 Teknik Pendinginan *cooling fan*.

Pendinginan menggunakan media udara dapat dilakukan menggunakan *cooling fan* dengan cara mengalirkan udara dibagian permukaan bawah panel surya, saat udara melewati permukaan bawah *solar cell* panas di pindahkan ke udara sekitar. maka dengan otomatis temperature panel surya akan turun. efisiensi listrik maksimum panel PV dengan menggunakan variasi kecepatan udara melalui saluran udara segitiga mencapai 13,8% dan menggunakan saluran udara setengah lingkaran efisiensi maksimum mencapai 12,2% (T.Azuar rizal et al, 2016).

2.7 Parameter 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 (η).

2.7.1. *Short-circuit current (I_{sc})*

Short circuit current adalah arus yang mengalir melalui sirkuit eksternal ketika elektroda sel surya dihubung pendek. Arus hubung singkat sel surya

tergantung pada insiden kerapatan foton-fluks pada sel surya, yang ditentukan oleh spektrum cahaya datang.

Arus hubung singkat (Short circuit current (I_{sc}) merupakan arus yang melalui sel surya saat tegangan pada sel surya sama dengan nol ($V_{oc}=0$).

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

Keterangan :

G = Tingkat generasi

L_n = Panjang difusi elektron

L_p = Panjang difusi *hole*

2.7.2. *Open-circuit voltage (Voc)*

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 ($I_{sc}=0$).

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

Keterangan :

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

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

T = Temperatur dalam kelvin (K)

I_s = Arus Saturasi (A)

2.7.3. 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

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

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)

2.7.4. Daya Maksimum (Pm)

Daya maksimum (P_m) diperoleh dari perkalian antara arus dan tegangan, pada setiap titik A kurva I-V. Secara grafik daya maksimum pada sel surya berada pada puncak yang memiliki luas terbesar. Titik puncak tersebut dapat disebut maximum power point (MPP).

Daya maksimum dari sel surya dapat dihitung dengan Persamaan (4):

$$P_m = V_m \cdot I_m \dots\dots\dots (2.4)$$

Dengan :

P_m = Daya maksimum keluaran (W)

V_m = Tegangan maksimum (Volt)

I_m = Arus maksimum (Ampere)

2.7.5. Daya Masuk (P_{in})

Daya masuk (P_{in}) diperoleh dari perkalian antara intensitas radiasi matahari yang diterima dengan luas area sel surya menggunakan Persamaan (5).

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

Dengan:

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

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

A = Luas area permukaan sel surya (m^2)

2.7.6. Daya keluar (P_{out})

Daya keluaran (P_{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 (6).

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

Dengan:

P_{out} = Daya keluaran (W)

V_{oc} = Tegangan rangkaian terbuka (Volt)

I_{sc} = Arus hubung singkat (Ampere)

FF = Faktor pengisi

2.7.7. Efisiensi Panel Surya (η)

Efisiensi sel surya (η) adalah perbandingan daya keluaran dengan daya intensitas matahari dapat dihitung dengan Persamaan (7).

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

Dengan:

η = Efisiensi sel surya (%)

P_{in} = Daya intensitas matahari (Watt)

P_m = Daya maksimum keluaran (Watt)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian

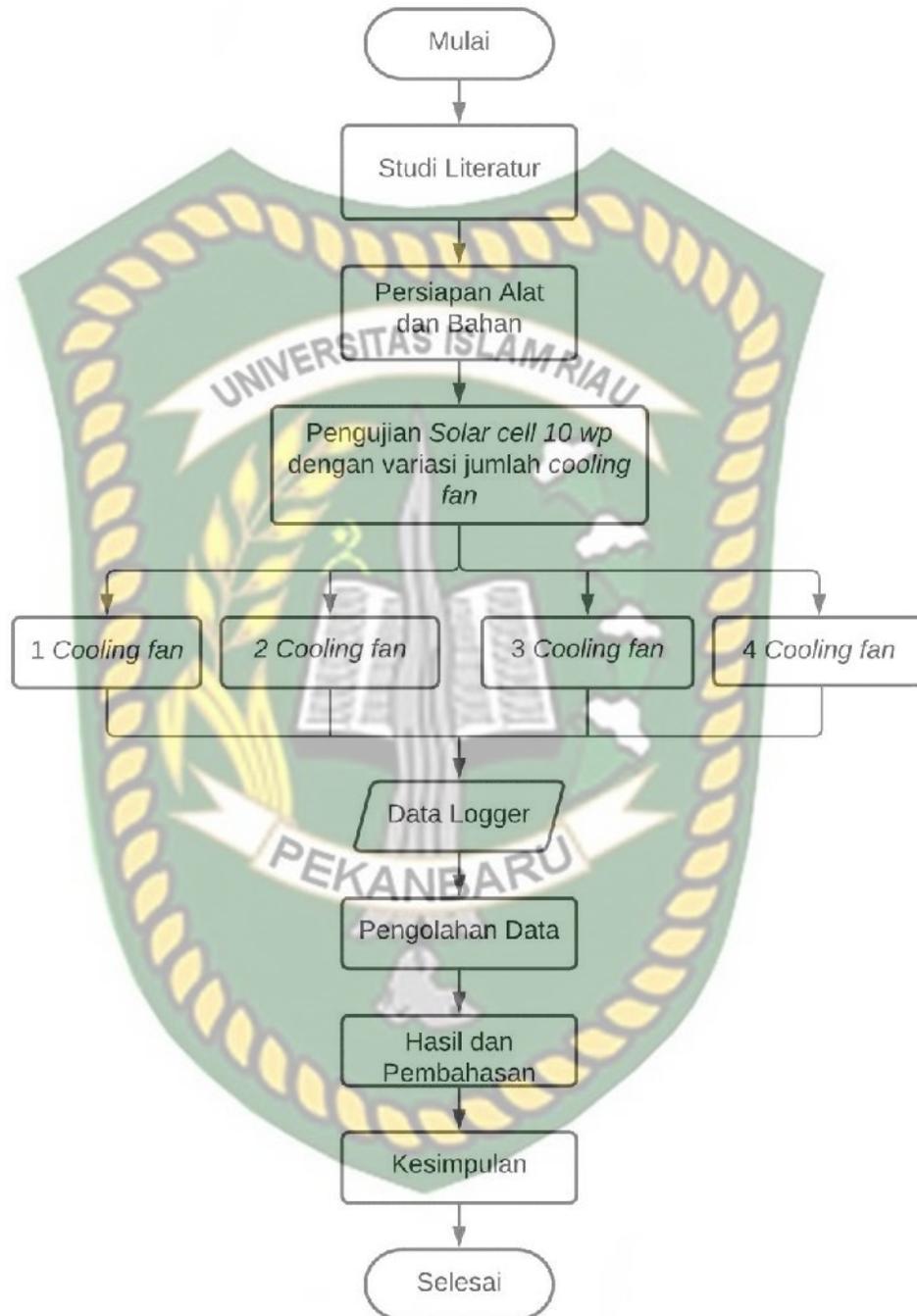
Pengujian pengaruh variasi jumlah *cooling fan* terhadap unjuk *solar cell* ini akan dilaksanakan pada bulan april 2021 bertempat di Gedung A, Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Islam Riau (UIR) yang beralamat di Jl.Kaharuddin Nasution No.133, Marpoyan, Pekanbaru.



Gambar 3. 1 Gedung A 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

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu :

3.3.1 Alat

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian yaitu :

1. Panel surya

Panel surya yang digunakan berjenis "polycrystalline" berukuran 27 cm x 35,5 cm dengan spesifikasi :

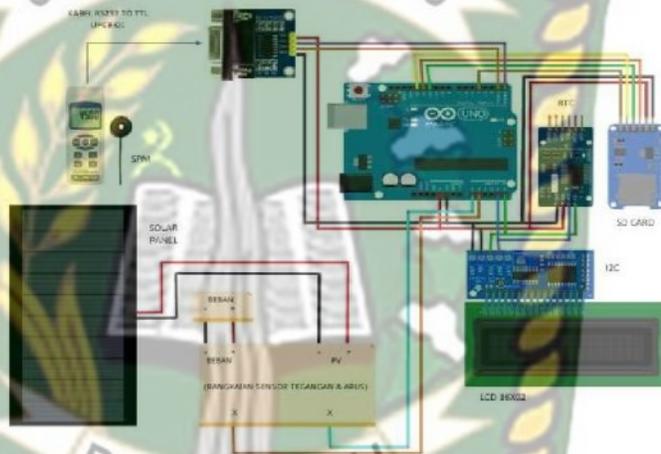
Rated maximum power (Pmax)	:	10 WP
Voltage at maximum power (Vmp)	:	17,5 V
Current at maximum power (Imp)	:	0,571 A
Open circuit voltage (Voc)	:	21 V
Short circuit current (Isc)	:	0,64 A



Gambar 3. 3 Panel Surya polycrystalline 10 Wp

2. Data Logger

Data logger berfungsi 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. *Cooling fan*

Cooling fan berfungsi sebagai alat pendingin pada panel surya.



Gambar 3. 5 Cooling Fan

4. *Stryfoam*

Styrofoam berfungsi untuk menjadi kotak pendingin pada panel surya.



Gambar 3. 6 *stryfoam*

5. Pyranometer

Pyranometer berfungsi untuk pengukur intensitas radiasi matahari.



Gambar 3.7 pyranometer

3.3.2 Bahan

Sesuai dengan pengujian yang dilakukan pada penelitian ini, untuk pendinginan panel surya maka bahan yang digunakan yaitu udara, 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. Memasang pendingin *cooling fan* pada panel surya.
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

Proses pengujian pendingin *cooling fan* dengan variasi jumlah pendingin *cooling fan*.

Langkah - langkah dalam pengujian ini dapat dilakukan sebagai berikut :

1. Pasang *cooling fan* pada panel surya.
2. Nyalakan laptop dan sambungkan ke data looger.
3. Nyalakan rangkaian panel surya dan data logger agar mencatat data yang didapat.
4. Lakukan pengujian dengan menggunakan 1 *cooling fan*.
5. 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.
6. Lakukan langkah 4 dengan mengganti variasi jumlah *cooling fan* yaitu : 1 unit, 2 unit, 3 unit, dan 4 unit.

3.6 Jadwal kegiatan penelitian

Agar penelitian tentang pengaruh variasi jumlah *cooling fan* terhadap unjuk kerja terhadap *solar cell* ini dapat berjalan optimal sesuai dengan waktu yang ditentukan maka perlu dibuat jadwal penelitian seperti yang terlihat pada Tabel 3.1.

Jenis kegiatan	Bulan – ke															
	Desember				Januari				Februari				Maret			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Pembuatan proposal																
Study literature																
Persiapan alat dan bahan																
Pengujian dan pengumpulan data																

Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh variasi jumlah cooling fan terhadap tegangan rangkaian terbuka (Voc)

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa terdapat pengaruh variasi jumlah *cooling fan* pada *solar cell* terhadap tegangan rangkaian terbuka (Voc). Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai Voc yang paling besar yang dihasilkan *solar cell* ialah pada penambahan variasi jumlah *cooling fan* terhadap *solar cell* pada hari ke 5 dengan nilai Voc 17,94 volt dan nilai Voc yang paling rendah tanpa variasi jumlah *cooling fan* ialah sebesar 16,98 volt pada hari ke-5 pengujian. Hasil penelitian dilihat pada tabel 4.1 dibawah ini.

Tabel 4.1 Pengaruh variasi jumlah *cooling fan* terhadap Voc

hari	jumlah variasi	Voc (V)	Iradiasi (W/m ²)
1	Tanpa fan	17.13	690.1
	1 fan	17.34	690.1
2	1 fan	17.37	802.1
	2 fan	17.58	802.1
3	2 fan	17.3	729.3
	3 fan	17.41	729.3
4	3 fan	17.37	757.5
	4 fan	17.83	757.5
5	4 fan	17.94	789.7
	Tanpa fan	16.98	789.7

Dari tabel 4.1 pengaruh variasi jumlah *cooling fan* terhadap Voc pada panel surya 10 wp dapat dilihat hasil pengujian. Pada hari ke-1 dilakukan pengujian tanpa menggunakan *cooling fan* dan menggunakan 1 *cooling fan*, dimana panel surya tanpa menggunakan *cooling fan* mendapatkan nilai Voc sebesar 17,13V dan panel surya yang menggunakan 1 *cooling fan* mengalami kenaikan nilai Voc dengan menghasilkan nilai 17,34V. Dimana iradiasi matahari pada hari pertama didapatkan nilai tertingginya sebesar 690,1 W/m².

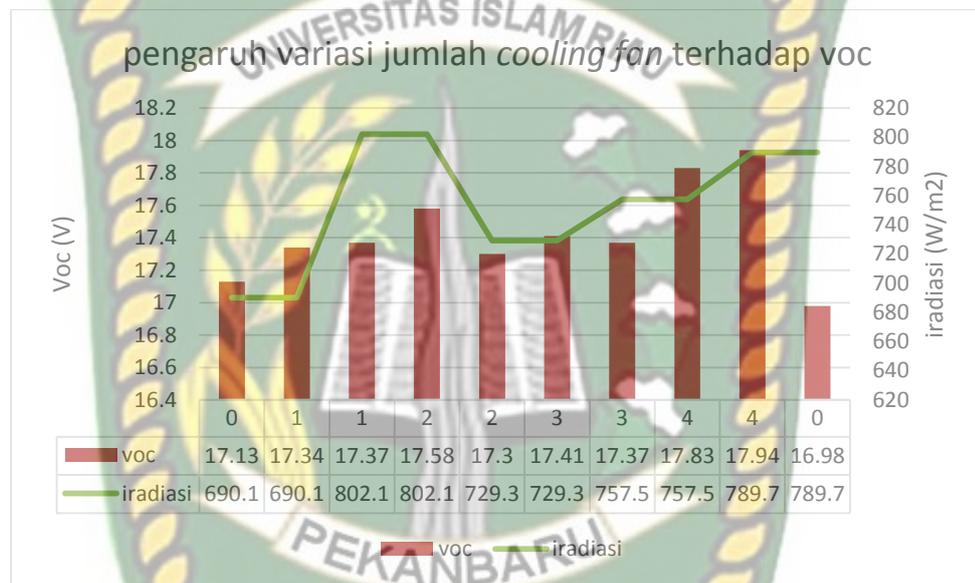
Penelitian hari ke-2 rata-rata iradiasi matahari mengalami kenaikan menjadi 802,1 W/m², dilakukan pengujian menggunakan 1 *cooling fan* dan 2 *cooling fan*, dimana pada penelitian ini panel surya yang menggunakan 2 *cooling fan* mendapatkan nilai Voc lebih tinggi dari pada menggunakan 1 *cooling fan*. Dimana 1 *cooling fan* menghasilkan nilai Voc 17,37V dan panel surya yang menggunakan 2 *cooling fan* menghasilkan Voc sebesar 17,58V.

Penelitian hari ke-3 iradiasi kembali mengalami penurunan dari pada penelitian hari ke-2 dimana nilai rata-rata iradiasi sebesar 729,3 W/m², pada pengujian ini dilakukan dengan penambahan 2 *cooling fan* dan 3 *cooling fan* pada panel surya, pada pengujian menggunakan 2 *cooling fan* didapatkan nilai Voc sebesar 17,3V lebih tinggi dari pada menggunakan 3 *cooling fan* yaitu 17,41V. Pada penelitian ini penelitian dengan penambahan 3 *cooling fan* lebih unggul dari pada menggunakan 2 *cooling fan*.

Penelitian hari ke-4 dilakukan pengujian menggunakan 3 *cooling fan* dan 4 *cooling fan*, pada penelitian ini panel surya didapat nilai selisih yang tidak terlalu signifikan. Dimana yang menggunakan 3 *cooling fan* dapat menghasilkan Voc sebesar 17,37V sedangkan panel surya yang menggunakan 4 *cooling fan* mampu menghasilkan Voc sebesar 17,83V. Pada penelitian ini iradiasi matahari mengalami sedikit kenaikan daripada penelitian hari sebelumnya yaitu sebesar 757,5 W/m², dan Voc yang didapatkan pun meningkat dari pada hasil penelitian hari sebelumnya.

Penelitian hari ke-5 dilakukan kembali tanpa menggunakan *cooling fan* dan 4 *cooling fan*, disini dapat dilihat pengaruh *cooling fan* terhadap Voc yang dihasilkan panel surya. Dimana panel surya tanpa menggunakan *cooling fan*

hanya dapat menghasilkan Voc sebesar 16,98V dan panel surya yang ditambahkan 4 *cooling fan* dapat menghasilkan Voc sebesar 17,94V, dimana nilai iradiasi matahari rata-rata didapatkan sebesar 789,7 W/m². Nilai Voc yang didapatpun lebih tinggi dari pada penambahan variasi jumlah *cooling fan* lainnya. peningkatan nilai Voc dapat dilihat dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada gambar 4.1 dibawah ini.



Gambar 4. 1 grafik pengaruh variasi jumlah cooling fan terhadap tegangan rangkaian terbuka (Voc)

Dari Gambar 4.1 diatas dapat menunjukkan pengaruh variasi jumlah *cooling fan* terhadap tegangan yang dihasilkan oleh *cooling fan*, dimana semakin banyak *cooling fan* yang digunakan pada *solar cell* maka semakin besar tegangan yang dihasilkan oleh *solar cell*.

Hal ini terjadi dikarenakan dalam pengujian ini menggunakan *solar cell* berjenis *polycrystalline* yang mana *solar cell polycrystalline* ini hanya mampu bekerja optimal pada temperature konstan 25 °C. ketika temperature permukaan panel surya meningkat maka tegangan yang dihasilkan akan mengalami penurunan, begitu pula sebaliknya jika temperature permukaan panel surya mengalami penurunan maka tegangan yang dihasilkan akan mengalami

peningkatan. Dalam hal ini dapat dikatakan bahwa dengan menjaga temperature pada panel surya dapat meningkatkan tegangan listrik.

Dari hasil pengujian dan pengamatan dapat dilihat bahwa semakin tinggi temperature panel surya maka semakin kecil tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) yang dihasilkan, begitu pula sebaliknya semakin rendah temperature pada panel surya maka semakin besar pula tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) yang dihasilkan panel surya. Perubahan temperature pada *solar cell* selain disebabkan oleh temperatur lingkungan sekitar, juga disebabkan oleh bahan silikon sel-sel surya 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 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 solar cell. sehingga dengan itu menyebabkan parameter tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) pada panel surya yang memiliki temperatur tinggi mengalami penurunan. Untuk mengatasi dampak tersebut maka digunakan *cooling fan* pada *solar cell*, karena dengan penambahan *cooling fan* mampu menjaga temperature *solar cell* pada temperature optimal *solar cell* itu sendiri, sehingga mampu meningkatkan nilai tegangan yang dihasilkan *solar cell*.

4.2 Pengaruh variasi jumlah cooling fan terhadap short-circuit current (I_{sc}).

Dari hasil penelitian Pengaruh variasi jumlah *cooling fan* terhadap *short-circuit current* Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai I_{sc} terbesar yang dihasilkan oleh *solar cell* yaitu ada pada Variasi jumlah 2 *cooling fan* dengan pada hari ke-2 dengan nilai I_{sc} sebesar 0,56 A, dan nilai terendah I_{sc} dihasilkan oleh *solar cell* tanpa variasi jumlah *cooling fan* pada hari ke 1, pengujian ke-1 dengan nilai I_{sc} sebesar 0,41 A. hal tersebut dapat dilihat pada tabel 4.2 dibawah ini :

Tabel 4.2 Pengaruh variasi jumlah *cooling fan* terhadap *Isc*

hari	jumlah variasi	Isc (I)	Iradiasi (W/m ²)
1	Tanpa fan	0.41	690.1
	1 fan	0.43	690.1
2	1 fan	0.54	802.1
	2 fan	0.56	802.1
3	2 fan	0.49	729.3
	3 fan	0.52	729.3
4	3 fan	0.52	757.5
	4 fan	0.54	757.5
5	4 fan	0.55	789.7
	Tanpa fan	0.46	789.7

Pada tabel 4.2, untuk parameter kinerja *solar cell* yaitu *short-circuit current (Isc)* yang dihasilkan oleh *solar cell* mengalami perubahan yang cukup signifikan seiring dengan penambahan variasi jumlah *cooling fan* yang ditambahkan. Iradiasi yang semakin naik, secara keseluruhan membuat nilai parameter *Isc* juga semakin naik. pada pengujian hari ke-1 iradiasi matahari rata-rata didapat sebesar 690,1 W/m², dengan nilai *short-circuit current (Isc)* yang dihasilkan *solar cell* tanpa menggunakan penambahan *cooling fan* sebesar 0,41A lalu pada panel surya yang menggunakan penambahan 1 *cooling fan* didapatkan nilai *short-circuit current (Isc)* 0,43A mengalami kenaikan dari pada tanpa menggunakan *cooling fan*.

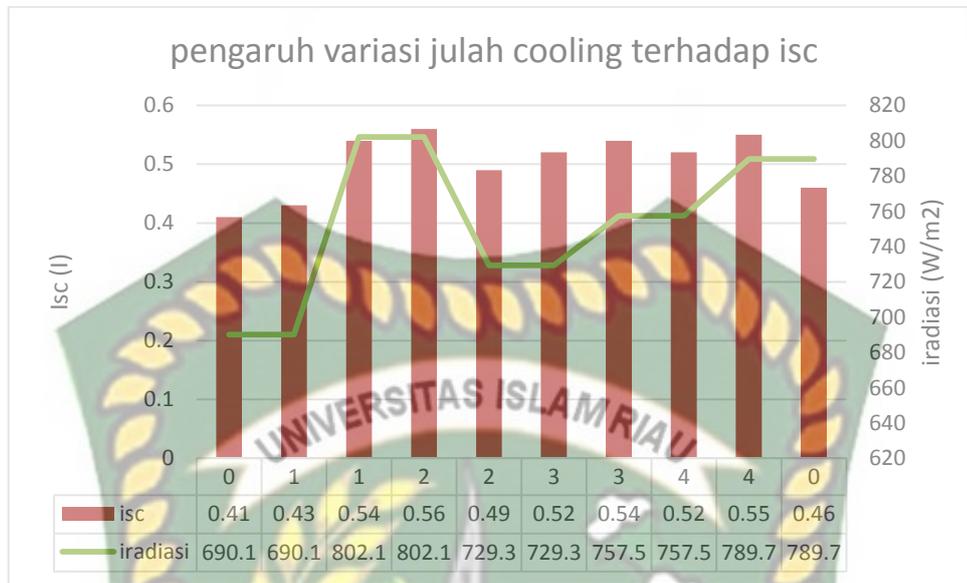
pada pengujian hari ke-2 nilai iradiasi mengalami peningkatan dari pada penelitian hari sebelumnya, dimana nilai iradiasi yang didapat sebesar $802,1 \text{ W/m}^2$, *short-circuit current (Isc)* yang dihasilkan mengalami peningkatan. *Isc* yang didapat dengan menggunakan 1 *cooling fan* didapat *Isc* sebesar 0,54A dan menggunakan 2 *cooling fan* sebesar 0,56A lebih tinggi dari pada menggunakan 1 *cooling fan*.

pada pengujian hari ke-3 dilakukan menggunakan 2 *cooling fan* dan 3 *cooling fan* dimana pada hari ke-3 ini iradiasi matahari rata-rata sebesar $729,3 \text{ W/m}^2$, lebih rendah dari pada penelitian hari ke-2. Solar cell mampu menghasilkan nilai *short-circuit current (Isc)* sebesar 0,49A dengan penambahan 2 *cooling fan*, dan 0,52A dengan penambahan 3 *cooling fan*.

Pada pengujian hari ke-4 nilai iradiasi matahari kembali mengalami sedikit kenaikan dari pada hari sebelumnya sebesar $757,5 \text{ W/m}^2$, *short-circuit current (Isc)* yang diperolehpun meningkat. Pada penelitian menggunakan penambahan 3 *cooling fan* pada *solar cell* mampu menghasilkan *Isc* sebesar 0,52A dan penambahan menggunakan 4 *cooling fan* mengalami kenaikan nilai *Isc* sebesar 0,54A.

Pada pengujian hari ke-5 dengan menggunakan variasi jumlah *cooling fan* yang sama dengan penelitian hari ke-4 menggunakan 4 *cooling fan* dan tanpa menggunakan *cooling fan* dengan nilai iradiasi rata-rata yang didapat sebesar $789,7 \text{ W/m}^2$. *Short-circuit current (Isc)* yang didapatkan pada saat pengujian cenderung naik dikarenakan factor iradiasi matahari dan penambahan *cooling fan*, nilai arus yang dihasilkan sebesar 0,55A dengan penambahan 4 *cooling fan* dan 0,46A untuk *solar cell* tanpa menggunakan penambahan *cooling fan*.

Dengan adanya penambahan variasi jumlah *cooling fan* mampu mempengaruhi nilai *Isc* semakin meingkat. Dapat dilihat pada dalam bentuk gambar grafik dibawah ini :



Gambar 4. 2 grafik pengaruh variasi jumlah cooling fan terhadap Isc

Dari gambar 4.2 dapat dilihat bahwa, pada pengujian pengaruh variasi jumlah *cooling fan* didapat nilai *short-circuit current (Isc)* yang terus meningkat, semakin banyak jumlah *cooling fan* yang digunakan maka semakin besar pula Isc yang dihasilkan oleh *solar cell*.

Hal ini terjadi karena nilai *short-circuit current (Isc)* meningkat dikarenakan iradiasi matahari. Dalam hal ini semakin banyak *cooling fan* yang digunakan pada *solar cell* pada iradiasi matahari yang sama, kenaikan nilai *short-circuit current (Isc)* tidak terlalu 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 Isc, melainkan temperatur linear dengan parameter Isc, tetapi Isc berbanding terbalik dengan Voc.

Pendinginan panel surya yang dilakukan berfungsi untuk meningkatkan nilai tegangan rangkaian terbuka (Voc) pada panel surya, dan ini berpengaruh juga pada kenaikan parameter arus hubung singkat (Isc). Peningkatan intensitas cahaya matahari akan meningkatkan arus hubung singkat (Isc), 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 variasi jumlah *cooling fan* terhadap daya maksimum (P_{max}).

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa terdapat pengaruh penambahan variasi jumlah *cooling fan* pada *solar cell* terhadap daya maksimum (P_{max}). Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai P_{max} terbesar yang dihasilkan *solar cell* pada hari ke-2, pengujian hari kedua dengan nilai P_{max} sebesar 7,2 W, dan nilai terendah P_{max} pada pengujian hari ke-1 dengan nilai P_{max} sebesar 4,36 W. hal tersebut dapat dilihat pada tabel 4.3 dibawah ini.

Tabel 4.3 pengaruh variasi jumlah *cooling fan* terhadap daya maksimum

hari	jumlah variasi	P_{max} (W)	Iradiasi (W/m^2)
1	Tanpa fan	4.36	690.1
	1 fan	5.25	690.1
2	1 fan	6.84	802.1
	2 fan	7.2	802.1
3	2 fan	5.9	729.3
	3 fan	6.33	729.3
4	3 fan	6.21	757.5
	4 fan	7.08	757.5
5	4 fan	7.15	789.7
	Tanpa fan	5.09	789.7

Dari tabel 4.3 pada pengujian hari ke-1, dengan iradiasi matahari rata-rata didapat sebesar $690,1 \text{ W/m}^2$, daya maksimum (Pmax) yang dihasilkan oleh *solar cell* tanpa menggunakan penambahan variasi jumlah *cooling fan* sebesar 4,36 W, sedangkan dihari yang sama dengan menggunakan penambahan 1 *cooling fan* didapatkan daya maksimum (Pmax) sebesar 5,25 W lebih tinggi dibandingkan *solar cell* tanpa menggunakan *cooling fan*.

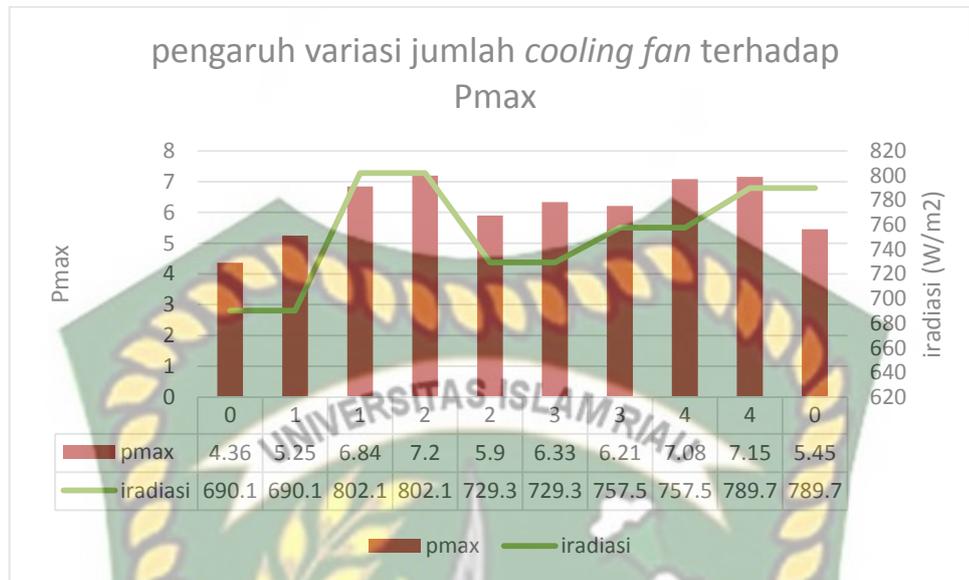
Pada penelitian hari ke-2 iradiasi matahari rata-rata mengalami kenaikan menjadi $802,1 \text{ W/m}^2$, lebih tinggi dibandingkan dengan hari pertama. Daya maksimum yang dihasilkan *solar cell* dengan variasi jumlah 1 *cooling fan* didapatkan nilai Pmax sebesar 6,84 W, sedangkan pada penelitian dihari yang sama yang menggunakan 2 *cooling fan* didapatkan Pmax sebesar 7,2 W. bisa dilihat bahwa penambahan variasi jumlah *cooling fan* berpengaruh pada Pmax yang dihasilkan.

Pada penelitian hari ke-3 rata-rata iradiasi matahari kembali mengalami penurunan menjadi $729,3 \text{ W/m}^2$, daya maksimum (Pmax) yang dihasilkan *solar cell* dengan variasi jumlah 2 *cooling fan* menurun dari pengujian sebelumnya yaitu sebesar 5,9 W. sedangkan *solar cell* dengan menggunakan 3 *cooling fan* dapat menghasilkan daya maksimum sebesar 6,33 W.

Pada pengujian hari ke-4, rata-rata Iradiasi matahari yang didapat sebesar $757,7 \text{ W/m}^2$, didapat daya maksimum (Pmax) sebesar 6,21 W dengan menggunakan penambahan 3 *cooling fan* pada *solar cell*, dan penambahan 4 *cooling fan* menghasilkan daya maksimum sebesar 7,08 W.

Pada pengujian hari ke-5 dengan nilai iradiasi matahari rata-rata $789,7 \text{ W/m}^2$, daya maksimum (Pmax) mengalami kenaikan yang signifikan yaitu pada pengujian menggunakan penambahan 4 *cooling fan* didapatkan daya maksimum sebesar 7,15 W dan tanpa menggunakan *cooling fan* didapatkan daya maksimumnya 5,09 W mengalami penurunan yang sangat besar dibandingkan dengan penelitian yang lainnya.

Peningkatan dan penurunan daya maksimum (Pmax) dapat ditampilkan pada gambar grafik dibawah ini .



Gambar 4. 3 Grafik pengaruh variasi jumlah *cooling fan* terhadap Pmax

Dari gambar 4.3 dapat dilihat dengan adanya penambahan variasi jumlah *cooling fan* terhadap daya maksimum (Pmax) *solar cell*, semakin banyak *cooling fan* yang digunakan maka semakin bagus daya maksimum yang dihasilkan.

Hal ini terjadi karena Penurunan iradiasi matahari dan Kenaikan temperatur sangat berpengaruh terhadap penurunan nilai daya maksimum, dengan meningkatnya temperatur pada permukaan *solar cell* yang akan mengakibatkan nilai dari tegangan dan daya akan berkurang. Dengan itu *solar cell* tanpa variasi jumlah *cooling fan* membuat kinerja dari daya maksimum akan semakin menurun, karena kenaikan suhu pada *solar cell* sangat tidak efektif sehingga hal ini berdampak pada penurunan nilai parameter Pmax.

Tingginya nilai Pmax dipengaruhi oleh penambahan variasi jumlah *cooling fan* terhadap *solar cell*, dikarenakan pengujian menggunakan variasi jumlah *cooling fan* ini mampu menurunkan temperature yang mana berpengaruh terhadap kenaikan nilai tegangan maksimum (Vmax) dan arus maksimum (Imax), dimana daya maksimum (Pmax) dipengaruhi oleh nilai tegangan maksimum dan arus maksimum itu sendiri.

4.4 Pengaruh variasi jumlah *cooling fan* terhadap fill factor (FF).

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa terdapat pengaruh penambahan variasi jumlah *cooling fan* pada *Solar Cell* terhadap *Fill Factor* (FF). Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai FF yang paling besar yang dihasilkan *solar cell* ialah adanya variasi jumlah *cooling fan* pada *Solar Cell* pada hari ke 4 dengan nilai FF sebesar 0,72 dan nilai FF yang paling rendah *Solar Cell* tanpa variasi jumlah *cooling fan* ialah sebesar 0,62, Hasil pengujian bisa dilihat secara detail pada tabel 4.4 dibawah ini.

Tabel 4.4 Data pengaruh variasi jumlah *cooling fan* terhadap fill factor (FF)

Hari	jumlah variasi	Fill factor	Iradiasi (W/m ²)
1	0	0.62	690.1
	1	0.63	690.1
2	1	0.7	802.1
	2	0.71	802.1
3	2	0.69	729.3
	3	0.71	729.3
4	3	0.67	757.5
	4	0.68	757.5
5	4	0.72	789.7
	0	0.64	789.7

Dari tabel 4.4 fill factor (FF) pada panel surya yang ditambahkan menggunakan *cooling fan* pada *solar cell* mengalami perubahan yang signifikan yang mampu meningkatkan fill factor. Pada pengujian hari ke-1 iradiasi rata-rata yang didapatkan sebesar 690,1 W/m², dengan fill factor yang dihasilkan *solar cell*

tanpa menggunakan *cooling fan* sebesar 0,62, sedangkan pada *solar cell* menggunakan 1 *cooling fan* dapat menghasilkan fill factor sebesar 0,57.

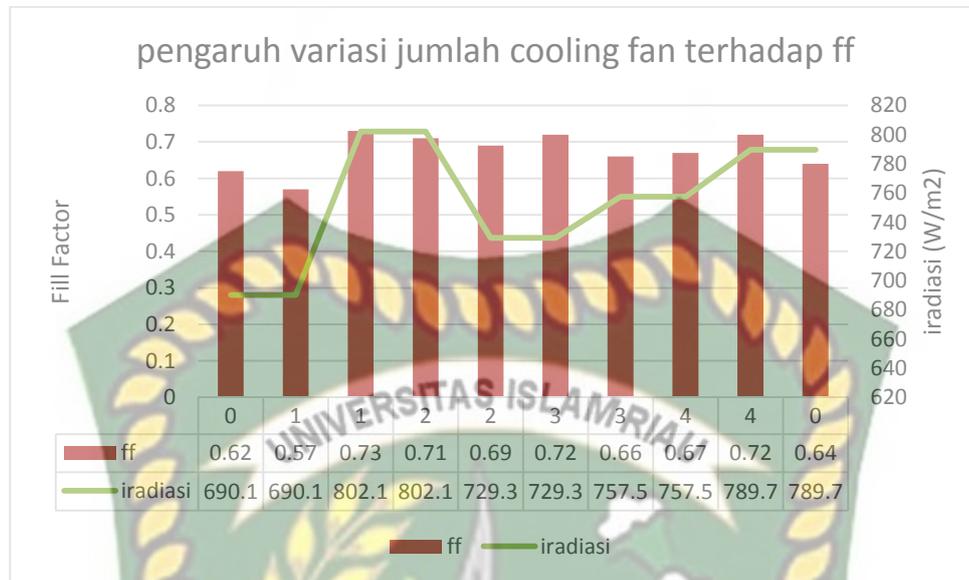
Pada pengujian hari ke-2 rata-rata iradiasi matahari melonjak menjadi 802,1 W/m², *solar cell* yang ditambahkan dengan 1 *cooling fan* mampu mendapatkan fill factor sebesar 0,70 dan *solar cell* yang ditambahkan 2 *cooling fan* mampu mendapatkan fill factor sebesar 0,71.

Pada pengujian hari ke-3 fill factor yang didapat *solar cell* dengan penambahan 2 *cooling fan* mampu menghasilkan nilai sebesar 0,69 dan *solar cell* dengan penambahan 3 *cooling fan* menghasilkan fill factor sebesar 0,71 lebih tinggi dari pada penelitian sebelumnya, dengan Iradiasi matahari rata-rata sebesar 729,3 W/m².

Pada pengujian hari ke-4 iradiasi matahari rata-rata mengalami kenaikan menjadi 757, W/m², lebih tinggi dari pada penelitian sebelumnya. Pada penelitian ini fill factor yang didapatkan dengan menggunakan penambahan 3 *cooling fan* mendapat fill factor sebesar 0,67 sedangkan *solar cell* dengan menggunakan 4 *cooling fan* mendapatkan fill factor sebesar 0,68 mendapatkan kenaikan.

Pada pengujian hari ke-5 dilakukan kembali pengujian tanpa menggunakan *cooling fan* dan 4 *cooling fan* seperti pengujian sebelumnya dengan Iradiasi rata-rata 757,7 W/m², dimana *solar cell* tanpa penambahan *cooling fan* menghasilkan fill factor sebesar 0,64, sedangkan *solar cell* dengan penambahan 4 *cooling fan* mengalami peningkatan fill factor dengan nilai sebesar 0,72.

Peningkatan dan penurunan fill factor dapat dilihat pada gambar 4.4 dibawah ini :



Gambar 4.4 Grafik pengaruh variasi jumlah cooling fan terhadap fill factor

Dapat dilihat pada gambar 4.4 menunjukkan bahwa pengaruh variasi jumlah *cooling fan* terhadap fill factor yang dihasilkan *solar cell* semakin bagus, semakin banyak *cooling fan* yang digunakan maka semakin bagus pula fill factor yang dihasilkan.

Hal ini terjadi karena fill factor merupakan parameter yang menyatakan seberapa besar $I_{sc} \times V_{oc}$ dari daya maksimum $V_m \times I_m$ yang dihasilkan sel surya, Dimana arus dan tegangannya dipengaruhi oleh iradiasi matahari dan temperature pada *solar cell*.

4.5 Pengaruh variasi jumlah *cooling fan* terhadap daya keluar (Pout)

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa terdapat pengaruh penambahan variasi jumlah *cooling fan* pada *solar cell* terhadap daya keluaran (Pout). Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai Pout terbesar yang dihasilkan oleh *solar cell* yaitu ada pada penambahan variasi jumlah *cooling fan* pada *solar cell* pada hari ke 2, pengujian menggunakan 2 *cooling fan* dengan nilai Pout sebesar 7,18 W, dan nilai terendah Pout dihasilkan oleh *solar cell* tanpa penambahan variasi jumlah *cooling fan* pada hari ke 1, dengan nilai Pout sebesar 4,37 W. Hasil dari semua pengujian tersebut dapat dilihat secara detail pada tabel 4.5 dibawah ini.

Tabel 4.5 Data pengaruh variasi jumlah *cooling fan* terhadap daya keluar (Pout)

hari	jumlah variasi	Pout (W)	Iradiasi (W/m ²)
1	0	4.37	690.1
	1	5.27	690.1
2	1	6.83	802.1
	2	7.18	802.1
3	2	5.89	729.3
	3	6.31	729.3
4	3	6.21	757.5
	4	7.09	757.5
5	4	7.15	789.7
	0	5.08	789.7

Pada tabel 4.5 , untuk paramater kinerja *solar cell* yaitu daya keluaran (Pout) yang dihasilkan oleh *solar cell* mengalami perubahan yang cukup signifikan, Variasi jumlah *cooling fan* ditambahkan mampu meningkatkan daya keluaran pada *solar cell*. Namun jika lihat secara keseluruhan Iradiasi cahaya matahari yang meningkat membuat parameter nilai daya keluaran ikut meningkat pula, Meskipun beberapa Variasi jumlah *cooling fan* mampu bekerja dengan baik, daya keluaran yang dihasilkan mengalami peningkatan dibandingkan dengan *solar cell* tanpa menggunakan Variasi jumlah *cooling fan*. Pada pengujian hari ke-1, dimana dilakukan pengujian tanpa menggunakan *cooling fan* dan 1 *cooling fan* dengan iradiasi rata-rata sebesar 690,1 W/m². Pada pengujian tanpa menggunakan *cooling fan* didapatkan daya keluaran sebesar 4,37 W, sedangkan pengujian

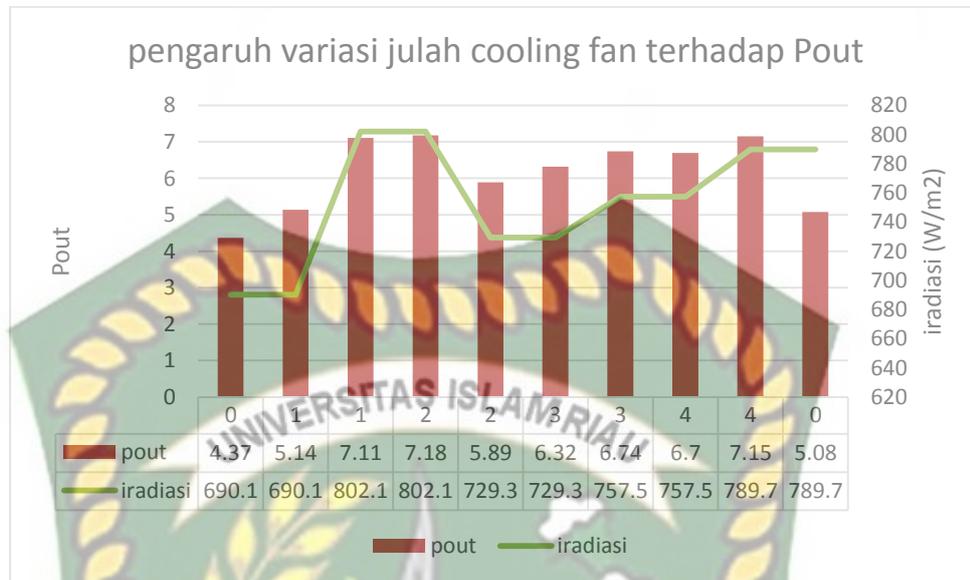
dengan penambahan 1 *cooling fan* didapatkan daya keluaran sebesar 5,27 W dimana didapatkan kenaikan pada daya keluaran yang dihasilkan oleh *solar cell*.

Pada pengujian hari ke-2, *solar cell* ditambahkan 1 *cooling fan* yang dapat menghasilkan daya keluaran sebesar 6,83 W, sedangkan *solar cell* yang ditambahkan 2 *cooling fan* mampu menghasilkan 7,18 W. Dimana iradiasi matahari rata-rata pada hari kedua ini sebesar 802,1 W/m², lebih tinggi dari pada hari pengujian sebelumnya.

Pada pengujian hari ke-3 iradiasi matahari rata-rata menurun dibandingkan dari pada penelitian sebelumnya sebesar 729,3 W/m². nilai daya keluaran yang dapat dihasilkan *solar cell* dengan ditambahkan 2 *cooling fan* sebesar 5,89 W dan *solar cell* yang ditambahkan 3 *cooling fan* mampu menaikkan daya keluaran yang cukup signifikan sebesar 6,31 W.

Pada pengujian hari ke-4 nilai iradiasi matahari rata-rata pada pengujian ini sebesar 757,7 W/m², dimana dilakukan pengujian dengan penambahan 3 *cooling fan* dan 4 *cooling fan* pada *solar cell*. Dimana *solar cell* dengan menggunakan 3 *cooling fan* mendapatkan daya keluaran sebesar 6,21 W, sedangkan *solar cell* dengan menggunakan 4 *cooling fan* menghasilkan daya keluaran sebesar 7,09 W.

Pada pengujian hari ke-5 nilai rata-rata iradiasi matahari didapatkan sebesar 789 W/m², dimana *solar cell* dengan penambahan 4 *cooling fan* didapat sebesar 7,15 W yang mengalami kenaikan signifikan dari pada tanpa menggunakan *cooling fan* yang hanya dapat menghasilkan daya keluaran sebesar 5,08 W. Peningkatan dan penurunan nilai parameter daya keluaran (*Pout*) disajikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada gambar 4.5 dibawah ini.



Gambar 4. 5 Grafik pengaruh variasi jumlah cooling fan terhadap daya keluar (Pout)

Dari gambar 4.5 diatas dapat dilihat bahwa dengan penambahan variasi jumlah *cooling fan* terhadap *solar cell* mampu meningkat daya keluar (Pout) yang dihasilkan oleh *solar cell*, dengan semakin banyak *cooling fan* yang digunakan maka daya keluar (Pout) yang dihasilkan juga akan semakin tinggi.

Hal ini terjadi dikarenakan Peningkatan terhadap parameter Pout yang dialami oleh masing-masing *solar cell* disebabkan oleh nilai parameter tegangan rangkaian terbuka (Voc), *short-circuit current* (Isc) ,dan fill factor (FF), dimana nilai parameter tersebut dipengaruhi oleh iradiasi matahari dan temperature, pada pengujian menggunakan penambahan *cooling fan* pada *solar cell* mampu menurunkan temperature dan meningkatkan nilai parameter-parameter yang mempengaruhi nilai daya keluar (Pout).

4.6 Pengaruh variasi jumlah *cooling fan* terhadap efisiensi sel surya(η).

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa terdapat pengaruh penambahan variasi jumlah *cooling fan* pada *solar cell* terhadap Efisiensi (η). Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai efisiensi terbesar yang dihasilkan oleh *solar cell* yaitu ada pada penambahan variasi jumlah *cooling fan*

pada *solar cell* pada hari ke 5, pengujian menggunakan 4 *cooling fan* dengan nilai efisiensi sebesar 9,86% dan nilai terendah dihasilkan oleh *solar cell* tanpa penambahan variasi jumlah *cooling fan* pada hari ke-1, dengan nilai P_{out} sebesar 6,23%. Hasil dari semua pengujian tersebut dapat dilihat secara detail pada tabel 4.6 dibawah ini.

Tabel 4.6 Data pengaruh variasi jumlah *cooling fan* terhadap efisiensi sel surya

hari	jumlah variasi	Efisiensi (η)	Iradiasi (W/m^2)
1	0	6.23%	690.1
	1	7.17%	690.1
2	1	8.36%	802.1
	2	9.00%	802.1
3	2	8.51%	729.3
	3	8.95%	729.3
4	3	8.10%	757.5
	4	9.77%	757.5
5	4	9.86%	789.7
	0	6.35%	789.7

Dari tabel 4.8 efisiensi sel surya (η) pada panel surya yang ditambahkan menggunakan *cooling fan* dapat mempengaruhi efisiensi pada *solar cell*. Pada pengujian hari ke-1 dilakukan pengujian tanpa menggunakan *cooling fan* dan 1 *cooling fan* pada *solar cell*, dimana iradiasi matahari rata-rata sebesar 690,1 W/m^2 , efisiensi yang mampu dihasilkan *solar cell* tanpa menggunakan *cooling fan* sebesar 6,23%, sedangkan *solar cell* dengan menggunakan 1 *cooling fan*

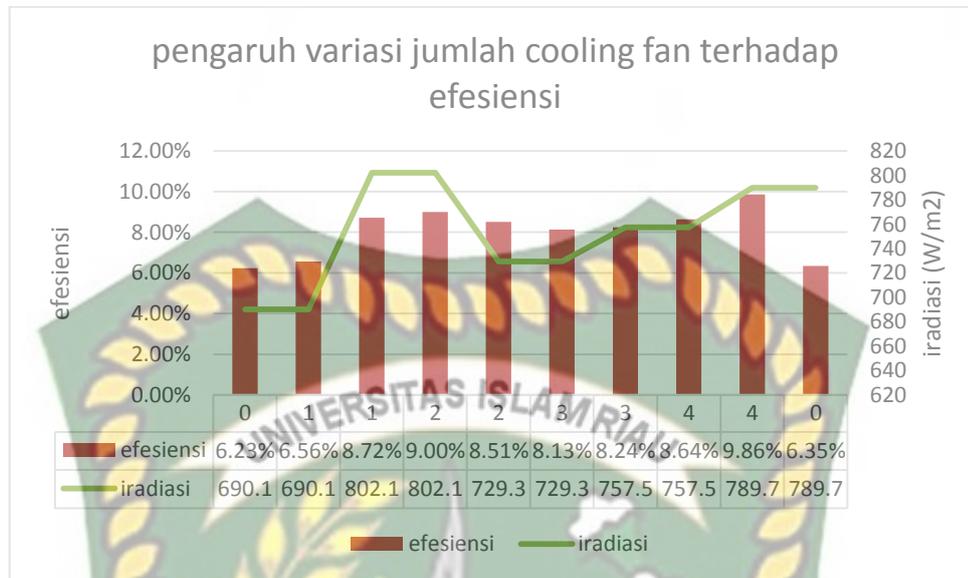
mendapatkan efisiensi sebesar 7,17% dapat dilihat bahwa dengan menggunakan penambahan *cooling fan* mampu meningkatkan efisiensi *solar cell*.

Pada pengujian hari ke-2 iradiasi matahari mengalami peningkatan sebesar $802,1 \text{ W/m}^2$, efisiensi yang dihasilkan *solar cell* dengan penambahan 1 *cooling fan* didapatkan sebesar 8,36%, dan *solar cell* dengan penambahan 2 *cooling fan* didapatkan efisiensi sebesar 9,00% meningkat dari pada penelitian sebelumnya.

Pada pengujian hari ke-3 iradiasi mengalami penurunan lagi dari pada pengujian sebelumnya dimana iradiasi matahari sebesar $729,3 \text{ W/m}^2$, pada pengujian ini dilakukan dengan menggunakan 2 *cooling fan* pada *solar cell* dengan efisiensi sebesar 8,51% dan penambahan dengan menggunakan 3 *cooling fan* didapatkan efisiensi sebesar 8,95%.

Pada pengujian hari ke-4 pengujian kembali dilakukan dengan menggunakan 3 *cooling fan* dan 4 *cooling fan* dimana rata-rata iradiasi matahari yang didapatkan sebesar $757,7 \text{ W/m}^2$, dimana efisiensi yang didapatkan pada *solar cell* yang ditambah 3 *cooling fan* sebesar 8,10% dan *solar cell* dengan 4 *cooling fan* dapat menghasilkan efisiensi yang tinggi dari pada pengujian sebelumnya yaitu sebesar 9,77%.

Pada pengujian hari ke-5 pengujian ini dilakukan menggunakan 4 *cooling fan* dan tanpa *cooling fan*, dimana pengujian tanpa menggunakan *cooling fan* hanya mendapatkan efisiensi sebesar 6,35% sangat berbeda dengan menggunakan 4 *cooling fan* yang mampu menghasilkan efisiensi sebesar 9,86% dengan iradiasi matahari rata-rata $789,7 \text{ W/m}^2$. Pada penelitian dapat dilihat dengan menggunakan 4 *cooling fan* mampu menghasilkan efisiensi tertinggi dari seluruh penelitian yang telah dilakukan. Peningkatan dan penurunan nilai parameter efisiensi (η) disajikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada gambar 4.6 dibawah ini.



Gambar 4. 6 Grafik pengaruh variasi jumlah cooling fan terhadap efisiensi

Dari gambar 4.6 diatas menunjukkan bahwa efisiensi (η) yang dihasilkan mengalami peningkatan setiap pengujiannya, dengan semakin banyak variasi jumlah *cooling fan* yang digunakan semakin bagus pula efisiensi yang didapatkan oleh *solar cell*.

Hal ini terjadi karena nilai-nilai parameter pengukur efisiensi yang dihasilkan oleh *solar cell* terus mengalami peningkatan dikarenakan penambahan jumlah *cooling fan* yang mampu menurunkan temperature *solar cell* dan meningkatkan nilai-nilai parameter tersebut dan meningkatkan efisiensi *solar cell*.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan pengujian, perhitungan dan analisa terhadap pengaruh penambahan variasi jumlah *cooling fan* pada *solar cell* maka didapat kesimpulan sebagai berikut :

1. Penambahan jumlah *cooling fan* berpengaruh terhadap unjuk kerja *solar cell*, semakin banyak jumlah *cooling fan* yang digunakan pada *solar cell* maka makin bagus unjuk kerja yang dihasilkan oleh *solar cell*, namun kenaikan yang dihasilkan tidak terlalu signifikan.
2. Nilai unjuk kerja terbaik dapat dilihat pada pengujian hari ke-5 dengan penambahan 4 *cooling fan* pada *solar cell*, dimana pengujian dengan penambahan 4 *cooling fan* pada *solar cell* ini mampu menghasilkan tegangan arus terbuka (Voc) sebesar 17,94 V, *short-circuit current* (Isc) sebesar 0,55 A, daya maksimum (Pmax) sebesar 7,15 W, Fill factor (FF) sebesar 0,72, daya keluar (Pout) sebesar 7,15 W, dan efisiensi (η) sebesar 9,86% pada iradiasi matahari sebesar 787,8 (W/m²) lebih tinggi dibandingkan dengan variasi 2 *cooling fan* yang nilai iradiasinya lebih tinggi yaitu sebesar 802,1 (W/m²) yang mampu menghasilkan efisiensi (η) sebesar 9,00%.

5.2 Saran

Analisa pengaruh variasi jumlah *cooling fan* pada *solar cell* ini perlu dikembangkan lagi. Seperti penambahan alat *solar tracker* yang mampu memusatkan *solar cell* pada cahaya matahari, dengan begitu *solar cell* akan mampu lebih meningkatkan unjuk kerja *solar cell* menjadi lebih baik lagi dan menggunakan *solar panel* yang lebih besar.

Dalam pengujian sebaiknya mengambil data dengan real time agar data yang didapat tidak terjadi kesalahan pada pengambilan data dan tidak terjadi error pada hasil yang didapatkan selama pengujian.

DAFTAR PUSTAKA

- Afriandi.2017. "Implementasi Water Cooling System Untuk Menurunkan Temperature Losses Pada Panel Surya" dalam: jurnal teknik elektro universitas tanjungpura (hlm.1).pontianak: universitas tanjungpura.
- Asy'ari, Hasim.2012 "Intensitas cahaya matahari terhadap daya keluaran panel sel surya" dalam jurnal : universitas muhammadiyah Surakarta (hlm.1).Surakarta
- A. D. Biodun, A. D. Kehinde, and O. T. Aminat, "Experimental Evaluation of the Effect of Temperature on Polycrystalline and Monocrystalline Photovoltaic Modules," *IOSR J. Appl. Phys.*, vol. 09, no. 02, pp. 5–10, 2017
- 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)*
- Darmanto,2011 "uji eksprimental pengaruh sudut kemiringan modul surya 50 watt peak dengan posisi mengikuti pergerakan arah matahari"semarang.
- Gakkhar, Nikhil., M.S.Soni, Sanjeev Jakhar.2016. Analysis of water cooling of CPV cells mounted on absorber tube of aParabolic Trough Collector. *Energy Procedia*, 90 , 78 – 88.
- Hasnawiyah Hasan, 2012. Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya di pulau Saugi. *Jurnal*
- Katsuaki, T., Katsuyuki Watanabe, and Yasuhiko Arakawa. 2012. Flexible thin-filmInAs/GaAs quantum dot solar cells. *APPLIED PHYSICS LETTERS*, 100 (19), -.

Pudjanarsa Astu, Djati Nursuhud Mesin Konversi Energi, edisi pertama, Penerbit C.V Andi Offset, Yogyakarta 2006.

Rusminto Tjatur W, 2003: Solar Cell Sumber Energi masa depan yang ramah lingkungan, Berita Iptek, Jakarta.

Sunarno. (2019). *Sistem Pendingin Pasif untuk Meningkatkan Daya Keluaran Panel Sel Surya*.

T.Azuar Rizal,2014. “Kaji eksperimental pendinginan panel surya menggunakan media udara. Aceh

Islamy, zawahar & sudrajad, Agung,2014. “ studi perencanaan atap panel surya di hotel the royale krakatau cilegon. Cilegon.

