

**STUDI KINERJA PANEL SURYA TIPE 180 WP BERDASARKAN AIR
COOLING SYSTEM DAN PERPINDAHAN PANAS PADA PERMUKAAN
PANEL**

TUGAS AKHIR

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk memperoleh Gelar Sarjana Teknik*



DISUSUN OLEH:

YOGA FERNANDO

NPM: 163310612

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS ISLAM RIAU

PEKANBARU

2020

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Duri, 17 April 1997, merupakan anak kelima dari 5 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SDN 029 Gajah Sakti, SMPN 3 Mandau, dan SMAN 1 Mandau. Setelah lulus dari SMAN tahun 2015, Penulis mengikuti SPMB dan diterima di Jurusan Teknik Mesin FT- UIR pada tahun 2016 dan terdaftar dengan NPM 16330612

Di Program Studi Teknik Mesin ini Penulis mengambil Bidang Studi Konversi Energi. Penulis sempat aktif di beberapa kegiatan Seminar yang diselenggarakan oleh program studi, aktif sebagai Kepala Bidang Divisi Inovasi dan Teknologi Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HMM), aktif sebagai Asisten Praktikum Mesin Material, aktif sebagai Asisten Praktikum Fisika Dasar, dan aktif sebagai peserta lomba *Paper Innovation Technology* nasional maupun Internasional.

STUDI KINERJA PANEL SURYA TIPE 180 WP BERDASARKAN AIR COOLING SYSTEM DAN PERPINDAHAN PANAS PADA PERMUKAAN PANEL

Yoga Fernando, Eddy Elfiano
Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau
Jl. Kaharudin Nasution Km 11 No.113 Perhentian Marpoyan, Pekanbaru
Telp. 0761-674653 Fax. (0761) 674834
Email: fernando.yoga6@gmail.com

ABSTRAK

Efisiensi dari *solar cell* menurun menjadi 0,5% setiap kenaikan 1°C sebagai hasil dari energi panas, sehingga diperlukan pendinginan pada panel surya. Tujuan dari penelitian ini adalah dengan membuat sistem pendingin diatas permukaan panel dengan memvariasikan kecepatan angin dan mengetahui pengaruhnya terhadap kinerja panel surya. Alat yang digunakan pada penelitian adalah *anemometer*, *thermometer couple*, *clambmeter*, *pyranometer* dan *multimeter*. Penelitian menggunakan 4 buah panel surya dengan spesifikasi yang sama yaitu 180 WP dan kipas angin digunakan sebagai pendingin pada panel surya dengan 4 jenis variasi kecepatan yaitu 0 m/s, 2,30 m/s, 3,11 m/s, dan 3,60 m/s . Hasil penelitian yang didapat, pada panel surya dengan kecepatan angin 0 m/s memperoleh nilai efisiesi rata-rata sebesar 14,47 % dan laju perpindahan panas sebesar 0 W. Panel surya dengan kecepatan angin 2.30 m/s memiliki nilai efisiesi rata-rata sebesar 15,55 % dan laju perpindahan panas rata-rata sebesar 22,15 W . Panel surya dengan kecepatan angin 3,11 m/s memperoleh nilai efisiesi rata-rata sebesar 15,77 % dan laju perpindahan panas rata-rata sebesar 39,77 W. Panel surya dengan kecepatan angin 3,60 m/s memperoleh nilai efisiesi rata-rata sebesar 16,11 % dan laju perpindahan panas rata-rata sebesar 65,56 W. Terdapat pengaruh *air cooling system* dengan variasi kecepatan angin dan meningkatkan laju perpindahan panas yang berdampak pada kinerja panel surya.. Nilai efisiesi terbaik terjadi pada panel surya dengan kecepatan angin yagn semakin laju.

Kata Kunci: Panel surya, temperatur permukaan, perpindahan panas

PERFORMANCE STUDY OF 180 WP TYPE SOLAR PANEL BASED ON AIR COOLING SYSTEM AND HEAT TRANSFER ON THE PANEL SURFACE

Yoga Fernando, Eddy Elfiano
Mechanical Engineering Study Program, Faculty of Engineering, Riau Islamic University
Jl. Kaharudin Nasution Km 11 No.113 Perhentian Marpoyan, Pekanbaru
Telp. 0761-674653 Fax. (0761) 674834
Email : fernando.yoga6@gmail.com

ABSTRACT

The efficiency of the solar cell decreases to 0.5% for every 1°C increase as a result of heat energy, so cooling of the solar panel is required. The purpose of this research is to create a cooling system on the surface of the panel by varying the wind speed and knowing its effect on the performance of the solar panel. The tools used in this research are anemometer, thermometer couple, clamb meter, pyranometer and multimeter. This study uses 4 solar panels with the same specifications, namely 180 WP and a fan is used as a cooler on the solar panel with 4 types of speed variations, namely 0 m/s, 2.30 m/s, 3.11 m/s, and 3.60 m/s. The results obtained, the solar panel with a wind speed of 0 m/s obtained an average efficiency value of 14.47% and a heat transfer rate of 0 W. The solar panel with a wind speed of 2.30 m/s obtained an average efficiency value of 15.55% and the average heat transfer rate is 22.15 W. Solar panels with a wind speed of 3.11 m/s obtained an average efficiency value of 15.77% and an average heat transfer rate of 39.77 W. Solar panels with a wind speed of 3.60 m/s obtained an average efficiency value of 16.11% and the average heat transfer rate of 65.56 W. There was an effect of the air cooling system with variations in wind speed and increasing the rate of heat transfer which had an impact on the performance of the solar panel The best efficiency values occur in solar panels with faster wind speeds.

Keywords: Solar panels, surface temperature, heat transfer

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Allhamdulillah, Puji dan syukur kehadiran Allah S.W.T yang selalu melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga kita masih diberi kesehatan, kesempatan dan nikmat iman dan islam, agar penulis dapat menyelesaikan Proposal Tugas Akhir Sarjana ini sesuai dengan penulis harapkan. Tak lupa pula shalawat berangkai salam kita hadiahkan kepada Nabi Muhammad SAW, berkat perjuangannya kita dapat menikmati ilmu pengetahuan hingga saat ini..

Proposal Tugas Akhir Sarjana dan Seminar yang diusulkan berjudul **“Studi Kinerja Panel Surya Tipe 180 WP Berdasarkan Air Cooling System Dan Perpindahan Panas Pada Permukaan Panel”**. Penulisan Proposal Tugas Akhir Sarjana dan Seminar ini bertujuan untuk memenuhi persyaratan kurikulum akademis guna memperoleh gelar Sarjana Teknik Mesin Universitas Islam Riau. Selain itu penulis Proposal Tugas Akhir Sarjana ini juga bertujuan agar mahasiswa bisa berfikir secara logis dan ilmiah

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan proposal penelitian ini masih terdapat kesalahan dan kekurangan ataupun masih jauh dari kesempurnaan serta kelemahan-kelemahan yang lain Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dari para pembaca sehingga pada penulisan atau proposal yang akan datang akan lebih baik dari proposal ini.

Proposal Tugas Akhir Sarjana ini tidak akan terwujud tanpa bantuan, dukungan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu, dengan segala kerendahan hati penulis ucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua Orang tua tercinta yakni (Alm) Ayahanda Syahrul Indra dan Ibunda Aminah yang telah memberikan motivasi, semangat, dan dukungan kepada penulis, baik dukungan secara moril maupun materil.
2. Istriku tercinta Syarafina, S.Pd yang telah memberikan semangat dan dukungan.
3. Bapak Dr. Eng. Muslim, ST., MT Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
4. Bapak Jhonni Rahman, B.Eng., M.Eng., Phd selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau.
5. Bapak Rafil Arizona , ST., M.Eng., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau
5. Bapak Eddy Elfiano, ST., M.Eng selaku Pembimbing tugas akhir saya.
6. Seluruh dosen pengajar Prodi Teknik Mesin.
7. Teman-teman terdekat saya Shandy Kurniadi, Edwin ST, Ali Afdil ST, Muhammad Iqbal, ST, Yudha Maulana Putra ST, dan teman-teman dikelas A,B dan C yang selalu ada disaat kuliah.

Semoga apa yang diberikan mendapatkan balasan yang setimpal dari Allah SWT, Aamiin. Penulis berharap Proposal Tugas Akhir Sarjana ini dapat memberikan manfaat dan sumbangan pemikiran khususnya dibidang Teknik Mesin.

Proposal Tugas Akhir Sarjana ini belum sepenuhnya sempurna. Oleh karena itu, bila ada kekurangan di dalam Proposal Tugas Akhir Sarjana ini dapat menjadi pertimbangan bagi penulis-penulis lain agar menjadi sebuah karya tulis yang lebih baik dan mohon kritik serta saran yang membangun bagi penulis.

Wassalamualaikum, Wr.Wb

Pekanbaru, Agustus 2021

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR NOTASI	vii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Energi Surya	5
2.2 Angin	10
2.3 Panel Surya	11
2.3.1 Semikonduktor dan Sel Surya.....	14
2.3.2 Prinsip Kerja Panel surya.....	16
2.3.3 Panel Surya Menggunakan Sistem Pendingin	18
2.3.3.1 Pengaruh Pendinginan Terhadap Kinerja Panel Surya.....	19

2.4	<i>Air Cooling System</i>	25
2.5	Perpindahan Panas	31
2.5.1	Bilangan Nusselt	34
2.5.2	Pengaruh Perpindahan Panas Pada Panel Surya	34
2.6	Pengukuran Intensitas Cahaya Matahari Dengan Menggunakan <i>Pyranometer</i>	35
2.7	Karakteristik Pada Panel Surya	37
2.7.1	Tegangan <i>Open Circuit</i> (<i>Voc</i>)	37
2.7.2	Arus <i>Short Circuit</i> (<i>Isc</i>)	37
2.7.3	Efek Perubahan Intensitas Cahaya Matahari	38
2.7.4	Efek Perubahan Temperatur Pada <i>Photovoltaic</i> (<i>Tsc</i>)	39
2.7.5	Karakteristik Tegangan-Arus Pada <i>Photovoltaic</i> (<i>V-I</i> <i>Characteristic</i>)	40
2.8	Rumus Yang Digunakan	41
2.8.1	Perhitungan Daya Masukan, Daya Keluaran Dan Efisiensi Pada Panel Surya	42
2.8.3	Perhitungan Tebal Lapisan Batas (<i>Boundary Layer</i> <i>Thickness</i>) Pada Permukaan Panel Surya	44
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		46
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	46
3.2	Diagram Alir Penelitian	47
3.3	Alat Yang Digunakan	48
3.4	Prosedur Pengujian	55

3.5 Model Penelitian	56
3.6 Jadwal Penelitian.....	57
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	59
4.1 Hubungan Intensitas Cahaya Matahari, Temperatur Lingkungan dan Temperatur Permukaan Panel Surya.....	62
4.2 Pengaruh Variasi Kecepatan Angin Terhadap Tegangan Terbuka (Voc) dan Arus Singkat (Isc)	65
4.2.1 Pengaruh Variasi Kecepatan Angin Terhadap Tegangan Terbuka (Voc).....	65
4.2.2 Pengaruh Variasi Kecepatan Angin Terhadap Arus Singkat (Isc).....	67
4.3 Pengaruh Daya Input Dan Output Pada Variasi Kecepatan Angin	68
4.3.1 4.3.1 Daya Input Dan Daya Output Panel Surya Dengan Kecepatan Angin 0 m/s	68
4.4 Pengaruh Nilai Efisiensi Dengan Variasi Kecepatan Angin ..	78
4.5 Pengaruh Laju Perpindahan Panas Konveksi Paksa Terhadap Kinerja Panel Surya.....	79
4.5.1 Laju Perpindahan Panas Pada Kecepatan Angin 2.30 m/s	80

4.5.2 Pengaruh Perpindahan Panas Terhadap Tegangan Terbuka (Voc).....	82
4.5.3 Pengaruh Perpindahan Panas Terhadap Arus Singkat (Isc).....	84
4.5.4 Pengaruh Perpindahan Panas Terhadap Daya <i>Output</i> ...	85
4.5.5 Pengaruh Perpindahan Panas Terhadap Efisiensi.....	87
4.6 Perhitungan Tebal Lapisan Batas (<i>Boundary Layer Thickness</i>) Konvektif Pada Panel Surya Dengan Variasi Kecepatan Angin ..	88
4.6.1 Perhitungan Tebal Lapisan Batas (Boundary Layer Thickness) Pada Panel Surya dengan variasi kecepatan angin dengan Kecepatan Angin 2.30 m/s	88
4.7 Kecepatan Angin Yang Sesuai Untuk Panel Surya Yang Berada Di Kota Pekanbaru	91
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	93
5.1 Kesimpulan	93
5.2 Saran	96

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Matahari sebagai sumber energi	6
2.2 Energi yang digunakan bumi dari radiasi matahari	7
2.3 Bentuk gelombang yang dibawa foton.....	8
2.4 Beberapa sudut penting energi surya	10
2.5 Modul panel surya.....	11
2.7 Panel surya monokristalin dan polikristalin.....	12
2.8 Panel surya <i>thin-film</i>	13
2.9 Tiga teknologi <i>Thin-film</i>	13
2.10 Diagram skematik sel surya yang menunjukkan lapisan tipe-n dan tipe-p	14
2.11 Ilustrasi semikonduktor pada <i>solar cell</i>	15
2.12 Proses pengubahan energi matahari menjadi energi listrik pada sel surya	16
2.13 <i>Forced air cooling</i>	17
2.14 Pengaruh temperature terhadap tegangan dan arus yang keluar pada kinerja panel surya.....	18
2.15 Pengaruh dari temperature panel pada parameter keluaran	19

2.16 <i>Back of solar panel using heat sink</i>	21
2.17 Tampilan penampang model kolektor <i>PVT / AIR</i>	22
2.18 Perpindahan panas pada benda padat	24
2.19 Perpindahan panas secara konveksi	25
2.20 Perpindahan panas radiasi antara permukaan	26
2.21 Perpindahan panas yang terjadi pada panel surya.....	27
2.22 <i>Pyranometer</i> tipe LP02 <i>manual</i> V1216	27
2.23 Karakteristik tegangan arus dan kurva daya	29
2.24 Kurva I-V terhadap tingkat irradiance dan temperatur yang tetap-----	30
2.25 Kemampuan sel surya pada beberapa variasi temperatur	31
2.26 Karakteristik tegangan-arus pada silikon <i>photovoltaic</i>	32
3.1 Gedung C fakultas teknik Universitas Islam Riau	36
3.2 Diagram alir	37
3.3 <i>Anemometer</i>	39
3.4 <i>Multimeter</i>	40
3.5 <i>Clampmeter</i>	40
3.6 <i>Pyranometer</i>	41
3.7 <i>Thermometer Couple</i>	42
3.8 <i>Humidity meter</i>	53

3.9 Kipas angin	53
3.10 Modul panel surya tipe 180 WP.....	55
3.11 Kondisi saat pengambilan data	57
3.12 Tebal lapisan batas kecepatan.....	57
3.12 Tebal lapisan batas thermal.....	58
4.1 Grafik Intensitas cahaya matahari dan temperatur permukaan panel terhadap waktu pada kecepatan angin yang berbeda.....	62
4.2 Grafik variasi kecepatan angin terhadap tegangan terbuka	66
4.3 Grafik variasi kecepatan angin terhadap arus singkat.....	67
4.4 Grafik pengaruh variasi kecepatan angin terhadap daya <i>ouput</i>	77
4.5 Grafik nilai efisiensi terhadap kecepatan angin yang berbeda.....	78
4.6 Grafik laju perpindahan panas terhadap tegangan terbuka	83
4.7 Grafik laju perpindahan panas arus singkat terhadap waktu.....	84
4.8 Grafik laju perpindahan panas daya <i>output</i> terhadap waktu	86
4.9 Grafik laju perpindahan panas efisiensi terhadap waktu	87
4.10 Grafik variasi kecepatan angin terhadap <i>boundary layer thickness</i>	90

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Kecepatan dan arah angin di Kota Pekanbaru pada tahun 2019	11
2.2 Alat ukur radiasi matahari	28
3.1 Jadwal kegiatan penelitian	45
4.1 Data penelitian dengan kecepatan angin 0 m/s	60
4.2 Data penelitian dengan kecepatan angin 2,30 m/s	61
4.3 Data penelitian dengan kecepatan angina 3,11 m/s	61
4.4 Data penelitian dengan kecepatan angina 3,60 m/s	61
4.5 Data hasil perhitungan pada kecepatan angin 0 m/s	77
4.6 Data hasil perhitungan pada kecepatan angin 2,30 m/s	78
4.7 Data hasil perhitungan pada kecepatan angin 3.11 m/s	78
4.8 Data hasil perhitungan pada kecepatan angin 3.60 m/s	78
4.5 Data perhitungan laju perpindahan panas	86
4.6 Data hasil perhitungan tebal lapis batas	88
4.9 Kecepatan dan arah angin di Kota Pekanbaru pada tahun 2019	91

DAFTAR NOTASI

	Simbol	Satuan
<i>Nearly Zero Energy Building</i>	NZEB	
<i>Northwest</i> (Barat Laut)	NW	
<i>Northeast</i> (Timur Laut)	NE	
<i>South</i> (Selatan)	S	
Laju perpindahan panas	q	W
Koefisien konveksi	h	$W/m^2.K$
Luas Permukaan	A	m^2
Temperatur dinding	T_s	K
Temperatur udara	T_∞	K
Konduktivitas termal	k	$W/m.K$
Panjang lintasan bidang datar	m	l
Bilangan <i>Nusselt</i>	Nu	
Daya input akibat Radiasi matahari	P	W
Tegangan rangkaian terbuka pada panel surya	V_{oc}	V
Arus hubung singkat pada panel surya	I_{sc}	A
<i>Fill Factor</i>		

Maximum power point voltage	V_{mp}	V
Maximum power point current	I_{sc}	A
Intensitas cahaya matahari	I	W/m^2
Efisiensi Panel Surya	η	



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sumber energi alternatif menjadi isu dunia untuk mengantisipasi keterbatasan sumber daya bahan bakar fosil. *Solar cell* merupakan sumber paling mudah untuk diperoleh karena tersedia sepanjang tahun. Energi foton terbentuk dari dua bentuk yaitu dari panas dan cahaya. Kedua bentuk tersebut dapat dikonversikan menjadi energi listrik. Ketika mengkonversikan cahaya menjadi energi listrik, unjuk kerja dari *solar cell* mengalami penurunan akibat munculnya panas dari permukaan panel surya. Efisiensi dari *solar cell* menurun menjadi 0,5% setiap kenaikan 1°C sebagai hasil dari energi panas. (Pradhan, 2016)

Peningkatan suhu pada panel surya terjadi karena bahan penghantar panel surya terdiri dari elektron bebas dan beberapa elektron dipegang erat oleh inti atom. Ketika radiasi meningkat, lebih banyak foton mencapai panel dan energi ini diserap oleh atom dan elektron. Kemudian bertabrakan satu sama lain memancarkan lebih banyak elektron dari atom sehingga meningkatkan suhu. Peningkatan suhu menyebabkan peningkatan resistensi terhadap aliran arus yang mengakibatkan efisiensi panel surya lebih rendah.

Mendinginkan panel menggunakan metode pendinginan yang sesuai dapat mengatasi sebagian masalah ini. Hal ini akan membantu meningkatkan output daya per

area meter persegi dan mengurangi keseluruhan biaya. Banyak teknik pendinginan yang dapat digunakan untuk mendinginkan panel surya dan meningkatkan kinerja kelistrikannya yaitu dengan metode pendinginan aktif dan pasif dengan media pendingin berbeda.

Jia Yang (2013) dalam penelitiannya membuat eksperimen untuk menyelidiki dampak kecepatan angin pada kinerja susunan panel surya. Kisaran kecepatan angin bervariasi dari 2 hingga 8 m/s. Hasil percobaan yang dilakukan, peningkatan kecepatan angin meningkatkan daya yang dihasilkan oleh panel surya. Armstrong dkk (2010) menganalisis perpindahan panas dari permukaan panel surya dalam kondisi kecepatan angin yang bervariasi. Variabel kecepatan angin adalah 0,77 m/s, 2,14 m/s dan 5,76 m/s untuk analisis laju perpindahan panas. Diperoleh hasil bahwa 5.76 m/s kecepatan angin dapat ditransfer lebih banyak panas yang dihasilkan oleh panel surya dibandingkan nilai kecepatan angin lainnya.

Panas berlebih secara signifikan mengurangi efisiensi keseluruhan panel surya. Oleh karena itu untuk mengatasi masalah ini, sistem pendingin ditempatkan untuk menghilangkan peningkatan suhu permukaan panel yang berlebihan. Oleh karena itu penulis mengangkat suatu ide untuk melakukan suatu penelitian dengan membuat sistem pendingin di atas permukaan panel dengan memvariasikan kecepatan angin dan mengetahui pengaruhnya terhadap kinerja panel surya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, penulis merumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh *air cooling system* dengan variasi kecepatan angin terhadap kinerja panel surya?
2. Bagaimana pengaruh perpindahan panas dengan variasi kecepatan angin pada permukaan panel terhadap kinerja panel surya?
3. Apakah variasi kecepatan angin berpengaruh terhadap tebal lapisan batas konvektif pada permukaan panel?
4. Berapa kecepatan angin yang sesuai untuk meningkatkan kinerja panel surya di Kota Pekanbaru?

1.3 Tujuan Penelitian

Dalam perkembangan ilmu pengetahuan di bidang teknologi dituntut mengetahui lebih lanjut, mengetahui lebih baik secara teori maupun aplikasi pemakaian dilapangan sehingga tujuan yang hendak di capai dalam penelitian diantaranya yaitu:

1. Untuk mengetahui pengaruh *air cooling system* dengan variasi kecepatan angin terhadap kinerja panel surya
2. Untuk mengetahui pengaruh perpindahan panas terhadap kinerja panel surya dengan variasi kecepatan angin

3. Untuk mengetahui pengaruh variasi kecepatan angin terhadap tebal lapisan batas konvektif pada permukaan panel
4. Untuk mengetahui kecepatan angin sesuai yang dapat meningkatkan kinerja panel surya di Kota Pekanbaru

1.4 Batasan Masalah

Agar didapat hasil yang baik maka didalam penulisan ini perlu adanya pembatasan masalah. Pembatasan masalah ini adalah untuk menyederhanakan permasalahan agar dapat mmemberika arahan pemahaman secara mudah. Dalam penulisan ini batasan permasalahan yang dimbl adalah:

1. Variasi kecepatan angin yang dilakukan untuk penelitian adalah 0 m/s, 2,30 m/s, 3,11 m/s dan 3,60 m/s
2. Panel surya yang digunakan adalah panel surya tipe 180 WP
3. Perpindahan panas yang diteliti adalah perpindahan panas secara konveksi
4. Penelitian ini difokuskan pada pengambilan data arus *short circuit* (I_{sc}), tegangan *open circuit* (V_{oc}), intensitas cahaya matahari (W/m^2), temperatur permukaan (T_s), temperatur udara (T_{∞}), daya (P), dan efisiensi panel surya
5. Posisi panel 15° arah utara

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil dari dilakukannya penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat antara lain:

- a. Bagi penulis.

Penelitian ini berguna untuk menambah wawasan dan pengetahuan mengenai penambahan pendingin pada panel surya terhadap unjuk kerja panel surya 180 WP.

- b. Bagi akademik.

Penelitian ini dapat memberikan sedikit masukan dan informasi yang diharapkan mampu memberikan manfaat baik dalam bidang akademik maupun dalam bidang praktisi.

- c. Bagi peneliti selanjutnya.

Penelitian ini berguna untuk memberikan masukan bagi peneliti selanjutnya dan menjadikan penelitian ini sebagai informasi pelengkap dalam penyusunan penelitian yang sejenis.

1.6 Sistematika Penulisan

Penyusunan ini bisa dijadikan untuk tugas akhir terbagi dalam lima bab secara garis besar dapat dijelaskan sebagai berikut:

Bab I : Memaparkan latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian dan sistematika penulisan

Bab II : Memaparkan tentang energi surya, angin, panel surya, pendinginan panel, panel surya, perpindahan panas, dan rumus perhitungan

Bab III: Membahas tentang metode penelitian yang dilakukan yaitu: diagram alir waktu dan tempat penelitian, alat uji, prosedur penelitian, model penelitian, dan jadwal penelitian

Bab IV: Hasil dan pembahasan berisikan tentang parameter dan hasil pengujian sebagai hasil yang telah diteliti

Bab V : Penutup berisikan kesimpulan dan saran yang didapatkan setelah penelitian



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

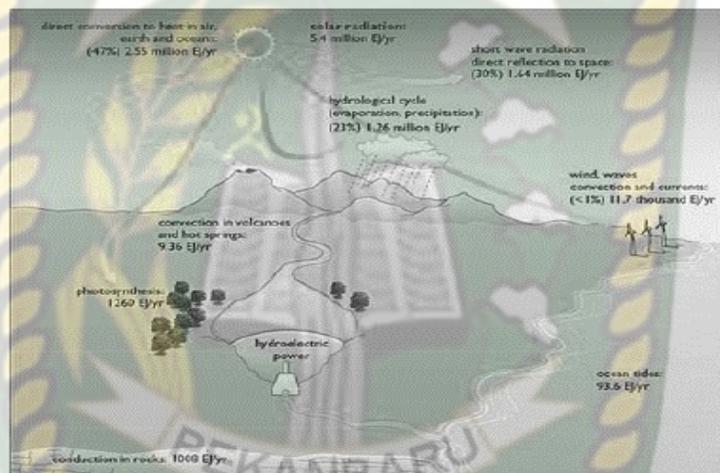
2.1 Energi Surya

Energi bertenaga matahari digunakan sebagai sumber bahan bakar elektif yang potensial, terutama dilihat dari sumber yang memancarkan energi yang sangat besar dan menghabiskan sebagian besar hari. Selain itu, energi berbasis sinar matahari dituntut untuk memiliki pilihan untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik yang ramah terhadap iklim, sehingga jika energi ini dikelola dengan baik dapat diandalkan untuk dapat mengatasi permasalahan daerah setempat. Untuk energi listrik. Banyak bisnis baru fotovoltaik menarik spekulasi dari pengusaha dan bahkan organisasi minyak.

Indonesia merupakan negara tropis yang memiliki potensi energi berorientasi matahari yang tinggi dengan memanfaatkan radiasi (insolasi) harian normal sebesar 4,5 kWh/m²/hari (Solarex, 1996). Ini merupakan potensi yang luar biasa bagi Indonesia seperti halnya wilayah geologis Indonesia yang berada di hutan belantara dengan terik matahari secara konsisten. Ada dua macam inovasi dalam pemanfaatan energi berorientasi matahari, yaitu inovasi energi panas matahari dan energi surya berbasis fotovoltaik.

Iradiasi matahari adalah radiasi yang dipancarkan matahari yang telah disalurkan melalui atmosfer bumi. Iradiasi diukur dengan satelit di dekat permukaan

luar bumi atmosfer dan disebut konstanta matahari, yaitu 1361 W/m^2 . Radiasi matahari yang berasal dari sebelum mencapai tanah, matahari dilemahkan oleh atmosfer bumi, yang dapat diklasifikasikan di dalamnya dua tipe luas, tanpa dan dengan awan. Tergantung pada hamburan dan penyerapan di atmosfer nilai radiasi akhir mencapai tanah dan modul PV dapat memanfaatkan 1000 W/m^2 . Untuk besaran intensitas sinar matahari di Pekanbaru bisa mencapai 1100 W/m^2



Gambar 2.1 Matahari sebagai sumber energi (<http://openlearn.open.ac.uk>)

Radiasi matahari ke atmosfer bumi sesungguhnya relative konstan dan setiap saat radiasi total yang diterima dipermukaan selalu sama. Meskipun begitu, disetiap belahan bumi lain terdapat perbedaan radiasi matahari karena beberapa hal, seperti efek atmosfer yang menyebabkan adanya perbedaan penyerapan dan hamburan cahaya matahari serta variasi lokal di atmosfer yang mencakup uap air, awan, dan polusi. Faktor lain yang juga mempengaruhi ialah posisi lokasi garis lintang dan perubahan musim setiap tahun serta perubahan waktu akibat rotasi bumi. Faktor lain yang juga

mempengaruhi adalah letak lokasi garis lintang dan perubahan musim setiap tahun serta perubahan waktu akibat rotasi bumi. Insolasi (*incoming solar radiation*) adalah jumlah radiasi matahari yang mencapai bumi atau disebut juga sebagai insiden radiasi. Ada tiga macam radiasi matahari mencapai permukaan bumi, yaitu

a. Radiasi langsung (*Beam/Direct Radiation*)

Radiasi langsung adalah radiasi yang mencapai bumi tanpa perubahan arah atau radiasi yang diterima oleh bumi dalam arah sejajar sinar datang.

b. Radiasi hambur (*Diffuse Radiation*)

Radiasi hambur adalah radiasi yang mengalami perubahan akibat pemantulan dan penghamburan.

c. Radiasi total (*Global Radiation*)

Radiasi total adalah penjumlahan radiasi langsung (*direct radiation*) dan radiasi hambur (*diffuse radiation*).

Berdasarkan data NASA (2013), Indonesia memiliki intensitas radiasi matahari sekitar 4-5 kWh/m²/hari. Sementara intensitas tertinggi berada di Huanceyo, Peru, yaitu sekitar 7.79 kWh/m²/hari. Bahkan, intensitas matahari di daerah tersebut tidak kurang dari 6 kWh/m²/hari sehingga sangat potensial untuk dikembangkan di daerah tersebut.

Energi matahari merupakan pemanfaatan kekuatan matahari untuk menghasilkan energi. Energi matahari merupakan energi terbarukan dan ramah terhadap lingkungan. Energi matahari berasal dari respon kombinasi atom yang

berstruktur di pusat matahari. Gelombang elektromagnetik merupakan gambaran energi yang berasal dari matahari. Dari seluruh energi berbasis sinar matahari yang diperoleh permukaan dunia, hanya 69% yang dapat dimanfaatkan untuk diubah menjadi energi listrik.



Gambar 2.2 Energi yang digunakan bumi dari radiasi matahari (Brian Yulianto, 2017)

Sinar matahari adalah jenis radiasi elektromagnetik dan cahaya tampak yang kita lihat adalah bagian kecil dari jangkauan elektromagnetik. Rentang atraktif menggambarkan cahaya sebagai gelombang yang memiliki frekuensi tertentu. Energi berorientasi matahari yang ditransmisikan dapat berupa aliran partikel. Ini dikenal sebagai dualisme gelombang cahaya yang dijelaskan lebih lanjut dalam mekanika kuantum. Dalam mekanika kuantum, foton tampak seperti cahaya atau partikel yang bergantung pada keadaan. Sementara itu, dalam pandangan penggambaran yang sebenarnya, sifat-sifat cahaya memerlukan hipotesis mekanika kuantum cahaya



Gambar 2.3 Bentuk gelombang yang dibawa foton (Brian Yulianto, 2017,)

Dalam teori radiasi dan energi matahari digunakan beberapa hukum yaitu hukum perpindahan Wien (hukum perpindahan Wien) dan hukum stefan-boltzam. Hukum perpindahan Wien menyatakan bahwa benda hitam pada suhu konstan akan menyerap semua radiasi yang diterimanya, dan panjang gelombang maksimum yang diterima sama dengan suhu benda. Secara bersamaan, hukum Stephen-Boltzmann menyatakan bahwa transisi habis-habisan yang ditransmisikan oleh benda gelap di semua frekuensi relatif terhadap suhu, setara dengan gaya 4 benda, dan sedikit perubahan suhu akan mempengaruhi energi yang dikeluarkan oleh matahari. .

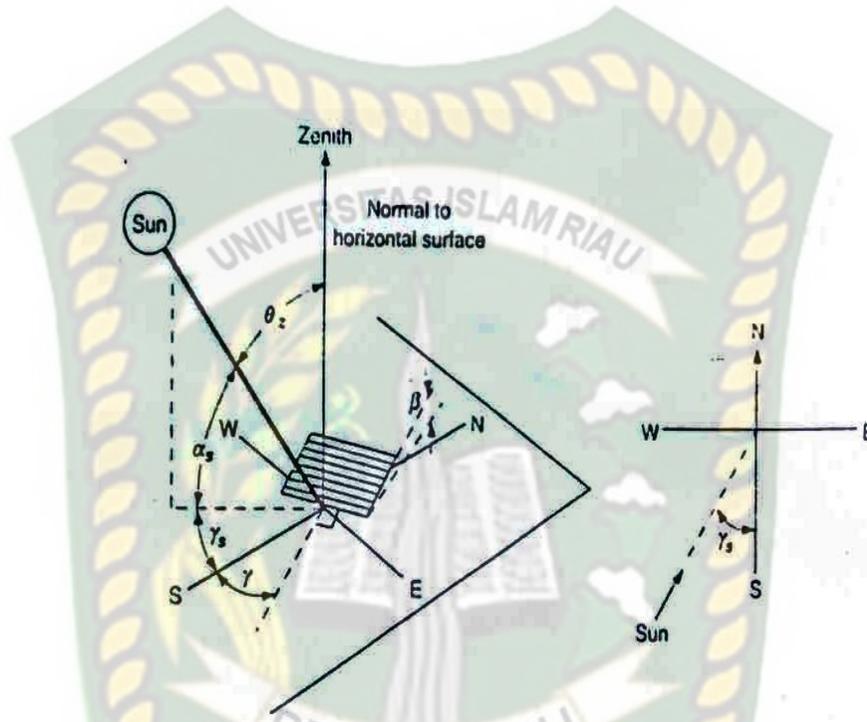
Ada beberapa cara untuk mendapatkan radiasi matahari yang lebih banyak, yaitu dengan mengatur posisi modul surya yang dapat diatur dengan cara menentukan sudut kemiringan, sudut deklinasi, lintang dan bujur, sudut zenith, sudut datang matahari, azimuth dan sudut permukaan serta sudut jam matahari terhadap pergerakan arah matahari. Dan sudut antara matahari dan pergerakan matahari. Metode kedua adalah menggunakan cermin.

Posisi matahari di bumi relatif terhadap modul sel surya (fotovoltaik) dapat dijelaskan dari beberapa sudut. Beberapa sudut tersebut dapat dilihat pada Gambar

2.4. Sudut-sudut itu adalah:

- a. ϕ , *latitude* (garis lintang) : Sudut lokasi di sebelah utara atau selatan dari equator (khatulistiwa), utara positif ; $-90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$.
- b. δ , *declination* (deklinasi) : Sudut posisi matahari saat *solar noon* yang berhubungan terhadap bidang khatulistiwa, utara positif; $-23,45^\circ < \delta < 23,45^\circ$.
- c. β , *slope* (kemiringan) : Sudut antara permukaan bidang yang ditanyakan dengan permukaan horisontal ; $0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$.
- d. γ , *surface azimuth angle* (sudut permukaan azimuth) : Proyeksi ke bidang horisontal normal terhadap permukaan dari lokasi bujur, dengan nol menghadap selatan, timur negatif, barat positif ; $-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$.
- e. ω , *hour angle* (sudut jam) : Sudut penyimpangan matahari di sebelah timur atau barat garis bujur lokal karena rotasi pada porosnya sebesar 15° per jam ; sebelum jam 12.00 negatif, setelah jam 12.00 positif.
- f. θ , *angle of incidence* (sudut datang) : Sudut antara permukaan radiasi langsung normal vertikal terhadap radiasi langsung vertikal kolektor.
- g. θ_z , *zenith angle* (sudut zenith) : Sudut antara garis vertikal bidang normal dan garis datang sinar matahari.
- h. α_s , *solar altitude angle* (sudut ketinggian matahari) : Sudut antara garis horisontal dengan garis matahari datang.

i. γ_s , *solar azimuth angle* (sudut azimuth matahari) : sudut penyimpangan dari selatan dengan proyeksi radiasi langsung pada bidang horisontal. Penyimpangan ke sebelah timur adalah negatif dan ke sebelah barat adalah positif.



Gambar 2.4 Beberapa Sudut Penting Energi Surya (Brian Yulianto, 2017)

2.2 Angin

Angin merupakan udara yang bergerak di bumi yang diakibatkan oleh berbagai macam hal, salah satu diantaranya karena bumi berputar atau berotasi. Perbedaan tekanan udara disekelilingnya menyebabkan udara bergerak. Prinsip udara ialah bergerak dari tempat yang bertekanan tinggi ke tempat bertekanan rendah. Suhu juga mempengaruhi pergerakan udara. Daerah yang panas karena menerima lebih banyak matahari, suhunya akan tinggi dan tekanannya rendah. Sebaliknya, wilayah dengan

suhu yang rendah, tekanannya tinggi. Alat pengukur angin disebut sebagai anemometer. Berdasarkan data BMKG (2019) arah dan kecepatan angin di Pekanbaru adalah:

Tabel 2.1 Kecepatan dan arah angin di Kota Pekanbaru pada tahun 2019

No	Bulan	Kecepatan Angin (Knot)		
		Kecepatan Maximum	Kecepatan Rata-Rata	Arah
1.	Januari	22	7	NW(260°)
2.	Februari	28	6	NE(260°)
3.	Maret	36	7	NW(030°)
4.	April	35	6	NW(260°)
5.	Mei	23	6	S(160°)
6.	Juni	23	7	S(170°)
7.	Juli	16	8	NW(180°)
8.	Agustus	17	10	NW(260°)
9.	September	26	7	S(150°)
10.	Oktober	27	6	NW(150°)
11.	November	22	6	VRB(350°)
12.	Desember	18	6.8	NE(050°)
Total		293	82.8	

Keterangan: NW = Northwest (Barat Laut)

NE = Northeast (Timur Laut)

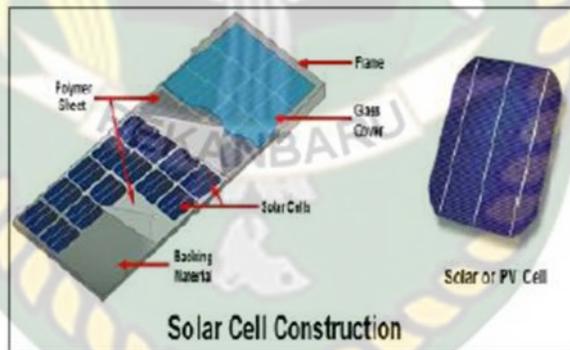
S = South (Selatan)

Sumber: Data BMKG pada tahun 2019

2.3 Panel Surya

Panel surya merupakan alat yang mempunyai peran yang sangat penting dalam pembangkit listrik tenaga surya (PLTS). Panel surya berfungsi untuk mengkonversi energi surya menjadi energi dalam bentuk listrik. Rangkaian sel surya dalam sebuah panel surya dapat dihubungkan secara seri maupun parallel. Sel surya yang akan mengkonversi cahaya matahari menjadi sumber energi listrik.

Pada sel surya terdapat sel *photovoltaic* yang dapat merubah energi cahaya matahari langsung menjadi listrik oleh efek *photovoltaic*. Fungsi sel surya adalah menangkap energi yang terdapat pada sinar matahari secara langsung. Panel surya mempunyai beberapa jenis yaitu polikristalin, monokristal, silikon amorphous.



Gambar 2.5 Modul panel surya (Mira Martawati, 2018)

Photovoltaic merupakan salah satu teknologi yang tumbuh pesat untuk energi terbarukan dan diharapkan bahwa teknologi tersebut akan menjadi peran penting dalam pembangkit energi dimasa depan. Teknologi *photovoltaic* bisa dimanfaatkan

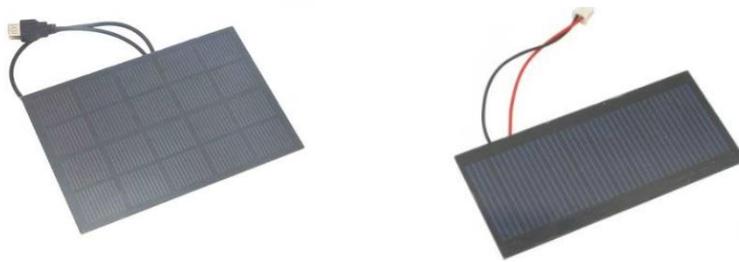
dalam skala yang bervariasi, dari *solar cell* yang terintegrasi dalam sebuah *Solar lantern*, untuk sebuah sistem baterai pada solar sistem pada sebuah rumah atau sekolah.

Untuk referensi, hal yang penting yang perlu dipertimbangkan bahwa energi maksimum yang datang dari matahari berkisar 1000 W/m^2 *at Peak Hour of sunshine* (Irradiasi). Efisiensi terbaik yang ada pada *solar cell* komersial adalah kisaran 16%-22%. Kemudian satu meter persegi *photovoltaic* panel bisa menyediakan kapasitas elektrik dari 220 W. Efisiensi terbesar bisa dicapai dengan menggunakan layer yang berbeda dalam satu sell atau dengan mengkonstrasikan cahaya matahari. (Sustainable Energy Handbook, 2016)]

Terdapat beberapa tipe dari teknologi PV yang telah dikembangkan dan di klasifikasikan sebagai berikut.

1. *Crystalline Silicon*

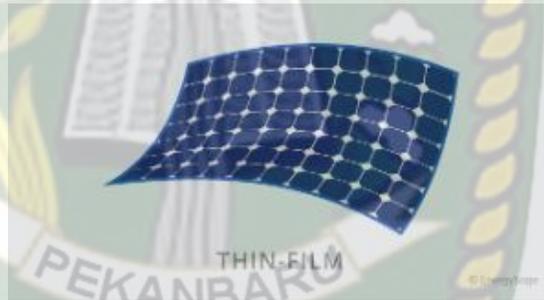
Teknologi ini menggunakan wafer-based crystalline silicon (c-Si) teknologi, bahkan untuk Monocrystallin (sc-SI) atau multi-crystalline (mc-Si). Sel silikon kristal dapat dipasang ke panel berbingkai atau panel tanpa bingkai yang cocok untuk integrasi atap. Efisiensi sel tertinggi untuk mono crystalline cell pada komersial adalah 22.5 % dan multi crystalline cells mempunyai sekitar 18%.



Gambar 2.7 Panel surya monokristalin dan polikristalin (<https://energypedia.info>)

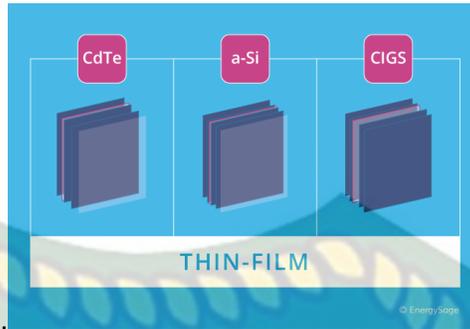
2. *Thin-film cells*

Teknologi *thin-film* mengurangi banyak material yang dibutuhkan dalam membuat material aktif dari sel surya. Kebanyakan sel surya film tipis diapit di antara dua anel kaca untuk membuat modul tanpa bingkai. Karena panel surya silikon hanya menggunakan satu panel kaca, panel film tipis kira-kira dua kali lebih berat dari panel silikon kristal. Maoritas panel film tipis memiliki efisiensi konversi 2% hingga 3% lebih rendah daripada silikon.



Gambar 2.8 Panel surya thin-film (<https://energypedia.info>)

Kadmium telurida (CdTe), Tembaga indium gallium selenide (CIGS) dan silikon amorf (A-Si) adalah tiga teknologi film tipis. Jangkauan efisiensi tertinggi adalah sekitar 20% dengan Cadmium Tellurida (CdTe) dan CIGS. Pangsa Pasar PV film tipis adalah sekitar 11% dari semua PV yang diproduksi.



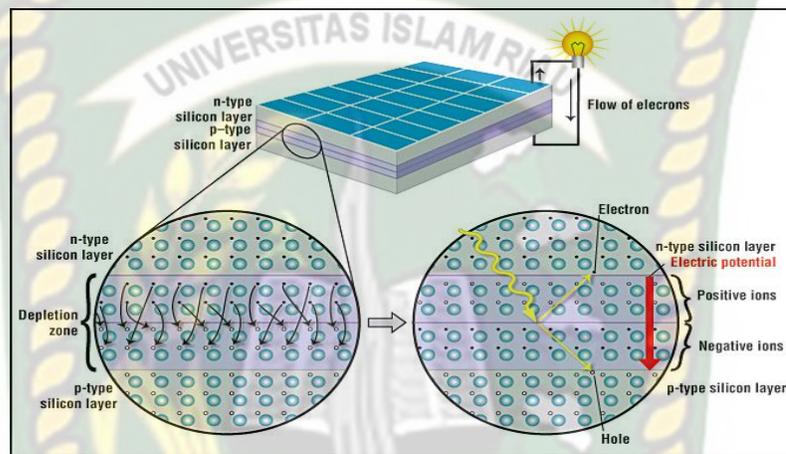
Gambar 2.9 Tiga teknologi *Thin-film* (<https://www.energysage.com>)

2.3.1 Semikonduktor dan Sel Surya

Sebuah semikonduktor adalah sebuah elemen dengan kemampuan listrik di antara sebuah konduktor dan isolator. Bagian dari semikonduktor pada panel surya terbuat dari dua tipe yaitu silikon p-type dan n-type. Silikon p-type diproduksi dengan menambahkan atom-atom seperti boron atau gallium. Yang memiliki satu elektron lebih sedikit di tingkat energi terluarnya dari pada silikon, karena boron memiliki satu elektron kurang dari yang dibutuhkan untuk membentuk ikatan dengan atom silikon sekitarnya, sehingga terjadi kekosongan elektron atau lubang pada elektron. Silikon tipe-n dibuat dengan memasukkan atom-atom yang memiliki satu lebih banyak elektron di tingkat terluarnya daripada silikon, seperti fosfor. Tingkat energi luar fosfor memiliki lima elektron, bukan empat. Ini terikat dengan atom silikon yang berdekatan, tetapi elektron tidak berpartisipasi dalam ikatan. Sebaliknya, ia dapat bergerak bebas di dalam struktur silikon.

Sel surya terdiri dari lapisan silikon tipe-p yang ditempatkan di samping lapisan silikon tipe-n (Gambar 2.12). Pada lapisan tipe-n, terdapat kelebihan elektron, dan pada

lapisan tipe-p, terdapat kelebihan lubang bermuatan positif (yang merupakan kekosongan karena kurangnya elektron valensi). Dekat persimpangan dua lapisan, elektron di satu sisi persimpangan (lapisan tipe-n) pindah ke lubang di sisi lain persimpangan (lapisan tipe-p). Ini menciptakan area di sekitar persimpangan, yang disebut zona depleksi, tempat elektron mengisi lubang.



Gambar 2.10 Diagram skematik sel surya yang menunjukkan lapisan tipe-n dan tipe-p
 (<https://www.acs.org>)

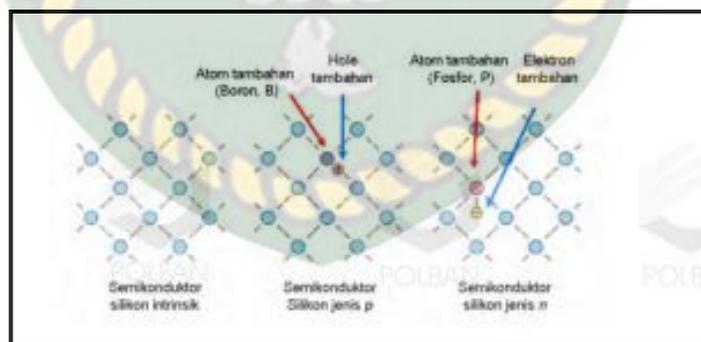
Ketika semua lubang diisi dengan elektron di zona penipisan, sisi tipe-p dari zona penipisan (di mana lubang awalnya ada) sekarang mengandung ion bermuatan negatif, dan sisi tipe-n dari zona penipisan (di mana elektron hadir) sekarang mengandung ion bermuatan positif. Kehadiran ion-ion bermuatan berlawanan ini menciptakan medan listrik internal yang mencegah elektron pada lapisan tipe-n untuk mengisi lubang pada lapisan tipe-p.

Ketika sinar matahari mengenai sel surya, elektron dalam silikon dikeluarkan, yang menghasilkan pembentukan "lubang" kosong yang ditinggalkan oleh elektron

yang lepas. Jika hal ini terjadi pada medan listrik, medan akan memindahkan elektron ke lapisan tipe-n dan melubangi lapisan tipe-p. Jika Anda menghubungkan lapisan tipe-n dan tipe-p dengan kabel logam, elektron akan bergerak dari lapisan tipe-n ke lapisan tipe-p dengan melintasi zona penipisan dan kemudian melalui kabel eksternal di belakang n- jenis lapisan, menciptakan aliran listrik.

2.3.2 Prinsip Kerja Panel surya

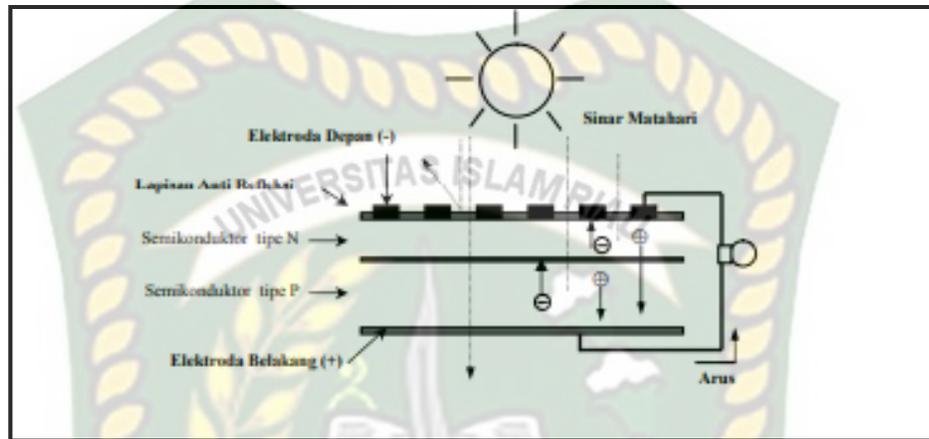
Proses konversi cahaya matahari menjadi ebergi listrik diakibatkan dari material penyusun berupa semikonduktor. Lebih tepatnya tersusun atas dua jenis bahan semikonduktor, yaitu jenis n dan p. Semikonduktor jenis n memiliki kelebihan elektron sedangkan semikonduktor jenis p memiliki kelebihan hole atau muatan positif. Kondisi kelebihan elektron dan hole dapat terjadi dengan mendoping material dengan atom dopant. Sebagai contoh untuk mendapatkan silikon tipe-p, silikon di doping oleh atom boron, sedangkan untuk material silikon tipe-n, silikon didoping oleh atom fosfor.



Gambar 2.11 Ilustrasi semikonduktor pada *solar cell* (Panel surya.com, 2010)

Secara sederhana sel surya terdiri dari persambungan bahan semikonduktor bertipe p dan n (*p-n junction smikonduktor*) yang jika tersinar matahari maka akan

terjadi pergerakan elektron, aliran elektron inilah yang disebut dengan arus listrik. Proses perubahan energi matahari menjadi energi listrik ditunjukkan dalam gambar 2.13



Gambar 2.12 Proses perubahan energi matahari menjadi energi listrik pada sel surya

Ketika matahari yang terdiri atas foton-foton jatuh pada permukaan bahan sel surya akan diserap, dipantulkan atau dilewatkan begitu saja. Dan hanya foton dengan tingkat energi tertentu yang akan membebaskan elektron dari ikatan atomnya, sehingga mengalir arus listrik. Tingkat energi ini disebut energi *band-gap* yang di definisikan sebagai jumlah 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 dapat dialirkan ke rangkaian luar. Untuk membebaskan elektron dari ikatan kovalennya, 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.

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 ataupun parallel untuk menghasilkan tegangan, arus, atau daya yang tinggi.

2.3.3 Panel Surya Menggunakan Sistem Pendingin

Metode pendinginan pada panel surya terdiri atas dua macam yaitu pendinginan secara aktif dan pasif. Pendinginan secara aktif memerlukan tenaga eksternal untuk menggerakkan pompa atau kipas yang bekerja sedangkan pada pendinginan pasif tidak memerlukan tenaga eksternal. Mazon-Hernandez (2013) melakukan penelitian pendinginan dengan konveksi paksa udara, menggunakan kipas untuk mendinginkan bagian belakang dari modul panel surya seperti pada gambar 2.10. Dari penelitian

tersebut bahwa kenaikan efisiensi adalah 2% dan penurunan maksimum pada temperature sel adalah 15°C, dimana jarak antara modul dan atap, aliran masaa udara, dan temperature ambient sangat berpengaruh pada kinerja sistem panel surya.

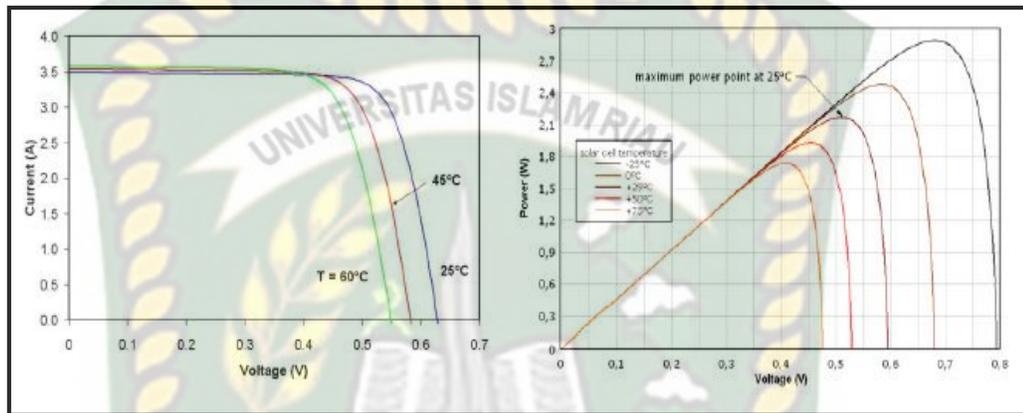


Gambar 2.13 *Forced air cooling* (Mazón-Hernández, 2013)

2.3.3.1 Pengaruh Pendinginan Terhadap Kinerja Panel Surya

Photovoltaics secara langsung mengubah radiasi matahari menjadi listrik. Setiap sel terdiri atas material semikonduktor, p-type dan n-type. Ketika cahaya matahari menyentuh permukaan panel akan menghasilkan tegangan dan arus. Sel-sel bisa berupa polikristalin, yang terdiri dari banyak kristal silikon, atau kristal tunggal, yang berasal dari kristal besar. Sel monokristalin memiliki efisiensi dan biaya konversi yang lebih tinggi. Hal ini menimbulkan masalah karena teknologi fotovoltaik saat ini memiliki efisiensi konversi yang relatif rendah yaitu 6-20%. Pada saat yang sama, 80-94% dari insiden radiasi matahari lainnya diubah menjadi panas, yang sangat meningkatkan suhu sel PV dan mengurangi efisiensi.

Daya dari sel fotovoltaik tergantung pada perubahan temperatur dan tingkatan radiasi matahari. Dalam beberapa studi menyatakan bahwa produksi daya maksimum hampir linier dengan temperature operasi. Hal tersebut bisa dilihat pada gambar 2.14, ditandai bahwa nilai tegangan yang dihasilkan oleh PV *cell* mempunyai peningkatan



signifikan ketika temperatur pada sel dalam keadaan sangat baik, tetapi arus mengalami penurunan yang sangat, menyebabkan daya yang dihasilkan menurun.

Gambar 2.14 Pengaruh dari temperature panel pada parameter keluaran
 (<http://www.pvresources.com>)

Kinerja sel surya akan lebih baik saat berada pada iklim dingin dari pada iklim panas. Cara efektif untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi laju penurunan panas pada modul PV adalah dengan mengurangi temperatur pada permukaan panel. Sehingga diperlukan pendinginan pada panel untuk meningkatkan efisiensi panel surya.

Dalam beberapa tahun belakangan telah terdapat beberapa metode yang efektif untuk mendinginkan modul PV. Penelitian sebelumnya membagi 2 kategori dalam

metode mendinginkan yaitu metode pendinginan aktif yang membutuhkan daya dan pendinginan pasif yang tidak memerlukan daya. Pada metode pendinginan aktif membutuhkan pompa dan kipas untuk membantu melakukan koveksi secara paksa pada modul panel surya. sedangkan pada pendinginan pasif tidak membutuhkan daya konsumsi seperti menggunakan heat sink, thermal photovoltaic system (PV/T), kombinasi antara Panel surya dan solar termal. H.G Teo dkk (2012) melakukan penelitian dengan pendinginan pada panel surya dengan sistem pendinginan aktif pada modul panel surya. Untuk mendinginkan pada sel PV disusun sebuah kotak dengan inlet dan outlet yang di desain untuk distribusi aliran udara yang tidak seragam yang dipasang dibelakang model PV. Eksperimen pada penelitian tersebut melakukan dengan menggunakan dan tanpa pendinginan aktif. Tanpa pendinginan aktif, temperature pada modul tinggi dan sel surya mencapai efisiensi 8-9%. Untuk modul yang beroperasi dibawah kondisi sistem pendingin, temperature pada modul menurun secara signifikan dan sel surya mencapai efisinsi 12-14%.

2.4 Air Cooling System

Air cooling system adalah sebuah sistem pendingin menggunakan media udara untuk menurunkan temperature pada benda kerja. Ada dua tipe air cooling system yaitu

1. Heat sink

Heat sink adalah salah satu cara pendinginan yang menggunakan logam dengan konduktivitas termal yang tinggi menghilangkan panas dari sel fotovoltaik. Popovici dkk. (2016) menyelidiki secara numerik penurunan suhu panel PV selama hari yang

cerah di musim panas dengan menggunakan yang berbeda pengaturan heat sink dinding bergaris dan pendingin pasif. Ditemukan bahwas uhu maksimum panel untuk sudut 45° lebih kecil dari suhu untuk sudut 135° .

Hasil penelitian menemukan bahwa daya maksimum yang dihasilkan panel PV jika menggunakan *heat sink* meningkat sebesar 6,97% dan 7,55% dibandingkan dengan kasus referensi, untuk sudut rusuk dari 90° dan 45° , masing-masing. Farhana dkk. (2012) mempelajari secara eksperimental operasi variasi suhu untuk modul PV dengan dan tanpa sistem pendingin aktif untuk menyadari kinerja listrik modul PV.

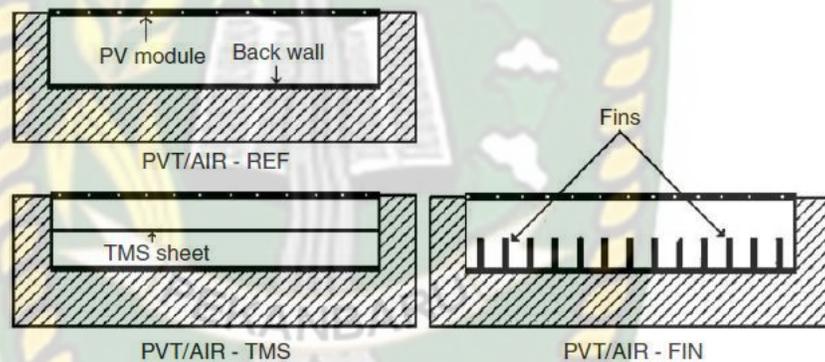


Gambar 2.16 *Back of solar panel using heat sink* (Zubeer, 2017)

2. *Air channels*

Beberapa penelitian meneliti kinerja sel PV dengan pendinginan aktif dengan menggunakan saluran udara yang terhubung ke bagian belakang panel PV. Teo (2012) berkonsentrasi pada perbandingan efisiensi listrik modul PV dengan dan tanpa pendinginan aktif. Studi ini menyelidiki secara eksperimental dan numerik pengaruh suhu operasi terhadap efisiensi sistem surya fotovoltaik hibrida / termal. Diketahui bahwa efisiensi listrik menurun ketika suhu operasi sel meningkat untuk kasus

pendinginan dan non-pendinginan, tetapi untuk kotak pendingin efisiensi listrik lebih tinggi. Tonui dkk (2007) menyelidiki secara eksperimental kinerja kolektor surya PV / T menggunakan sirkulasi udara paksa atau alami untuk mengekstraksi panas. Saluran udara dimodifikasi dengan dua cara berbeda untuk meningkatkan perpindahan panas dari dinding saluran ke aliran udara. Yang pertama adalah memasukkan lembaran logam pipih tipis di tengah saluran (sistem TMS), dan yang kedua adalah menyambungkan sirip persegi panjang di bagian belakang saluran (sistem FIN) seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.17 dibawah ini.



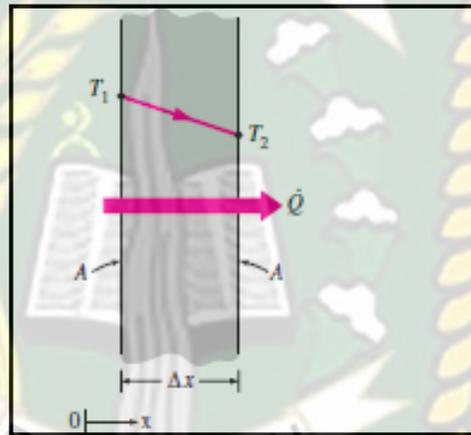
Gambar 2.17 Tampilan penampang model kolektor *PVT / AIR* (Zubeer, 2017)

2.5 Perpindahan Panas

Perpindahan panas adalah proses laju energi dari satu sistem ke sistem lain karena perbedaan temperature. Panas bisa dipindahkan dalam 3 jenis perpindahan, yaitu:

1. Konduksi

Konduksi adalah transfer energi dari partikel yang memiliki panas yang tinggi ke partikel dengan panas yang rendah sebagai hasil dari interaksi antar partikel. Konduksi terjadi pada media benda padat, cair maupun gas. Laju perpindahan panas pada konduksi melalui media tergantung pada bentuk dari media tersebut, ketebalan, dan material benda tersebut



Gambar 2.18 Perpindahan panas pada benda padat (Yunus A. Cengel, 2013)

Laju panas konduksi melalui lapisan bidang sebanding dengan perbedaan suhu diseluruh lapisan dan luas perpindahan panas, tetapi berbanding terbalik dengan ketebalan lapisan. Jadi semakin tebal lapisan pada bidang maka semakin sulit untuk laju aliran panas konduksi mengalir.

Konsep dari perpindahan panas konduksi dilakukan pada kasus dua objek yang saling kontak dimana konduksi terjadi akibat pergerakan panas dari temperatur tinggi ke temperatur yang lebih rendah. *Heat losses* konduktif terjadi pada panel surya karena

gradient termal antara panel surya dan temperatur *ambient*. Dalam satu dimensi dalam koordinat persegi panjang, persamaan berikut dapat dihitung dengan:

$$Q = kA \frac{T_h - T_c}{\Delta X} = -kA \frac{T_c - T_h}{\Delta X} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta X}$$

Keterangan:

Q = Laju perpindahan panas (Watt)

k = Konduktivitas termal (W/m.K)

T_h = Temperatur *hot surface* (K)

T_c = Temperatur *cold surface* (K)

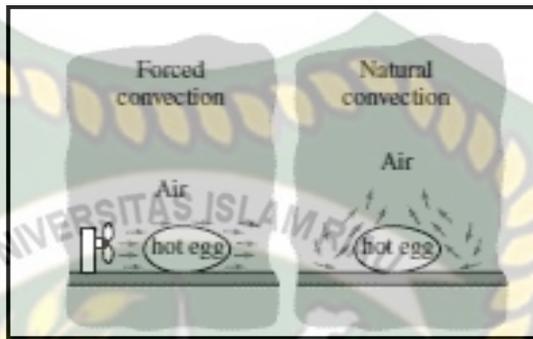
Δx = Tebal panel surya (m)

2. Konveksi

Konveksi adalah jenis perpindahan energi antara permukaan yang padat dan gas yang bergerak, dan itu termasuk akibat kombinasi dari konduksi dan pergerakan fluida. Semakin laju pergerakan fluida, semakin bagus perpindahan panas konveksinya.

Pada perpindahan panas konveksi terdiri atas dua jenis, yaitu konveksi paksa dan konveksi alami. Konveksi paksa adalah konveksi yang terjadi jika fluida dipaksa untuk mengalir pada permukaan dengan bantuan seperti kipas, pompa atau angin. Sedangkan konveksi natural adalah konveksi disebut konveksi paksa jika fluida dipaksa mengalir di atas permukaan dengan cara eksternal seperti kipas angin, pompa, atau angin. Sebaliknya, konveksi disebut konveksi alami (atau bebas) jika gerakan

fluida disebabkan oleh gaya apung yang diinduksi oleh perbedaan densitas akibat variasi suhu dalam fluida. (Gambar 2.19)



Gambar 2.19 Perpindahan panas secara konveksi (Yunus A. Cengel, 2013)

Konveksi paksa digerakkan oleh fluida yang dihasilkan oleh sumber eksternal. Dengan *Newton's law of cooling*, nilai laju perpindahan panas dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$Q = h A (T_s - T_\infty) \dots\dots\dots \text{Pers (2.1)}$$

Keterangan:

Q = Laju perpindahan panas (Watt)

h = Koefisien perpindahan panas konveksi (W/m².K)

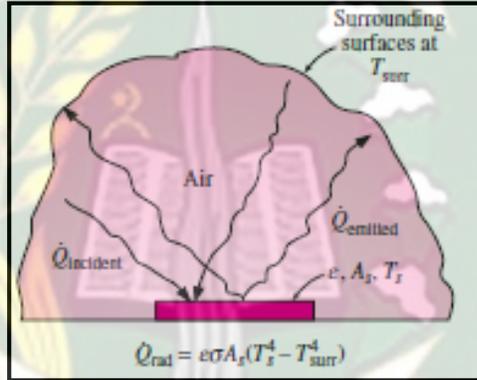
A = Luas Permukaan (m²)

T_s = Temperatur dinding (K)

T_∞ = Temperatur udara (K)

3. Radiasi

Radiasi adalah perpindahan panas akibat gerakan dari gelombang elektromagnetik, tidak seperti konduksi dan konveksi, perpindahan panas secara radiasi tidak membutuhkan media untuk penghantar panas. Faktanya, transfer energi melalui radiasi adalah yang tercepat (dengan kecepatan cahaya) dan tidak ada redaman dalam ruang hampa. Beginilah cara energi matahari mencapai bumi.



Gambar 2.20 Perpindahan panas radiasi antara permukaan (Yunus A. Cengel, 2013)

Ketika panas mencapai permukaan dari benda, panas mungkin akan diserap, dipantulkan atau ditularkan. Energi yang dipancarkan oleh *blackbody* dirumuskan oleh hukum Stefan-Boltzmann sebagai berikut:

$$E_b(T) = \sigma \times T^4$$

Keterangan:

$$E_b(T) = \text{Energi radiasi yang diserap (W//m}^2 \text{)}$$

$$\sigma = \text{Konstanta Stefan-Boltzmann (5,67 x 10}^{-8} \text{ W/m.K}^4 \text{)}$$

T = Temperatur absolut permukaan (K)

2.5.1 Bilangan Nusselt

Perpindahan kalor yang terjadi pada suatu lapisan fluida terjadi melalui proses konduksi dan konveksi. Bilangan Nusselt menyatakan bahwa perbandingan antara perpindahan kalor konveksi pada suatu lapisan fluida dibandingkan dengan perpindahan kalor konduksi pada lapisan fluida tersebut. Dapat ditulis dengan persamaan sebagai berikut:

$$Nu = \frac{h Lc}{k} \dots\dots\dots \text{Pers (2.2)}$$

Keterangan:

h = Koefisien perpindahan panas konveksi (W/m².K)

k = Konduktivitas termal (W/m.K)

l = Panjang lintasan bidang datar (m)

Nu = Bilangan Nusselt

Perpindahan panas melalui lapisan fluida akan terjadi secara konveksi bila fluida melibatkan beberapa gerakan dan dengan konduksi ketika lapisan fluida tidak bergerak. *Heat flux* (laju perpindahan panas per satuan waktu per satuan luas permukaan) dalam kedua kasus akan menjadi

$$\dot{q}_{conv} = h\Delta T$$

dan

$$\dot{q}_{cond} = k \frac{\Delta T}{L}$$

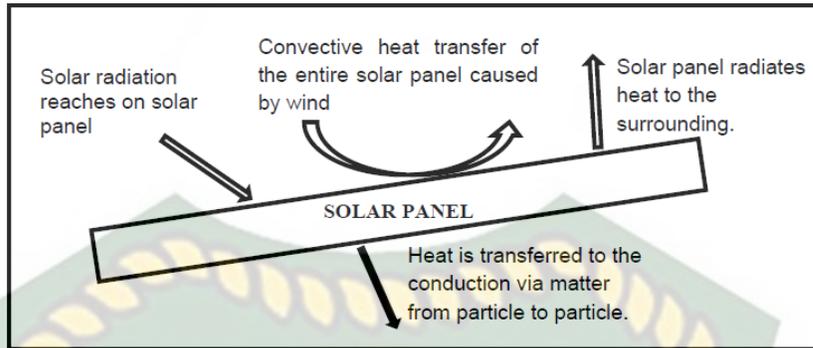
Sehingga rasio dari rumus diatas adalah

$$\frac{Q_{conv}}{Q_{cond}} = \frac{h\Delta T}{k \Delta T/L} = \frac{hL}{k} = Nu$$

yang mana rasio dari heat flux konveksi dan dan konduksi merupakan bilangan Nusselt. Bilangan Nusselt mengindikasikan bahwa peningkatan dari perpindahan panas melalui lapisan fluida sebagai hasil dari konveksi relative ke konduksi yang melalui lapisan fluida yang sama. Semakin besar bulangan Nusselt, maka semakin efektif perpindahan panas konveksi. Nilai Nusselt yang sama dengan satu mengindikasikan bahwa perpindahan panas terjadi pada konduksi alami.

2.5.2 Pengaruh Perpindahan Panas Pada Panel Surya

Selama pengoperasian panel surya, radiasi matahari yang berlebihan dan suhu yang tinggi menyebabkan panel surya menghadapi panas yang berlebih. Akibat dari kejadian ini menyebabkan daya output yang kecil. Kinerja panel surya sangat sensitif terhadap suhu operasionalnya. energi panas yang dihasilkan oleh panel surya dan kehilangan panas ke lingkungan akan mengarah pada keseimbangan suhu operasi panel surya. Energi panas ini dapa dipindahkan melalui konduksi, konveksi dan radiasi.



Gambar 2.21 Perpindahan panas yang terjadi pada panel surya (W.Z. Leow dkk, 2016,)

2.6 Pengukuran Intensitas Cahaya Matahari Dengan Menggunakan *Pyranometer*

Radiasi yang sampai ke bumi merupakan radiasi *total hemispherical (beam and diffuse radiation)* pada sebuah permukaan horisontal, dapat diukur dengan suatu alat yang disebut pyranometer atau solarimeter atau actinography. Satuan pengukuran radiasi adalah iradiasi, dengan satuan standar W / m^2 .



Gambar 2.22 Pyranometer Tipe LP02 manual V1216

(Manual Book Pyranometer LP02 Manual V1216”, Hukseflux)

Sedangkan untuk mengukur radiasi langsung yang berasal dari matahari dan dari langit sekitar matahari (*beam radiation*) yang diterima pada sudut normal digunakan alat ukur *pyrheliometer* atau *actinometer*. Secara umum, pemilihan alat ukur untuk mengukur radiasi disesuaikan dengan panjang gelombang.

Tabel 2.2 Alat Ukur Radiasi Matahari

Parameter	Alat Ukur yang digunakan
Gelombang Pendek (0.3 – 0.4 μm)	
Radiasi Langsung	<i>Angstrom and Thermoelectric Pyrheliometer</i>
Radiasi Global	<i>Thermoelectric Pyranometer</i>
Radiasi Difus	<i>Thermoelectric Pyranometer</i> dengan <i>shading ring</i>
Radiasi Pantulan	<i>Inverted Pyranometer</i>
Gelombang Panjang (4 – 100 μm)	
Radiasi Terrestrial	<i>Angstrom Pygeometer</i>

Sumber: Memanen energi, 2017

2.7 Karakteristik Pada Panel Surya

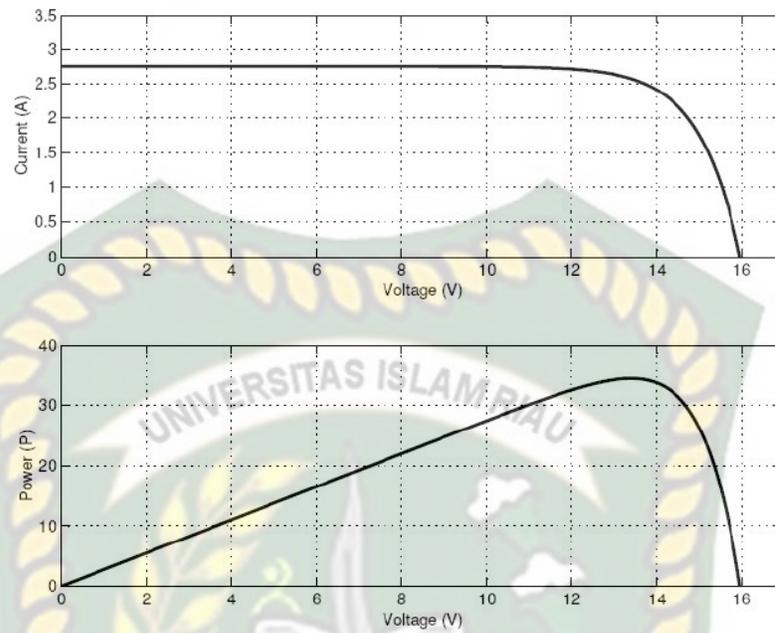
Beberapa karakteristik penting *photovoltaic* terdiri dari tegangan *open circuit* (Voc), arus hubung singkat (Isc), efek perubahan intensitas cahaya matahari, efek perubahan temperatur pada *solar cell* (Tsc) dan karakteristik tegangan-arus (V-I *characteristic*) pada *photovoltaic*.

2.7.1 Tegangan *Open Circuit* (Voc)

Voc adalah tegangan yang dibaca pada saat arus tidak mengalir atau dengan kata lain tegangan maksimum *solar cell* yang terjadi ketika arus hubung singkat sama dengan nol. Cara untuk mencapai tegangan *open circuit* (Voc) yaitu dengan cara menghubungkan kutub positif dan kutub negatif PV *module* pada multimeter maka akan terlihat pembacaan nilai tegangan *open circuit* sel surya pada multimeter.

2.7.2 Arus *Short Circuit* (Isc)

Isc merupakan arus maksimal yang dapat dihasilkan oleh modul sel surya. Cara untuk mendapatkan nilai Isc yaitu dengan cara menge-*short*-kan kutub positif dengan kutub negatif pada PV *module*, kemudian nilai Isc dibaca pada multimeter sebagai pembaca arus sehingga didapatkan nilai pengukuran arus maksimum pada sel surya.

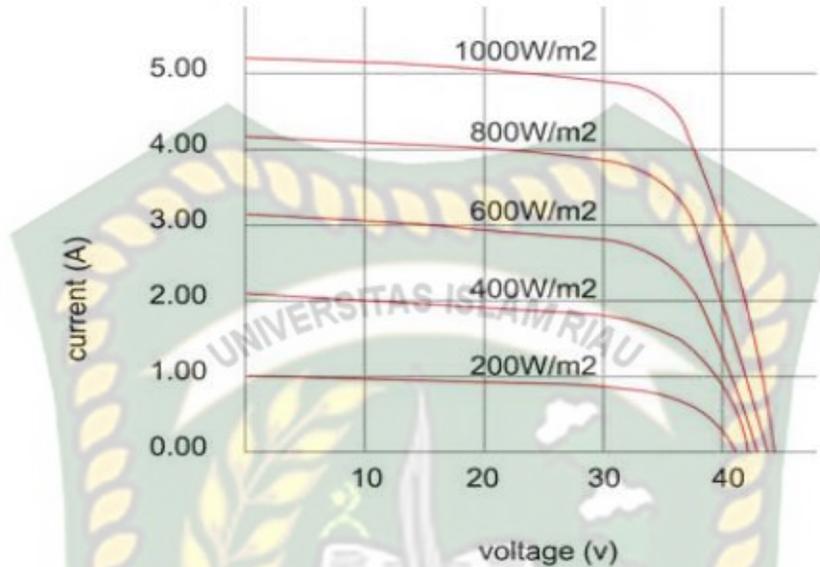


Gambar 2.23 Karakteristik tegangan arus dan kurva daya (Dwi Mulyana,2003)

2.7.3 Efek Perubahan Intensitas Cahaya Matahari

Apabila jumlah energi cahaya matahari yang diperoleh sel surya (*photovoltaic*) 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.

I-V Curves



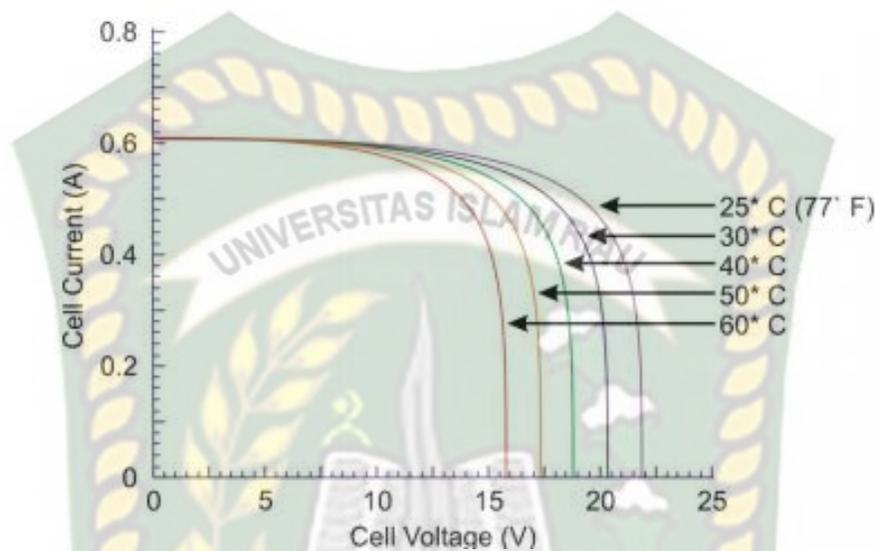
Gambar 2.24 Kurva I-V terhadap tingkat *irradiance* dan temperatur yang tetap

(SunCo.Renewable Energy, 2009)

2.7.4 Efek Perubahan Temperatur Pada *Photovoltaic* (Tsc)

Temperatur juga mempengaruhi kinerja sel dan efisiensi *photovoltaic*, Jika sel surya berada pada kondisi dingin maka akan menghasilkan daya yang lebih besar. Pada umumnya ketika penyinaran pada sel adalah 1 kW/m² temperatur sel kira-kira 30° C lebih tinggi dari udara sekitar. Makin besar temperatur sel surya maka tegangan berkurang sekitar 0,0023 Volt/ °C untuk teknologi *crystalline silikon* atau sekitar 0,0028 Volt/ °C untuk teknologi film tipis (*thin film*). Daya listrik juga mengalami penurunan sampai 0,5% / °C untuk teknologi *crystalline silikon* atau sekitar 0,3/ °C

untuk teknologi film tipis (*thin film*). Karakteristik perubahan temperatur pada sel surya diperlihatkan pada gambar 2.25.

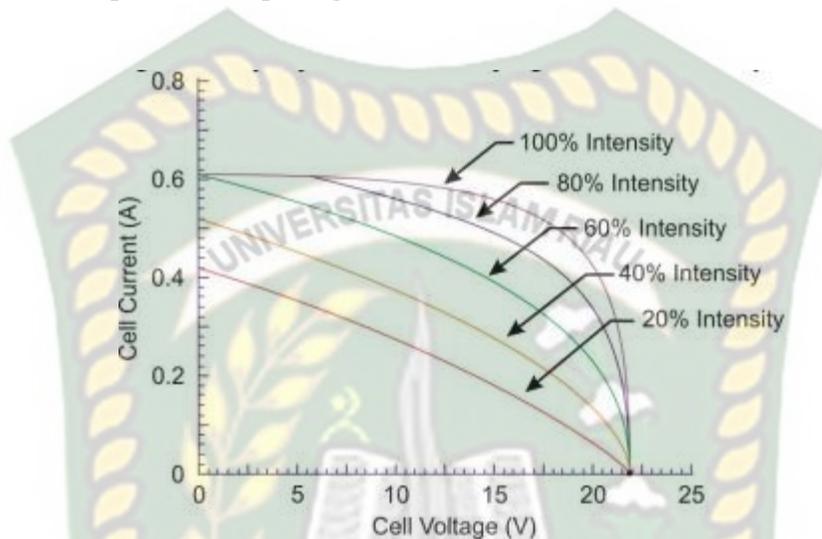


Gambar 2.25 Kemampuan Sel Surya pada Beberapa Variasi Temperatur
 (Michael Aditya Putra Pradana, 2016)

2.7.5 Karakteristik Tegangan-Arus Pada *Photovoltaic* (V-I Characteristic)

Penggunaan tegangan dari *photovoltaic* bergantung dari bahan semikonduktor yang dipakai. Jika menggunakan bahan silikon maka tegangan yang dihasilkan dari setiap sel surya berkisar 0,5 V. Tegangan yang dihasilkan dari *photovoltaic* bergantung dari radiasi cahaya matahari. Untuk arus yang dihasilkan dari *photovoltaic* bergantung dari luminasi (kuat cahaya) matahari, seperti pada saat cuaca cerah atau mendung. Sebagai contohnya suatu kristal silikon tunggal *photovoltaic* dengan luas permukaan 100 cm² akan menghasilkan sekitar 1,5 Watt dengan tegangan sekitar 0,5 Volt tegangan

searah dan arus sekitar 2 Ampere di bawah cahaya matahari dengan panas penuh (intensitas sekitar 1000W/m^2). Karakteristik perubahan tegangan-arus pada *photovoltaic* diperlihatkan pada gambar 2.26.



Gambar 2.26 Karakteristik Tegangan-Arus pada Silikon *Photovoltaic*
(Michael Aditya Putra Pradana, 2016,)

2.9 Rumus Yang Digunakan

Adapun rumus-rumus yang digunakan untuk menganalisa data dari penelitian dalah sebagai berikut:

2.9.1 Perhitungan Daya Masukan, Daya Keluaran Dan Efisiensi Pada Panel Surya

Sebelum mengetahui berapa nilai daya sesaat yang dihasilkan harus diketahui daya yang diterima (daya input), di mana daya tersebut adalah:

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

$$P_{in} = I_r A \dots\dots\dots \text{Pers (2.3)}$$

Keterangan:

P_{in} = Daya input akibat Radiasi matahari (Watt)

I_r = Intensitas radiasi matahari (Watt/m²)

A = Luas area permukaan photovoltaic module (m²)

Sedangkan untuk besarnya daya keluaran pada panel surya (P_{out}) yaitu perkalian tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}), arus hubung singkat (I_{sc}), dan *Fill Factor* (FF) yang dihasilkan oleh sel *photovoltaic* yang dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$P_{out} = V_{oc} I_{sc} FF \dots\dots\dots \text{Pers. (2.4)}$$

Keterangan:

P_{out} = Daya yang dibangkitkan oleh panel surya (Watt)

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

I_{sc} = Arus hubung singkat pada panel surya (Ampere)

FF = *Fill Factor*

$$FF = \frac{V_{oc} - I_n (V_{oc} - 0.72)}{V_{oc} + 1} \dots\dots\dots \text{Pers. (2.5)}$$

Keterangan:

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

I_{sc} = Arus hubung singkat pada panel surya (Ampere)

Efisiensi yang terjadi pada panel surya adalah merupakan perbandingan daya dapat dibangkitkan oleh panel surya dengan energy input yang diperoleh dari radiasi matahari. Efisiensi yang digunakan adalah efisiensi sesaat pada pengambilan data:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots \text{Pers. (2.6)}$$

Keterangan:

η = Efisiensi Panel Surya

P_{out} = Daya *output* yang dibangkitkan oleh panel surya (Watt)

P_{in} = Daya *input* yang diterima oleh panel surya (Watt)

A = Luas area permukaan modul photovoltaic (m²)

2.9.2 Perhitungan Tebal Lapisan Batas (*Boundary Layer Thickness*) Pada Permukaan Panel Surya

Untuk menghitung tebal lapis batas (*boundary layer thickness*) dapat diketahui dengan persamaan berikut:

$$\delta = \frac{5X}{Re^{1/2}} \dots\dots\dots \text{Pers. (2.7)}$$

Keterangan:

δ = Tebal lapisan batas (m)

X = Panjang panel surya (m)

Re = Bilangan Reynold (bilangan tanpa dimensi)



BAB III

METEDOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Pengujian studi kinerja panel surya tipe 180 WP berdasarkan *air cooling system* dan perpindahan panas pada permukaan panel ini akan dilaksanakan pada tanggal 22 Maret s/d 2 April 2021 bertempat di *rooftop* gedung C fakultas teknik Universitas Islam Riau yang beralamat di Jl. Kaharuddin Nasution No.133, Marpoyan, Pekanbaru.

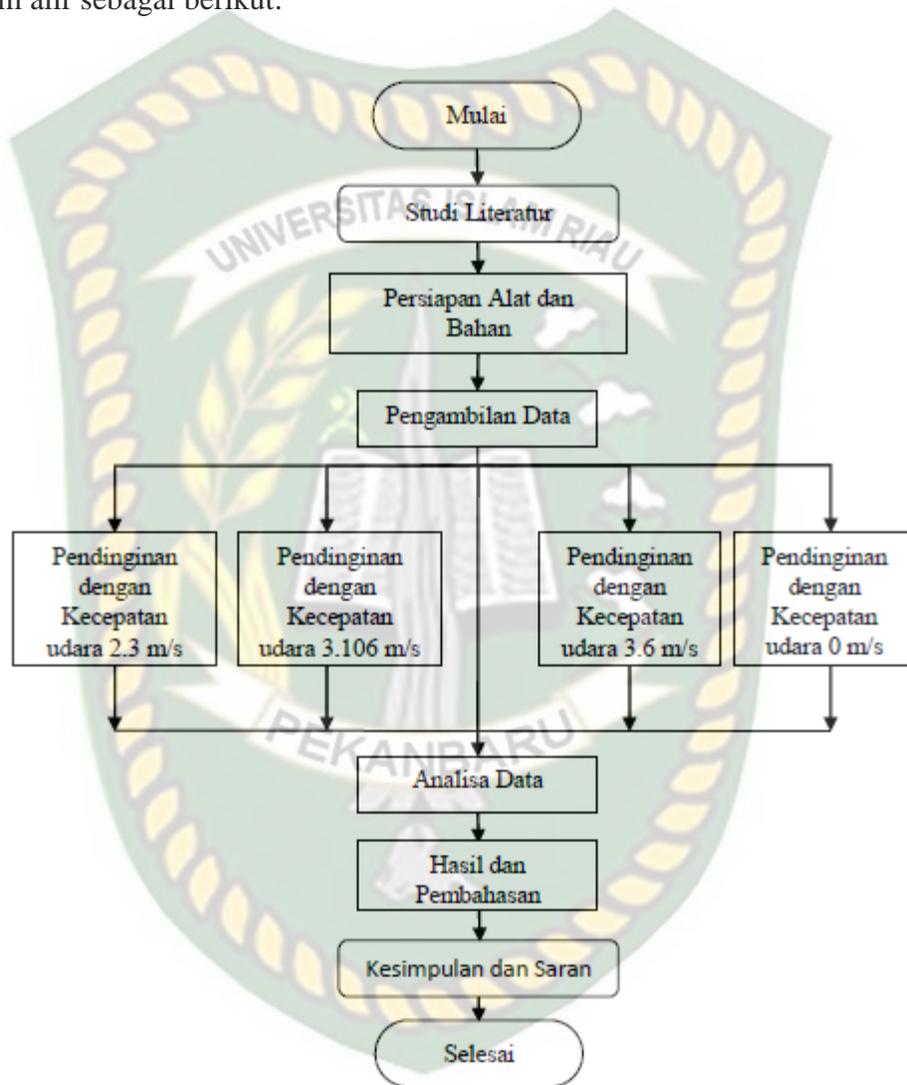


Gambar 3.1 *Rooftop* Gedung C Fakultas teknik Universitas Islam Riau

(www.eng.uir.ac.id)

3.2 Diagram Alir Penelitian

Adapun langkah–langkah dalam melaksanakan penelitian ini dapat dilihat dari diagram alir sebagai berikut:



Gambar 3.2 Diagram alir

3.3 Alat Yang Digunakan

Adapun alat yang digunakan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. *Anemometer*

Anemometer yang digunakan anemometer merk SANFIX dengan rentan temperature udara $-10 - 45$ °C dan rentan kecepatan yang dapat diukur adalah 0-30 m/s. Alat ini berfungsi untuk mengukur variasi kecepatan angin pada kipas.

Spesifikasi:



Gambar 3.3 *Anemometer*

2. *Multimeter*

Multimeter berfungsi untuk mengukur arus, tegangan dan resistensi. Karena 3 fungsi ukur tersebut selalu dimiliki oleh multimeter / multimeter maka sering juga disebut sebagai AVO meter. Multimeter yang digunakan multimeter Kyoritsu 1009 dengan dimensi 161(L), 82(W) dan 50 (D) mm.



Gambar 3.4 *Multimeter*

3. Tang Meter

Tang meter berfungsi sebagai alat yang praktis untuk mengukur suatu aliran arus listrik tanpa harus memutus jalur arus listrik tersebut. Tang Amper memiliki kegunaan lain selain berfungsi untuk mengukur arus listrik tang ampere juga dapat digunakan untuk mengukur voltase atau mengukur nilai tahanan dan resistor.



Gambar 3.5 *Clampmeter*

4. *Pyranometer*

Pyranometer adalah salah satu jenis alat yang berfungsi untuk mengukur intensitas cahaya matahari. Satuan intensitas cahaya matahari ialah W/m^2 .

Spesifikasi *Pyranometer* :

Merk = Delta OHM

Type = LP PYRA 02

Serial Number = 13031573

Sensitivity = $12,11 \mu V / (W/m^2)$

Resistance = $34,8 \Omega$



Gambar 3.6 *Pyranometer*

5. *Thermometer Couple*

Thermometer yang dipakai pada pengujian ini tipe APPA51 *thermometer*. Alat ini berfungsi untuk mengukur temperature pada permukaan panel surya.



Gambar 3.7 *Thermometer Cuouple*

6. *Humidity Meter*

Alat pengukur kelembaban dan temperatur berfungsi sebagai alat pengukur kelembaban dan temperatur lingkungan sekitar dengan spesifikasi sebagai berikut :

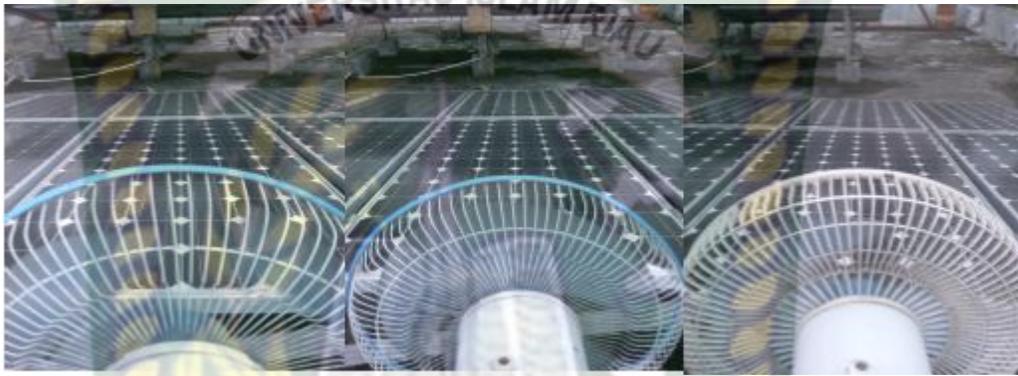
- *Sensor Humudity dan Temperature*
 - Temperatur range : -10 dr celcius to 50 dr celcius
 - Relative Humudity range :5.0 % to 98 % rH



Gambar 3.8 *Humidity meter*

7. Kipas Angin

Alat ini digunakan untuk mengalirkan udara melalui kotak dibawah modul panel surya yang berguna sebagai media pendinginan temperatur panel surya akibat pancaran panas matahari. Kipas angin yang digunakan adalah kipas angin Miyako dengan daya 45 W dan tegangan 220 V.



Gambar 3.9 Kipas angin

8. Panel Surya Tipe 180 WP

Alat ini digunakan untuk mengkonversi gelombang cahaya matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan sisten *p-n junction*. Spesifikasi dari modul panel surya ini adalah dimensi 1580 x 808 x 40 (mm) dan memiliki 72 sel serta beratnya 17 kg.

Spesifikasi:

- Sel Panel : Monokristalin 125 mm x 125 mm
- Berat : 17 kg
- Dimensi : 1580 x 808 x 40 (mm)

Karakteristik panel

- *Power* : 180 Wp
- *Open Circuit voltage* : 44,5 V
- *Maximum power voltage* : 36,7 V
- *Short circuit current* : 5,77 A
- *Maximum power current* : 5,34 A
- *Encapsulated solar cell efficiency* : 18,5 %
- *Insulation* : $\geq 100 \text{ M}\Omega$
- *Maximum system voltage* : 1000 V
- *Voltage standoff* : AC 2000 DC 3000 V
- *Series fuse rating* : 10 A

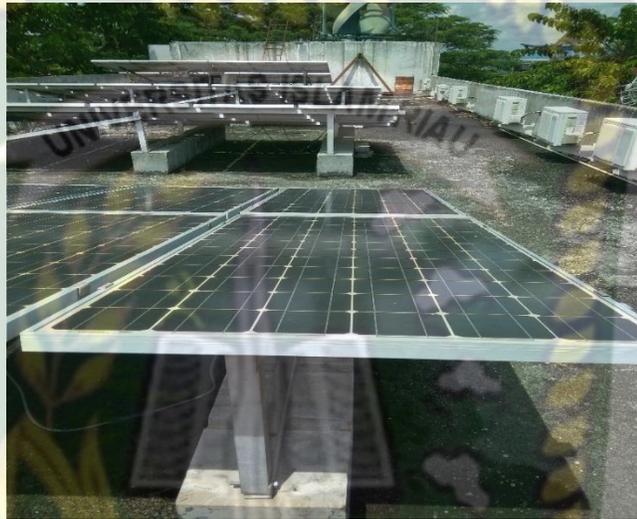
Karakteristik fisik

- *Operating temperature* : -40° to $+90^{\circ}\text{C}$
- *Storage tempertur* : -40° to $+90^{\circ}\text{C}$
- *Type of output terminal* : Lead wire with connector
- *Pressure Bearing* : $\geq 2400 \text{ Pa}$
- *Wind bearing* : $\geq 5400 \text{ Pa}$
- *Hail Impact Test* : 225g steel ball drops from height of 1m

Koefisien Temperatur

- *NOCT* : $45^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$
- *Temperture coefficient of Isc* : $+ 0,046 \% / ^{\circ}\text{C}$

- *Temperture coefficient of Voc* : - 0,036 % / °C
- *Temperture coefficient of Pm* : - 0,46 % / °C
- *Power output Tolerance* : ± 3%



Gambar 3.10 Modul panel surya tipe 180 WP

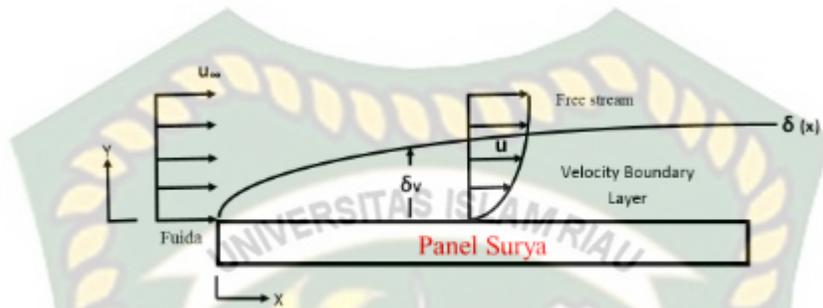
3.4 **Prosedur Penelitian**

Ada beberapa langkah yang harus diikuti dalam pelaksanaan dan penelitian terhadap empat panel surya dengan variasi kecepatan angin pada permukaan panel yang terdapat di gedung teknik Fakultas Teknik Universitas Islam Riau:

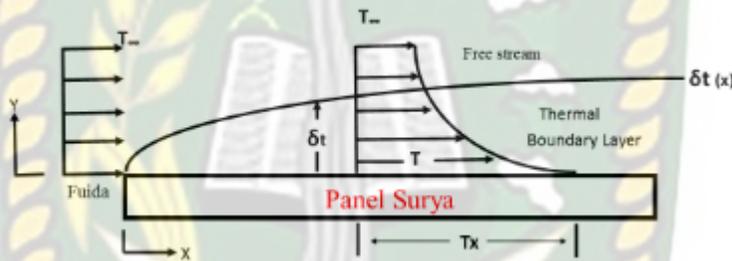
1. Eksperimen dilakukan pada empat panel surya dengan spesifikasi yang sama dengan sistem konveksi paksa pada tiga panel surya yang dialirkan dengan kecepatan angin berbeda yaitu 2,30 m/s, 3,11 m/s dan 3,60 m/s dan satu panel dengan konveksi alami tanpa menggunakan kipas.

2. Sebelum melakukan pengujian, kecepatan angin dari kipas pada tiga panel surya diukur pada posisi depan, tengah dan ujung permukaan panel surya. Kemudian diambil nilai kecepatan angin rata-rata.
3. Pengujian dilakukan dari pukul 09:00 – 15:00 WIB, karena intensitas matahari yang terjadi pada kondisi tersebut sangat bagus.
4. Kemudian dilakukan pengambilan data setiap 1 jam sekali dengan parameter pengujian yang diambil adalah intensitas cahaya matahari menggunakan alat pyranometer, temperatur permukaan menggunakan *thermocouple* , temperatur lingkungan dan kelembaman menggunakan humidity meter, tegangan terbuka menggunakan multimeter dan arus singkat menggunakan tangmeter. Pengujian yang dilakukan tanpa menggunakan beban, sehingga untuk mendapat nilai tegangan terbuka dengan cara membuka soket yang semula terpasang pada rangkaian awal di lepaskan. Kemudian untuk mendapatkan arus singkat dengan cara menghubungkan soket positif dan negatif dengan waktu yang singkat dan diukur menggunakan tang meter.
5. Penelitian ini juga berfokus pada tebal lapisan batas yang terjadi di atas permukaan panel surya. Nilai lapis batas dapat mempengaruhi penyerapan electronmagnetik yang terjadi pada *wafer* panel surya sehingga mempengaruhi listrik DC (*Direct Current*) yang dihasilkan. Skema tebal lapis batas dapat dilihat pada gambar 3.11 dan 3.12.

6. Setelah semua data terkumpul, dilakukan perhitungan performa, laju perpindahan panas dan ketebalan lapisan batas pada panel surya.



Gambar 3.12 Tebal lapisan batas kecepatan



Gambar 3.12 Tebal lapisan batas *Thermal*

3.6 Jadwal Penelitian

Agar penelitian tentang studi kinerja panel surya tipe 180 WP berdarakan *air cooling system* dan perpindahan panas pada permukaan panel ini dapat berjalan optimal sesuai dengan waktu yang ditentukan maka perlu dibuat jadwal penelitian seperti yang terlihat pada Tabel 3.1 dibawah ini

Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian

No	Jenis Kegiatan	Bulan - ke															
		1				2				3				4			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Pembuatan Proposal	■															
2	Studi Literatur																
3	Persiapan alat dan bahan					■	■										
4	Pengujian dan pengumpulan data							■	■	■	■						
5	Analisi data											■	■	■	■		
6	Hasil akhir dan presentasi															■	■

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang diperoleh dari penelitian ini adalah intensitas cahaya matahari, temperature permukaan panel, temperatur lingkungan, arus singkat dan tegangan terbuka. Data secara lengkap selama 6 hari pengambilan data dapat dilihat dilampiran, sedangkan perhitungan daya *input* dan *output*, efisiensi, perpindahan panas konveksi, dan tebal lapisan batas dapat dilihat pada bab ini.

Kota Pekanbaru 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. Letak Kota Pekanbaru yang tepat di sebelah utara garis khatulistiwa adalah faktor pendukung untuk memaksimalkan pemanfaatan energi yang dihasilkan dari jaringan panel surya yang dipasang pada Gedung C Fakultas Teknik tersebut.

Data – data yang diperoleh dari penelitian pada tanggal 31 Maret 2021 yang bertempat di Gedung C Teknik Universitas Islam Riau dapat di lihat pada tabel berikut:

Tabel 4.1 Data Penelitian dengan kecepatan angin 0 m/s

Waktu (WIB)	Isc (A)	Voc (V)	Ts (°C)	T _∞ (°C)	Intensitas Cahaya Matahari (W/m ²)
9:00	3.7	37.16	38.1	29.3	666.8
10:00	4	38.52	43.3	32.5	742.3
11:00	4.4	37.91	46.2	35.5	850.1
12:00	5	37.8	45.3	38	993.5
13:00	5.2	37.93	52.6	40.6	1138.5

14:00	4.5	36.75	50	42.1	405.1
15:00	2.4	36.8	45.3	30.3	454.1

Tabel 4.2 Data Penelitian dengan kecepatan angin 2,30 m/s

Waktu (WIB)	Isc (A)	Voc (V)	Ts (°C)	T∞ (°C)	Intensitas Cahaya Matahari (W/m ²)
9:00	3.6	40.3	37.8	29.3	666.8
10:00	3.9	39.72	40	32.5	742.3
11:00	4.7	39.07	41.7	35.5	850.1
12:00	5	38.7	43	38	993.5
13:00	5.8	39.16	50	40.6	1138.5
14:00	4.5	38.7	48.4	42.1	405.1
15:00	2.3	39.4	44.3	30.3	454.1

Tabel 4.3 Data Penelitian dengan kecepatan angina 3,11 m/s

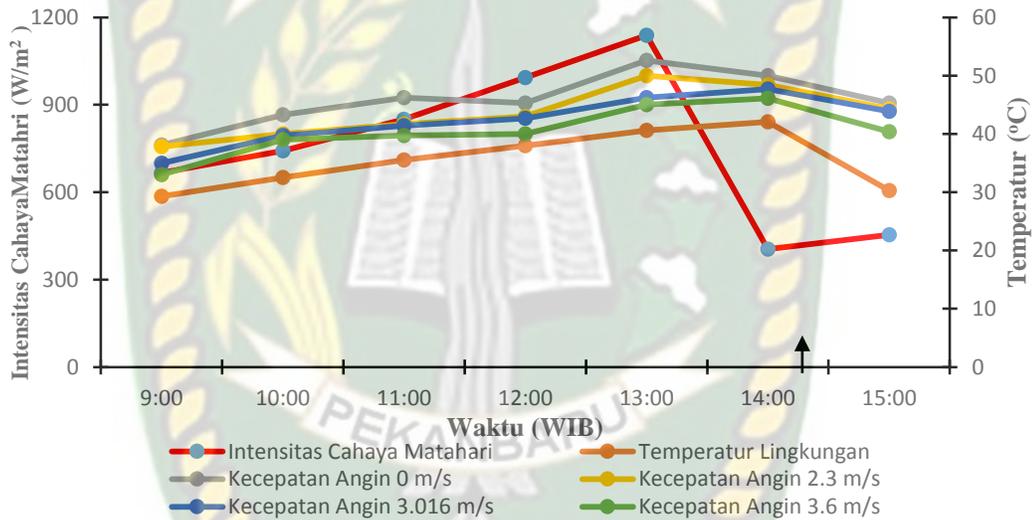
Waktu (WIB)	Isc (A)	Voc (V)	Ts (°C)	T∞ (°C)	Intensitas Cahaya Matahari (W/m ²)
9:00	3.7	40.2	35	29.3	666.8
10:00	4.1	40	39.7	32.5	742.3
11:00	4.5	39.8	41.4	35.5	850.1
12:00	5	39.3	42.7	38	993.5
13:00	5.8	39.45	46.2	40.6	1138.5
14:00	4.5	39.2	47.7	42.1	405.1
15:00	2.4	39.64	43.9	30.3	454.1

Tabel 4.4 Data Penelitian dengan kecepatan angina 3,60 m/s

Waktu (WIB)	Isc (A)	Voc (V)	Ts (°C)	T∞ (°C)	Intensitas Cahaya Matahari (W/m ²)
9:00	3.8	40.7	33	29.3	666.8
10:00	4.2	40.2	39	32.5	742.3
11:00	4.7	39.43	39.7	35.5	850.1
12:00	5.1	39.1	40	38	993.5
13:00	5.5	39.5	45	40.6	1138.5
14:00	4.6	38.96	46.1	42.1	405.1
15:00	2.7	39.8	40.4	30.3	454.1

4.1 Hubungan Intensitas Cahaya Matahari, Temperatur Lingkungan dan Temperatur Permukaan Panel Surya

Data intensitas cahaya matahari pada tabel diatas diambil dari jam 09.00 WIB sampai 15.00 WIB. Perbedaan nilai intensitas cahaya matahari tergantung pada kondisi cuaca saat pengambilan data, hal ini dapat dilihat pada grafik dibawah ini.



Gambar 4.1 Grafik hubungan Intensitas Cahaya Matahari, Temperatur Lingkungan dan Temperatur Permukaan Panel Surya

Dari gambar 4.1 menunjukkan hubungan intensitas cahaya matahari dan temperatur lingkungan terhadap waktu. Intensitas cahaya matahari mulai mengenai sisi panel surya pada jam 09:00 WIB yaitu berkisar 666.8 W/m² dan diperoleh nilai temperatur lingkungan sebesar 29.3 °C. Pada saat jam 10:00 WIB nilai intensitas cahaya matahari pada saat itu mengalami peningkatan sebesar 742.3 W/m² dan nilai temperatur lingkungan juga mengalami peningkatan sebesar 32.5 °C serta terus

mengalami peningkatan setiap jamnya walupun tidak signifikan, hal ini terjadi karena pada saat pengambilan data tidak disertai tertutupnya matahari oleh awan. Jika cuaca cerah maka nilai intensitas puncak cahaya matahari sebesar 1138.5 W/m^2 terjadi pada jam 13:00 WIB dengan nilai temperatur lingkungan sebesar $40,6 \text{ }^\circ\text{C}$ hal ini dikarenakan kenaikan nilai intensitas cahaya matahari sebanding dengan nilai temperatur lingkungan. Sedangkan pada jam 14:00 WIB nilai intensitas pada saat ini mengalami penurunan secara drastis sebesar 405.1 W/m^2 dengan nilai temperatur lingkungan sebesar $42.1 \text{ }^\circ\text{C}$ lebih besar dibandingkan dengan nilai temperatur pada saat puncak radiasi matahari. Hal ini terjadi karena pada saat pengambilan data cuaca dapat berubah secara drastis dan mempengaruhi nilai intensitas cahaya matahari pada alat ukur sedangkan untuk nilai temperatur cenderung lama untuk berubah. Dan pada jam 15:00 WIB intensitas cahaya matahari mengalami penurunan menjadi 454.1 W/m^2 . Dengan nilai temperatur lingkungan yang juga mengalami penurunan yaitu sebesar $30.3 \text{ }^\circ\text{C}$. Perubahan cuaca mempengaruhi nilai intensitas cahaya matahari dan temperatur lingkungan.

Pada grafik 4.1 juga menampilkan hubungan temperatur permukaan empat panel surya dan intensitas cahaya matahari terhadap waktu. Jika intensitas cahaya matahari naik maka cenderung temperatur permukaan panel surya dan lingkungan juga naik. Pada saat mulai pengambilan data jam 09:00 WIB nilai intensitas cahaya matahari sebesar 666.8 W/m^2 dan diperoleh nilai temperatur pada permukaan empat panel surya dengan kecepatan angin 0 m/s sebesar $38.1 \text{ }^\circ\text{C}$, kecepatan angin 2.30 m/s sebesar 37.8

°C, kecepatan angin 3.11 sebesar 35 °C dan kecepatan angin 3.60 m/s sebesar 33 °C.. Dapat dilihat untuk panel surya yang dipasangkan sistem pendingin temperatur permukaan panel mengalami penurunan secara signifikan dibandingkan dengan tanpa pendingin. Pada jam 10:00 WIB nilai intensitas cahaya matahari pada saat itu mengalami peningkatan sebesar 742.3 W/m^2 serta nilai temperatur permukaan yang diperoleh pada empat panel surya dengan kecepatan angin 0 m/s sebesar 43,3 °C, kecepatan angin 2.3 m/s sebesar 40 °C, kecepatan angin 3.016 sebesar 39.7 °C dan kecepatan angin 3.6 m/s sebesar 39 °C. Nilai intensitas cahaya matahari dan temperatur permukaan panel pada jam berikutnya terus mengalami kenaikan.

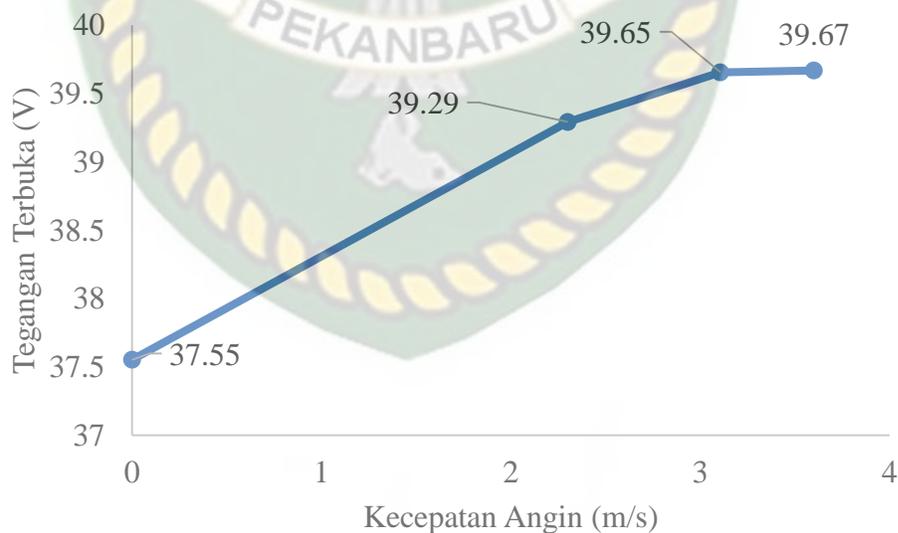
Ketika intensitas cahaya matahari pada saat itu mencapai 1138.55 W/m^2 panel surya tanpa pendingin dengan kecepatan 0 m/s memiliki temperatur permukaan 52.6 °C sedangkan untuk kondisi yang sama, sistem pendingin dengan kecepatan angin 2.30 m/s, 3.11 m/s dan 3.60 m/s mengalami perubahan temperatur permukaan permukaan yaitu sebesar 50 °C, 46.2 °C dan 45 °C dibandingkan dengan tanpa pendingin. Perbedaan kecepatan angin pada permukaan panel mempengaruhi temperatur permukaan panel surya. Sedangkan pada jam 14.00 WIB nilai intensitas pada saat itu mengalami penurunan secara signifikan sebesar 405.1 W/m^2 tetapi nilai temperatur permukaan pada empat panel surya hanya mengalami penurunan sedikit. Pada kecepatan angin 0 m/s sebesar 50 °C, kecepatan angin 2.30 m/s sebesar 50 °C, kecepatan angin 3.11 sebesar 47.7 °C dan kecepatan angin 3.60 m/s sebesar 46.1 °C.

Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa terjadi penurunan temperatur permukaan pada setiap panel dengan kecepatan angin 2.30 m/s, 3.11 m/s dan 3.60 m/s dibandingkan dengan panel surya dengan kecepatan 0 m/s . Semakin laju kecepatan angin, maka semakin turun temperatur permukaan panel surya.

4.2 Pengaruh Variasi Kecepatan Angin Terhadap Tegangan Terbuka (Voc) dan Arus Singkat (Isc)

4.2.1 Pengaruh Variasi Kecepatan Angin Terhadap Tegangan Terbuka (Voc)

Hasil data pengujian panel surya ditampilkan dalam variasi kecepatan angin terhadap tegangan terbuka seperti gambar 4.2. Nilai yang digunakan dalam grafik merupakan nilai rata-rata tegangan terbuka panel surya dari jam 09.00 WIB – 15.00 WIB.



Gambar 4.2 Grafik variasi kecepatan angin terhadap tegangan terbuka

Dari data diatas didapatkan nilai rata-rata tegangan terbuka panel surya dengan variasi kecepatan angin yaitu pada kecepatan angin 0 m/s sebesar 37.55 V, kecepatan angin 2.30 m/s sebesar 39.29 V, kecepatan angin 3.11 m/s sebesar 39.65, dan kecepatan angin 3.60 sebesar 39.67 V. Dapat dilihat kenaikan kecepatan angin pada kipas akan meningkatkan tegangan terbuka dari panel surya. Dengan meningkatnya kecepatan angin pada permukaan panel surya yang diamati, memberikan dampak pada kinerja tegangan. Sebaliknya, pada kondisi yang sama, panel surya tanpa mekanisme pendinginan menghasilkan tegangan rendah pada tingkat radiasi matahari yang tinggi. Dengan demikian, pengembangan mekanisme pendinginan memiliki dampak besar dalam peningkatan kinerja dan pengurangan suhu pada cuaca iklim panas.

4.2.2 Pengaruh Variasi Kecepatan Angin Terhadap Arus Singkat (Isc)

Hasil data pengujian panel surya ditampilkan dalam hubungan variasi kecepatan angin terhadap arus singkat seperti gambar 4.3. Nilai yang digunakan dalam grafik merupakan nilai rata-rata arus singkat panel surya dari jam 09.00 WIB – 15.00 WIB.



Gambar 4.3 Grafik variasi kecepatan angin terhadap arus singkat

Dalam meningkatkan kinerja dari panel surya dilakukan pengujian dengan menggunakan sistem pendinginan dengan membandingkan menggunakan pendingin dan tanpa pendingin dengan variasi kecepatan angin. Gambar 4.3 menunjukkan nilai arus yang dihasilkan oleh setiap panel surya dengan variasi kecepatan angin melalui penelitian. Dari data diatas didapatkan nilai rata-rata arus

singkat panel surya dengan variasi kecepatan angin yaitu pada kecepatan angin 0 m/s sebesar 4.17 A, kecepatan angin 2.30 m/s sebesar 4.25 A, kecepatan angin 3.11 m/s sebesar 4.28 A, dan kecepatan angin 3.60 m/s sebesar 4.37 A. Nilai arus singkat dari panel surya yang didinginkan oleh kipas lebih tinggi daripada yang dihasilkan oleh tidak ada pendinginan yang terpasang. Sebuah kenaikan arus dengan pengurangan suhu disebabkan oleh peningkatan marginal dalam pembuatan foton yang pada gilirannya disebabkan oleh pengurangan energi kesenjangan band. (A. Sahay, 2014). Hal ini menunjukkan adanya perubahan arus singkat yang terjadi akibat peningkatan dari kecepatan angin.

4.3 Pengaruh Daya *Input* Dan *Output* Pada Variasi Kecepatan Angin

4.3.1 Daya *Input* Dan Daya *Output* Panel Surya Dengan Kecepatan Angin 0 m/s

Daya *input* dan daya *output* pada panel surya dengan sudut dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut:

- Radiasi cahaya matahari (I_r) = 666.8W/m²
- Tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) = 37.16 V
- Arus hubungan singkat (I_{sc}) = 3.7 A
- Area panel surya = 1580 mm x 808 mm

$$= 1,27 \times 10^6 \text{ mm}^2$$

$$= 1.27 \text{ m}^2$$

a) Daya *input* pada panel surya tanpa pendingin

Daya input adalah perkalian antara intensitas cahaya matahari yang diterima dengan

luas permukaan panel surya dengan rumus sebagai berikut:

$$P_{in} = I_r \cdot A$$

$$\begin{aligned}
 P_{in} &= 666.8 \text{ W/m}^2 \times 1,27 \text{ m}^2 \\
 &= 846.83 \text{ W}
 \end{aligned}$$

b) Daya *output* panel surya tanpa pendingin

Daya *output* adalah perkalian antara tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}), arus hubungan singkat (I_{sc}), dan *fill factor* (FF) yang dihasilkan oleh sel *photovoltaic* dengan rumus sebagai berikut:

$$P_{out} = V_{oc} I_{sc} FF$$

$$FF = \frac{V_{oc} - I_n (V_{oc} - 0.72)}{V_{oc} + 1}$$

$$FF = \frac{37.16 \text{ V} - I_n (37.16 - 0.72)}{37.16 \text{ V} + 1}$$

$$FF = 0.879$$

$$\begin{aligned}
 P_{out} &= 37.16 \text{ V} \times 3.7 \text{ A} \times 0.879 \\
 &= 120.93 \text{ W}
 \end{aligned}$$

c) Efisiensi panel surya tanpa pendingin

Efisiensi adalah perbandingan daya yang dapat dibangkitkan oleh sel surya dengan energi input yang diperoleh dari radiasi matahari dengan rumus sebagai berikut:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{120.93 \text{ W}}{846.83 \text{ W}} \times 100\%$$

$$\eta = 14.28 \%$$

4.2.2 Daya *input* dan daya *output* panel surya dengan kecepatan angin 2,30 m/s

Daya *input* dan daya *output* pada panel surya dengan sudut dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut :

- Radiasi cahaya matahari (I_r) = 666.8W/m²
- Tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) = 40.3V
- Arus hubungan singkat (I_{sc}) = 3.6A
- Area panel surya = 1580 mm x 808 mm
= 1,27x10⁶ mm²
= 1.27 m²

d) Daya *input* pada panel surya dengan kecepatan angin 2,30 m/s

Daya *input* adalah perkalian antara intensitas cahaya matahari yang diterima dengan luas permukaan panel surya dengan rumus sebagai berikut:

$$P_{in} = I_r \cdot A$$

$$\begin{aligned} P_{in} &= 666.8 \text{ W/m}^2 \times 1,27 \text{ m}^2 \\ &= 846.83\text{W} \end{aligned}$$

e) Daya *output* panel surya dengan kecepatan angin 2,30 m/s

Daya *output* adalah perkalian antara tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}), arus hubungan singkat (I_{sc}), dan *fill factor* (FF) yang dihasilkan oleh sel *photovoltaic* dengan rumus

sebagai berikut:

$$P_{out} = V_{oc} I_{sc} FF$$

$$FF = \frac{V_{oc} - \ln(V_{oc} - 0.72)}{V_{oc} + 1}$$

$$FF = \frac{40.3 \text{ V} - \ln(40.3 - 0.72)}{40.3 \text{ V} + 1}$$

$$FF = 0.885$$

$$P_{out} = 40.3 \text{ V} \times 3.6 \text{ A} \times 0.885$$

$$= 128.64 \text{ W}$$

f) Efisiensi panel surya pada kecepatan angin 2,30 m/s

Efisiensi adalah perbandingan daya yang dapat dibangkitkan oleh sel surya dengan energi input yang diperoleh dari radiasi matahari dengan rumus sebagai berikut:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{128.64 \text{ W}}{888.23 \text{ W}} \times 100\%$$

$$\eta = 15.19 \%$$

4.2.3 Daya input dan daya output panel surya dengan kecepatan angin 3,11 m/s

Daya input dan daya output pada panel surya dengan sudut dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Radiasi cahaya matahari } (I_r) = 666.8 \text{ W/m}^2$$

- Tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) = 40.2 V
- Arus hubungan singkat (I_{sc}) = 3.7 A
- Area panel surya = 1580 mm x 808 mm
= $1,27 \times 10^6$ mm²
= 1.27 m²

g) Daya *input* pada panel surya dengan kecepatan angin 3,11 m/s

Daya input adalah perkalian antara intensitas cahaya matahari yang diterima dengan luas permukaan panel surya dengan rumus sebagai berikut:

$$P_{in} = I_r \cdot A$$

$$P_{in} = 666.8 \text{ W/m}^2 \times 1,27 \text{ m}^2 \\ = 846.83 \text{ W}$$

h) Daya *output* panel surya dengan kecepatan angin 3,11 m/s

Daya *output* adalah perkalian antara tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}), arus hubungan singkat (I_{sc}), dan *fill factor* (FF) yang dihasilkan oleh sel *photovoltaic* dengan rumus sebagai berikut:

$$P_{out} = V_{oc} I_{sc} FF$$

$$FF = \frac{V_{oc} - \ln(V_{oc} - 0.72)}{V_{oc} + 1}$$

$$FF = \frac{40.2 \text{ V} - \ln(40.2 - 0.72)}{40.2 \text{ V} + 1}$$

$$FF = 0.886$$

$$P_{out} = 40.2 \text{ V} \times 3.7 \text{ A} \times 0.886$$

$$= 131.85 \text{ W}$$

i) Efisiensi panel surya pada kecepatan angin 3,11 m/s

Efisiensi adalah perbandingan daya yang dapat dibangkitkan oleh sel surya dengan energi input yang diperoleh dari radiasi matahari dengan rumus sebagai berikut:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{131.85 \text{ W}}{846.83 \text{ W}} \times 100\%$$

$$\eta = 15.52 \%$$

4.2.4 Daya *input* dan daya *output* panel surya dengan kecepatan angin 3,60 m/s

Daya *input* dan daya *output* pada panel surya dengan sudut dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut :

- Radiasi cahaya matahari (I_r) = 666.8W/m²
- Tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) = 40.7 V
- Arus hubungan singkat (I_{sc}) = 3.8 A
- Area panel surya = 1580 mm x 808 mm

$$= 1,27 \times 10^6 \text{ mm}^2$$

$$= 1.27 \text{ m}^2$$

j) Daya *input* pada panel surya dengan kecepatan angin 3,60 m/s

Daya input adalah perkalian antara intensitas cahaya matahari yang diterima dengan

luas permukaan panel surya dengan rumus sebagai berikut:

$$P_{in} = I_r \cdot A$$

$$\begin{aligned}
 P_{in} &= 666.8 \text{ W/m}^2 \times 1,27 \text{ m}^2 \\
 &= 846.83 \text{ W}
 \end{aligned}$$

k) Daya *output* panel surya dengan kecepatan angin 3,60 m/s

Daya *output* adalah perkalian antara tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}), arus hubungan singkat (I_{sc}), dan *fill factor* (FF) yang dihasilkan oleh sel *photovoltaic* dengan rumus sebagai berikut:

$$P_{out} = V_{oc} I_{sc} FF$$

$$FF = \frac{V_{oc} - I_n (V_{oc} - 0.72)}{V_{oc} + 1}$$

$$FF = \frac{40.7 \text{ V} - I_n (40.7 - 0.72)}{40.7 \text{ V} + 1}$$

$$FF = 0.887$$

$$P_{out} = 40.7 \text{ V} \times 3.8 \text{ A} \times 0.887$$

$$= 137.27 \text{ W}$$

l) Efisiensi panel surya pada sudut 3.6 m/s

Efisiensi adalah perbandingan daya yang dapat dibangkitkan oleh sel surya dengan energi input yang diperoleh dari radiasi matahari dengan rumus sebagai berikut:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{137.27 \text{ W}}{846.83 \text{ W}} \times 100\%$$

$$\eta = 16.2 \%$$

Dari hasil perhitungan diatas dapat kita lihat bahwa *P input* lebih tinggi daripada nilai *P output* pada setiap panel dengan kecepatan angin berbeda. Data hasil perhitungan keseluruhan data dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.5 Data hasil perhitungan pada kecepatan angin 0 m/s

Waktu (WIB)	Isc (A)	Voc (V)	Ir (W/m ²)	FF	Daya input (W)	Daya Output (W)	Efisiensi (%)
9:00	3.7	37.16	666.8	0.879568	846.836	120.93	14.28
10:00	4	38.52	742.3	0.882786	942.721	136.01	14.42
11:00	4.4	37.91	850.1	0.881366	1079.627	147.01	13.61
12:00	5	37.8	993.5	0.881106	1261.745	166.52	13.19
13:00	5.2	37.93	1138.5	0.881413	1445.895	173.84	12.02
14:00	4.5	36.75	405.1	0.87856	514.477	145.29	28.24
15:00	2.4	36.8	454.1	0.878684	576.707	77.6	13.45

Tabel 4.6 Data hasil perhitungan pada kecepatan angin 2,30 m/s

Waktu (WIB)	Isc (A)	Voc (V)	Ir (W/m ²)	FF	Daya input (W)	Daya Output (W)	Efisiensi (%)
9:00	3.6	40.3	666.8	0.886723	846.836	128.64	15.19
10:00	3.9	39.72	742.3	0.885472	942.721	137.16	14.55
11:00	4.7	39.07	850.1	0.884034	1079.627	162.33	15.03
12:00	5	38.7	993.5	0.883197	1261.745	170.88	13.54
13:00	5.8	39.16	1138.5	0.884236	1445.895	200.83	13.9
14:00	4.5	38.7	405.1	0.883197	514.477	153.8	29.89
15:00	2.3	39.4	454.1	0.884769	576.707	80.17	13.9

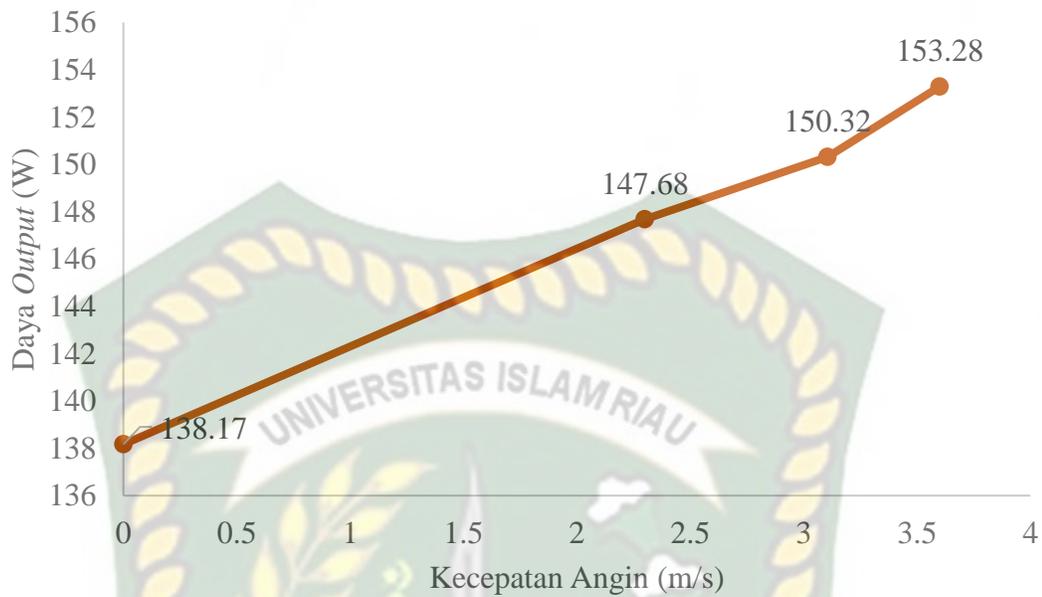
Tabel 4.7 Data hasil perhitungan pada kecepatan angin 3,11 m/s

Waktu (WIB)	Isc (A)	Voc (V)	Ir (W/m ²)	FF	Daya input (W)	Daya Output (W)	Efisiensi (%)
9:00	3.7	40.2	666.8	0.88651	846.836	131.85	15.52
10:00	4.1	40	742.3	0.88608	942.721	145.31	15.41
11:00	4.5	39.8	850.1	0.885647	1079.627	158.61	14.69
12:00	5	39.3	993.5	0.884548	1261.745	173.81	13.77
13:00	5.8	39.45	1138.5	0.88488	1445.895	202.47	14
14:00	4.5	39.2	405.1	0.884325	514.477	155.99	30.32
15:00	2.4	39.64	454.1	0.885298	576.707	84.22	14.6

Tabel 4.8 Data Hasil Perhitungan pada Kecepatan angin 3,60 m/s

Waktu (WIB)	Isc (A)	Voc (V)	Ir (W/m ²)	FF	Daya input (W)	Daya Output (W)	Efisiensi (%)
9:00	3.8	40.7	666.8	0.887569	846.836	137.27	16.2
10:00	4.2	40.2	742.3	0.88651	942.721	149.67	15.87
11:00	4.7	39.43	850.1	0.884836	1079.627	163.97	15.18
12:00	5.1	39.1	993.5	0.884101	1261.745	176.29	13.97
13:00	5.5	39.5	1138.5	0.88499	1445.895	192.26	13.29
14:00	4.6	38.96	405.1	0.883787	514.477	158.38	30.78
15:00	2.7	39.8	454.1	0.885647	576.707	95.17	16.5

Sehingga didapatkan grafik hubungan antar hubungan variasi kecepatan angin terhadap daya *output* setiap panel seperti pada gambar di bawah ini. . Nilai yang digunakan dalam grafik merupakan nilai rata-rata daya *output* panel surya dari hasil perhitungan pada tabel diatas

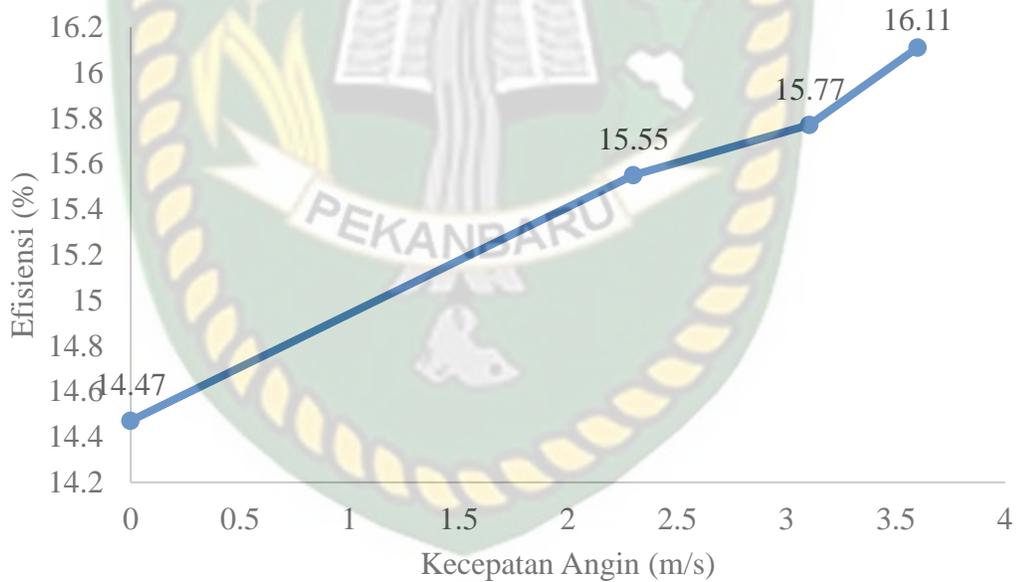


Gambar 4.4 Grafik pengaruh variasi kecepatan angin terhadap daya *ouput*

Pada gambar 4.4 merupakan grafik hubungan variasi kecepatan angin terhadap daya *output* di setiap panel. Dari data diatas dapat kita lihat yaitu untuk daya output pada panel surya dengan kecepatan angin 0 m/s sebesar 138.17 W, kecepatan angin 2,30 m/s sebesar 147.69 W, kecepatan angin 3,11 m/s sebesar 150.32 W, dan kecepatan angin 3,60 m/s sebesar 153.29 W. Nilai ini menunjukkan dampak perubahan pada daya *output* panel surya dengan variasi kecepatan angin. Semakin tinggi kecepatan angin, maka nilai daya output yang dihasilkan juga semakin tinggi dan sebaliknya. Sehingga sistem pendingin dengan kecepatan angin berpengaruh terhadap kinerja panel surya.

4.4 Pengaruh Nilai Efisiensi Dengan Variasi Kecepatan Angin

Efisiensi adalah salah satu indikator untuk mengetahui performansi dari suatu panel surya. Sehingga dengan performansi tersebut perancang sistem *PV (photovoltaic)* dapat membandingkan dan memperkirakan berapa banyak energi listrik yang dihasilkan panel surya. Namun, efisiensi akan tergantung pada suhu pengoperasian modul, tingkat radiasi dan kecepatan angin serta beberapa faktor lainnya. Oleh karena itu, diperlukan pengujian guna mengetahui kondisi sebenarnya (*actual*) dari kinerja panel surya tersebut. Dari data hasil perhitungan efisiensi didapatkan grafik berikut, dapat kita lihat pada gambar 4.6 yang menjelaskan hasil nilai efisiensi.



Gambar 4.5 Grafik variasi kecepatan angin terhadap efisiensi

Berdasarkan data penelitian pada grafik untuk efisiensi rata-rata sistem maksimum dari panel surya tipe 180 WP adalah 16.11 % pada kecepatan angin 3,60 m/s dan nilai efisiensi minimum terjadi pada panel surya tanpa pendingin pada kecepatan 0 m/s sebesar 14.47 %. Terjadi peningkatan linear efisiensi panel surya pada setiap kenaikan kecepatan angin kipas. Hal ini terjadi penurunan temperatur permukaan panel yang akan menyebabkan kenaikan daya output dari panel tersebut.

Dapat disimpulkan bahwa semakin besar kecepatan angin pada kipas maka efisiensi yang diperoleh juga akan semakin besar. Hal ini dikarenakan temperatur permukaan panel turun seiring kenaikan kecepatan angin. Hal ini juga diperkuat oleh penelitian lainnya yang menyebutkan bahwa kenaikan rata-rata efisiensi listrik yang paling besar terjadi pada saat penurunan rata-rata pada temperatur yang paling rendah (S. Nizetić, 2016)

4.5 Pengaruh Laju Perpindahan Panas Konveksi Paksa Terhadap Kinerja Panel Surya

Untuk perhitungan laju perpindahan panas konveksi paksa digunakan temperatur rata-rata dari permukaan panel pendingin dan temperatur panel tanpa pendingin sebagai temperatur lingkungan di tanggal 31 Maret 2021 dari jam 09.00 WIB – 15.00 WIB. Untuk menentukan sifat fisis dari udara digunakan temperatur *film* untuk mendapatkan parameter yang digunakan dalam perhitungan laju perpindahan panas dari tabel *properties of air* dengan metode interpolasi. Laju perpindahan panas konveksi dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut.

4.5.1 Koefisien Perpindahan Panas Konveksi Pada Kecepatan Angin 2,30 m/s

Untuk menghitung laju perpindahan panas konveksi paksa dapat diketahui dengan persamaan berikut:

- $T_f = 44,7 \text{ }^\circ\text{C}$
- $\rho = 1,1100 \text{ kg/m}^3$
- $v = 2,3 \text{ m/s}$
- $l = 1,58 \text{ m}$
- $\mu = 1,939 \times 10^{-5} \text{ Ns/m}^2$
- $Pr = 0,7241$
- $k = 0,02696 \text{ W/mK}$
- $T_s = 43,6 \text{ }^\circ\text{C}$
- $T_\infty = 45,8 \text{ }^\circ\text{C}$
- $A = 1,27 \text{ m}^2$

A. Bilangan Reynold

Bilangan Reynold adalah bilangan tanpa dimensi untuk menentukan jenis aliran dengan rumus sebagai berikut:

$$Re = (\rho \times v \times l) / \mu$$

$$Re = \frac{1.1100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 2,3 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 1.58 \text{ m}}{1,939 \times 10^{-5} \text{ Ns/m}^2}$$

$$= 208031,98$$

B. Bilangan Nusselt

Bilangan Nusselt adalah perbandingan antara perpindahan kalor konveksi pada suatu lapisan fluida dibandingkan dengan perpindahan kalor konduksi pada lapisan fluida tersebut dengan rumus sebagai berikut:

$$Nu = 0,664 Re^{(1/2)} Pr^{(1/3)}$$

$$Nu = 0,664 \times 208031,98^{(0,5)} \times 0,7241^{(1/3)}$$

$$= 271,69$$

C. Koefisien Perpindahan Panas Konveksi

Koefisien perpindahan panas konveksi adalah parameter yang diperoleh berdasarkan eksperimen yang mana nilainya bergantung kepada semua variable yang mempengaruhi proses konveksi seperti geometri permukaan, sifat aliran fluida, property fluida dan kecepatan fluida dengan rumus sebagai berikut:

$$h = (Nu \cdot k) / l$$

$$h = \frac{271,69 \times 0,02696 \text{ W/mK}}{1,58 \text{ m}}$$

$$= 4.64 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

D. Newton's Law of Cooling

Newton's Law of Cooling adalah rumus untuk menentukan laju nilai perpindahan panas yang terjadi karena perbedaan temperatur dengan rumus sebagai berikut:

$$q = h \cdot A \cdot (T_s - T_\infty)$$

$$= 4.64 \text{ W/m}^2.\text{K} \times 1,28 \text{ m}^2 \times (318.8 - 316.6) \text{ K}$$

$$= 22,15 \text{ W}$$

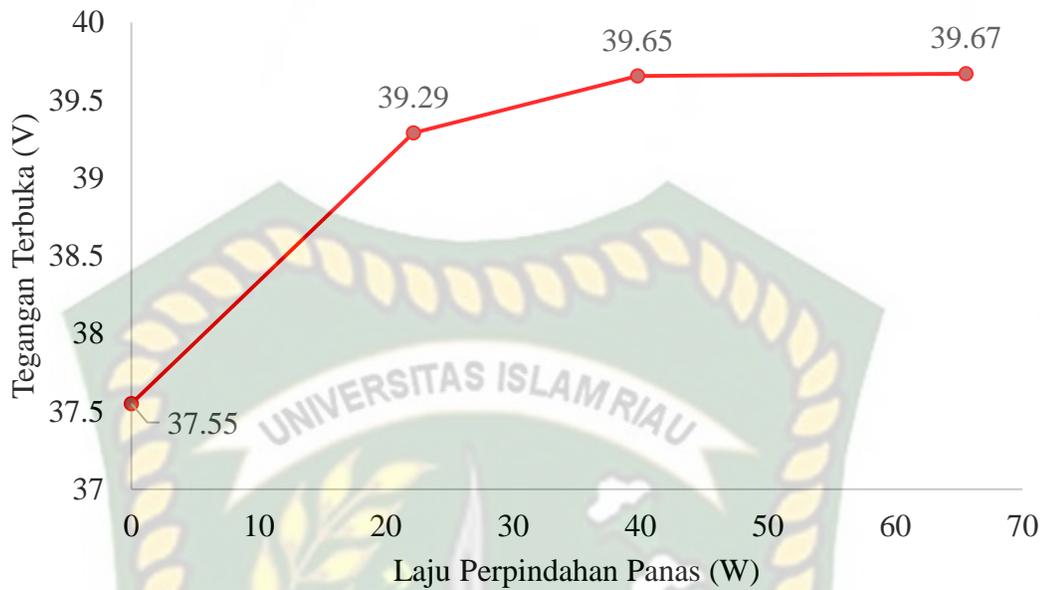
Dengan metode perhitungan yang sama pada kondisi kecepatan angin berbeda pada empat panel surya, maka untuk hasil perhitungan laju perpindahan panas konveksi dengan kecepatan angin 0 m/s, 3,11 m/s dan 3,60 m/s dengan nilai temperatur permukaan (T_s) dan temperatur lingkungan (T_∞) tertentu terdapat pada tabel 4.5 dengan grafik pada gambar 4.7

Tabel 4.5 Data perhitungan laju perpindahan panas

Pengujian (m/s)	T_s (°C)	T_∞ (°C)	h (W/m ² .K)	q (W)	Voc (V)	Isc (A)	Pout (W)	η (%)
0	45.83	45.83	0	0	37.55	4.17	138.17	14.47
2.3	43.60	45.83	4.64	22,15	39.29	4.25	147.69	15.55
3.106	42.37	45.83	5.24	39,77	39.65	4.28	150.32	15.77
3.6	40.45	45.83	5.81	65,56	39.67	4.37	153.29	16.11

4.5.2 Pengaruh Perpindahan Panas Terhadap Tegangan Terbuka (Voc)

Nilai yang digunakan dalam grafik dibawah ini merupakan nilai rata-rata laju perpindahan panas dan tegangan panel surya dari jam 09.00 WIB – 15.00 WIB.



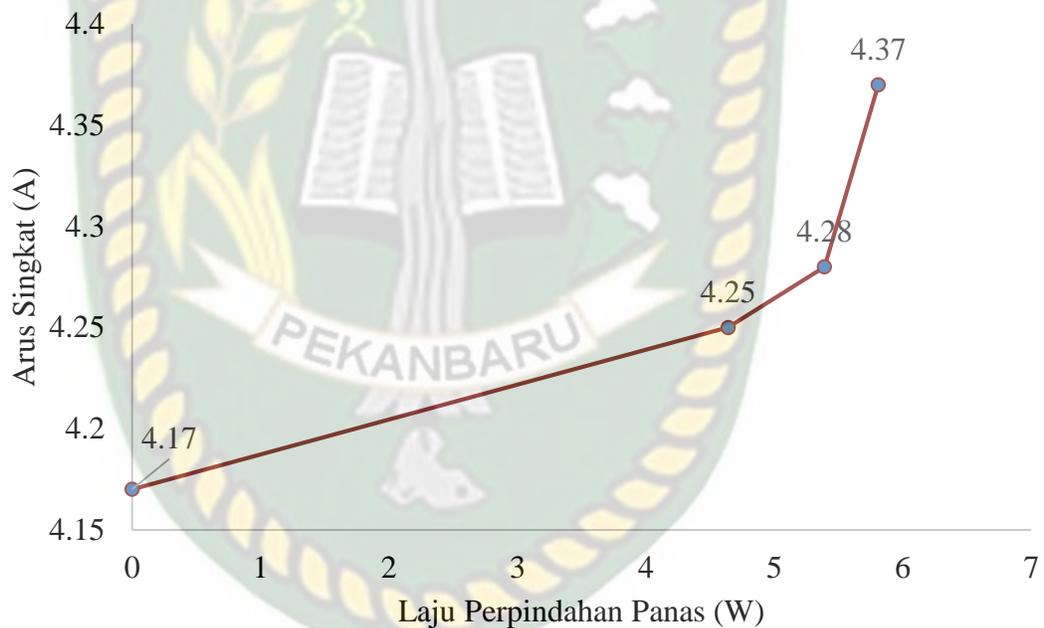
Gambar 4.6 Grafik laju perpindahan panas terhadap tegangan terbuka

Pada gambar 4.6 dapat dilihat grafik laju perpindahan panas terhadap tegangan terbuka. Pada panel surya dengan kecepatan 0 m/s dengan tidak menunjukkan nilai laju perpindahan panas tetapi menghasilkan tegangan sebesar 37.55 V. Hal ini karena tidak ada sistem pendinginan paksa pada permukaan panel sehingga tidak ada panas yang terbuang. Pada panel surya dengan kecepatan angin 2,30 m/s terjadi laju perpindahan paling sebesar 22,15 W dengan nilai tegangan terbuka sebesar 39.29 V. Sedangkan pada panel surya dengan kecepatan angin 3,11 m/s terjadi laju perpindahan sebesar 39,77 W dengan nilai tegangan terbuka sebesar 39.65 V. Dan nilai laju perpindahan tertinggi sebesar 65.56 W dengan nilai tegangan terbuka sebesar 39.29 V pada panel surya dengan kecepatan 3.60 m/s. Dapat dilihat bahwa panel surya dengan laju perpindahan panas yang tinggi memperoleh nilai tegangan terbuka yang tinggi dan

sebaliknya. Hal ini dikarenakan pengaruh dari kecepatan angin, semakin laju kecepatan angin semakin besar laju perpindahan panas. Semakin tinggi laju perpindahan panas, semakin turun temperatur permukaan panel surya yang berpengaruh terhadap kinerja pada panel surya. Nilai temperatur permukaan panel dapat dilihat pada tabel 4.5.

4.5.3 Pengaruh Perpindahan Panas Terhadap Arus Singkat (Isc)

Nilai yang digunakan dalam grafik dibawah ini merupakan nilai rata-rata laju perpindahan panas dan arus singkat panel surya dari jam 09.00 WIB – 15.00 WIB.



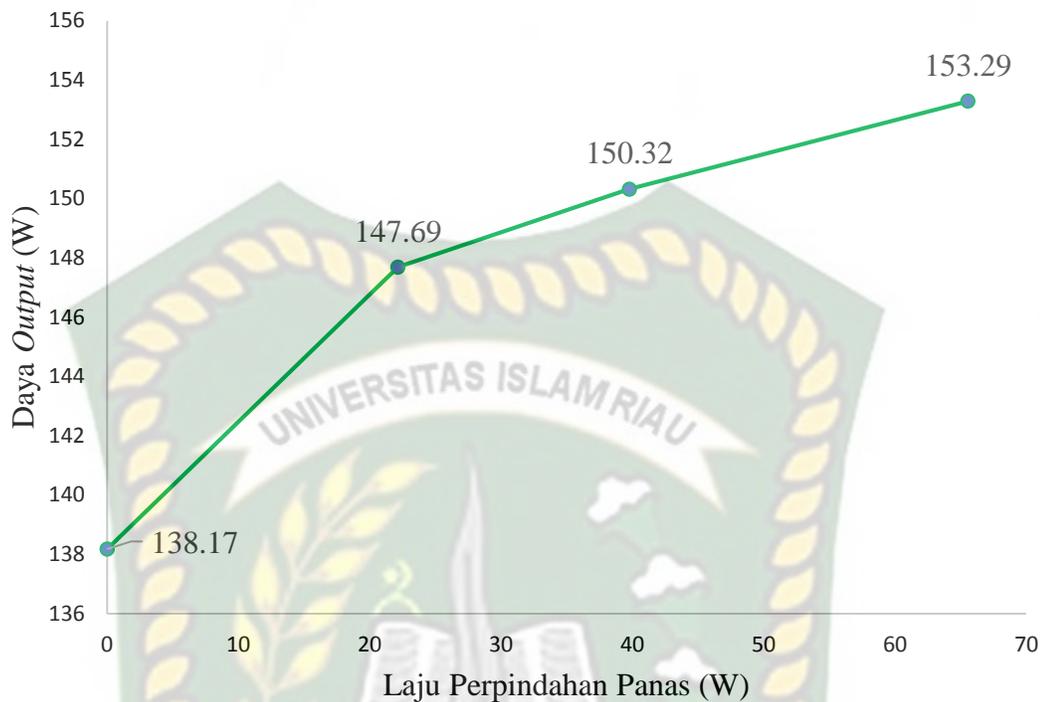
Gambar 4.7 Grafik laju perpindahan panas arus singkat terhadap waktu

Pada gambar 4.6 dapat dilihat grafik laju perpindahan panas terhadap arus singkat tiap panel surya. Pada setiap kecepatan angin terjadi kelajuan nilai perpindahan panas dan arus singkat pada panel.

Pada panel surya dengan kecepatan 0 m/s dengan menunjukkan nilai laju perpindahan panas sebesar 0 W tetapi menghasilkan arus singkat sebesar 4.17 A. Hal ini karena tidak ada sistem pendinginan paksa pada permukaan panel sehingga tidak ada panas yang terbangun. Pada panel surya dengan kecepatan angin 2,30 m/s terjadi laju perpindahan sebesar 22,15 W dengan nilai arus singkat sebesar 4.25 A. Pada panel surya dengan kecepatan angin 3,11 m/s terjadi laju perpindahan sebesar 39,77 W dengan nilai arus singkat sebesar 4.28 A. Sedangkan pada panel surya dengan kecepatan angin 3,60 m/s terjadi laju perpindahan panas tertinggi sebesar 65,56 W dengan nilai arus singkat sebesar 4.25 A. Nilai laju perpindahan panas tiap panel berdampak pada nilai arus yang diperoleh. Pada panel surya dengan nilai arus yang tinggi memiliki nilai laju perpindahan panas konveksi di atas permukaan panel yang tinggi dan sebaliknya.

4.5.4 Pengaruh Perpindahan Panas Terhadap Daya *Output*

Nilai yang digunakan dalam grafik dibawah ini merupakan nilai rata-rata laju perpindahan panas dan daya *output* panel surya dari jam 09.00 WIB – 15.00 WIB.



Gambar 4.8 Grafik laju perpindahan panas terhadap daya *output*

Pada gambar 4.8 dapat dilihat grafik laju perpindahan panas terhadap tegangan terbuka. Pada panel surya dengan kecepatan 0 m/s dengan tidak menunjukkan nilai laju perpindahan panas tetapi menghasilkan daya *output* sebesar 138.17 W. Pada panel surya dengan kecepatan angin 2,30 m/s terjadi laju perpindahan sebesar 22,15 W dengan nilai daya *output* sebesar 147,69 W. Sedangkan pada panel surya dengan kecepatan angin 3,11 m/s terjadi laju perpindahan sebesar 39,77 W dengan nilai daya *output* sebesar 150.32 W. Dan nilai laju perpindahan tertinggi sebesar 65,56 W dengan nilai daya *output* sebesar 153,29 W dengan kecepatan angin 3,60 m/s. Dapat disimpulkan bahwa semakin besar kecepatan angin maka nilai laju perpindahan

semakin besar dan berdampak pada daya *output* yang semakin baik. Hal ini dikarenakan temperatur panel turun seiring kenaikan kecepatan angin.

4.5.5 Pengaruh Perpindahan Panas Terhadap Efisiensi

Nilai yang digunakan dalam grafik dibawah ini merupakan nilai rata-rata laju perpindahan panas dan arus singkat panel surya dari jam 09.00 WIB – 15.00 WIB.



Gambar 4.9 Grafik laju perpindahan panas terhadap efisiensi

Pada gambar 4.9 dapat dilihat grafik laju perpindahan panas terhadap efisiensi tiap panel surya. Pada panel surya dengan kecepatan 0 m/s dengan tidak menunjukkan nilai laju perpindahan panas tetapi menghasilkan efisiensi sebesar 14.47 %. Pada panel surya dengan kecepatan angin 2,30 m/s terjadi laju perpindahan sebesar 22,15 W dengan nilai efisiensi sebesar 15,55 %. Sedangkan pada panel surya dengan kecepatan

angin 3,106 m/s terjadi laju perpindahan sebesar 39,77 W dengan nilai efisiensi sebesar 15,77 %. Dan pada panel surya dengan kecepatan angin 3,60m/s nilai laju perpindahan tertinggi sebesar 65,56 W dengan nilai efisiensi sebesar 16,11 %. Dapat disimpulkan bahwa semakin besar kecepatan angin maka efisiensi yang dihasilkan juga semakin besar. Hal ini dikarenakan laju perpindahan panas semakin besar seiring kenaikan dari kecepatan angin yang berdampak pada penurunan temperatur. Hal ini juga diperkuat oleh penelitian lainnya yang menyebutkan bahwa peningkatan rata-rata efisiensi listrik yang paling besar terjadi pada saat penurunan rata-rata temperatur paling rendah (M. Schmidt, 2016)

4.6 Perhitungan Tebal Lapisan Batas (*Boundary Layer Thickness*) Konvektif Pada Panel Surya Dengan Variasi Kecepatan Angin

Untuk perhitungan tebal lapis batas konvektif digunakan data yang dihasilkan dalam perhitungan laju perpindahan panas.

4.6.1 Perhitungan Tebal Lapisan Batas (*Boundary Layer Thickness*) Pada Panel Surya Dengan Variasi Kecepatan Angin Dengan Kecepatan Angin 2.3 m/s

Tebal lapisan batas dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut. Untuk menghitung tebal lapis batas (*boundary layer thickness*) dapat diketahui dengan persamaan berikut :

$$\delta = \frac{5X}{Re^{1/2}}$$

$$= \frac{5 (1.58 \text{ m})}{(208031,98)^{1/2}}$$

$$= 0,01732\text{m}$$

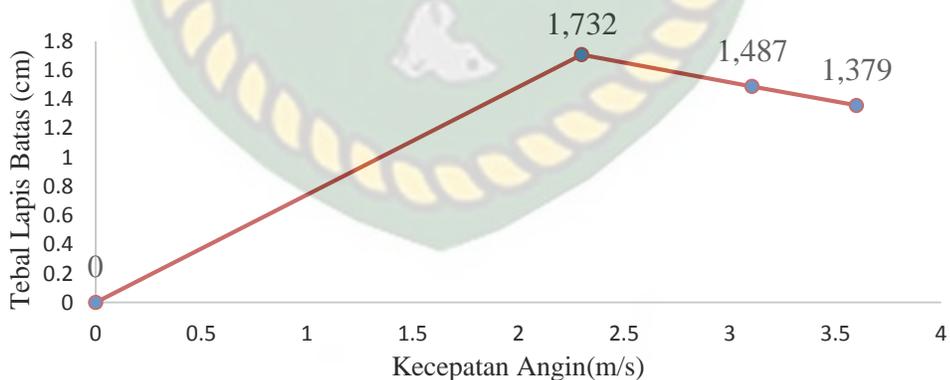
$$= 1,732 \text{ cm}$$

Dengan metode perhitungan yang sama pada kondisi kecepatan angin berbeda pada empat panel surya didapat hasil perhitungan pada tabel 4.6

Tabel 4.6 Data hasil perhitungan tebal lapis batas

Pengujian (m/s)	Tebal Lapis Batas (m)
0	0
2.30	0.01732
3,11	0,01487
3.60	0,01379

Sehingga didapatkan grafik hubungan variasi kecepatan angin terhadap *boundary layer thickness* pada gambar dibawah ini



Gambar 4.10 Grafik variasi kecepatan angin terhadap *boundary layer thickness*

Berdasarkan grafik 4.10 menunjukkan hasil tebal lapisan batas pada setiap panel terhadap kecepatan angin yang berbeda. Untuk panel surya tanpa sistem pendinginan paksa tidak didapatkan nilai lapisan batas termal, hal ini terjadi karena tidak adanya fluida udara yang mengalir di atas permukaan panel. Nilai tebal lapisan batas yang tertinggi yaitu 1,732 cm terjadi pada panel dengan kecepatan angin 2.30 m/s. Pada panel surya dengan kecepatan angin 3.106 m/s nilai tebal lapisan batas sebesar 1,487 cm, sedangkan nilai lapisan batas terendah terjadi pada panel surya dengan kecepatan angin 3.60 m/s sebesar 1,379 cm. Hal ini terjadi karena kecepatan angin yang berbeda dapat mempengaruhi besarnya angka reynold pada permukaan panel.

Nilai tebal lapisan batas menunjukkan seberapa besar hambatan sinar yang masuk ke dalam *wafers*, sehingga mempengaruhi kinerja dari panel surya. Hal ini sesuai dengan efisiensi tertinggi yang terjadi pada panel surya dengan kecepatan angin 3.6 m/s sebesar 16 % sedangkan untuk tebal lapisan batas yang diperoleh paling rendah sebesar 0.01358 m dibandingkan panel surya yang lain.

4.7 Kecepatan Angin Yang Sesuai Untuk Panel Surya Yang Berada Di Kota Pekanbaru

Pendinginan panel surya sangat terganutng dari media pendinginan yang digunakan. Pendinginan panel surya dengan media angin sangat dipengaruhi oleh kecepatan angin tersebut. Sedangkan kecepatan angin pada kondisi luar ruangan , dapat dipegaruhi oleh cuaca dan ketinggian.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, didapatkan bahwa penurunan temperatur permukaan dapat terjadi dengan pendinginan paksa dengan kecepatan angin 2.3 m/s, 3.106 m/s , dan 3.6 m/s di atas permukaan panel. Hal ini dapat dikorelasikan dengan kecepatan angin alami yang terjadi pada kota Pekanbaru dengan melihat data dari data BMKG (2019) arah dan kecepatan angin di Pekanbaru adalah:

Tabel 4.9 Kecepatan dan arah angin di Kota Pekanbaru pada tahun 2019

No	Bulan	Kecepatan Angin (m/s)		
		Kecepatan Maximum	Kecepatan Rata-Rata	Arah
1.	Januari	11.3	3.6	NW(260°)
2.	Februari	14.4	3.1	NE(260°)
3.	Maret	18.5	3.6	NW(030°)
4.	April	18	3.1	NW(260°)
5.	Mei	11.8	3.1	S(160°)
6.	Juni	11.8	3.6	S(170°)
7.	Juli	8.2	4.1	NW(180°)
8.	Agustus	8.7	5.1	NW(260°)
9.	September	13.3	3.6	S(150°)
10.	Oktober	13.8	3.1	NW(150°)
11.	November	11.3	3.1	VRB(350°)
12.	Desember	9.2	3.5	NE(050°)
Total		150.7	42.6	

Keterangan: NW = Northwest (Barat Laut)

NE = Northeast (Timur Laut)

S = South (Selatan)

Sumber: Data BMKG pada tahun 2019

Dari data diatas dapat dilihat bahwa kecepatan angin alami rata-rata yang terjadi selama 12 bulan di kota Pekanbaru sebesar 3,55 m/s sehingga nilai tersebut sesuai

dengan pengujian yang telah dilakukan dan mampu menurunkan temperatur permukaan yang berdampak pada kenaikan daya output dari panel surya. Walaupun kecepatan angin alami tersebut tidak dapat berhembus dalam jangka waktu yang terus menerus tetapi setidaknya mampu meredam temperatur permukaan panel surya.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian mengenai studi kinerja panel surya tipe 180 WP berdasarkan *air cooling system* dan perpindahan panas pada permukaan panel surya diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil penelitian dan perhitungan yang di lakukan dapat di ketahui besar kinerja panel surya berupa tegangan terbuka (V_{oc}), arus singkat (I_{sc}), daya *output* (P_{out}) dan efisiensi (η) rata rata pada tanggal 31 Maret 2021 dari jam 09.00 WIB – 15.00 WIB, terdapat pengaruh *air cooling system* dengan variasi kecepatan angin terhadap kinerja panel surya. Semakin laju angin yang diberikan maka semakin baik kinerja dari panel surya tersebut. Data penelitian dan perhitungan hasilnya sebagai berikut:
 - Kecepatan angin 0 m/s menghasilkan tegangan terbuka (V_{oc}) 37.55 V arus singkat (I_{sc}) 4.2 A, daya *output* (P_{out}) 138.17 W, dan efisiensi (η) 14,47 %
 - Kecepatan angin 2.3 m/s menghasilkan tegangan terbuka (V_{oc}) 39.29 V arus singkat (I_{sc}) 4.25 A , daya *output* (P_{out}) 147.69 W, dan efisiensi (η) 15.55 %

- Kecepatan angin 3.016 m/s menghasilkan tegangan terbuka (V_{oc}) 39.67 V , arus singkat (I_{sc}) 4.28 A, daya *output* (P_{out}) 150.32 W, dan efisiensi (η) 15.77 %
 - Kecepatan angin 3.6 m/s menghasilkan tegangan terbuka (V_{oc}) 39.65 V , arus singkat (I_{sc}) 4.37 A , daya *output* (P_{out}) 153.29 W, dan efisiensi (η) 16.11 %
2. Dari hasil penelitian dan perhitungan laju perpindahan panas pada setiap panel surya dengan variasi kecepatan angin, didapatkan bahwa semakin laju kecepatan angin pada panel surya semakin laju perpindahan panas panel surya dan kinerja semakin baik. Hal ini dikarenakan temperatur permukaan semakin menurun. Data penelitian dan perhitungan hasilnya sebagai berikut:
- Kecepatan angin 0 m/s menghasilkan laju perpindahan panas 0 Watt, tegangan terbuka (V_{oc}) 37.55 V arus singkat (I_{sc}) 4.2 A, daya *output* (P_{out}) 138.17 W, dan efisiensi (η) 14,47 %
 - Kecepatan angin 2.3 m/s menghasilkan laju perpindahan panas 22,15 W , tegangan terbuka (V_{oc}) 39.29 V, arus singkat (I_{sc}) 4.25 A , daya *output* (P_{out}) 147.69 W, dan efisiensi (η) 15.55 %
 - Kecepatan angin 3.106 m/s menghasilkan laju perpindahan panas 39,77 W, tegangan terbuka (V_{oc}) 39.67 V , arus singkat (I_{sc}) 4.28 A, daya *output* (P_{out}) 150.32 W, dan efisiensi (η) 15.77 %

- Kecepatan angin 3.6 m/s menghasilkan laju perpindahan panas 65,56 W, tegangan terbuka (Voc) 39.65 A, arus singkat (Isc) 4.37 A, daya output (Pout) 153.29 W, dan efisiensi (η) 16.11 %

3. Dari perhitungan tebal lapisan batas pada panel surya dengan variasi kecepatan angin diperoleh nilai sebagai berikut

- Kecepatan angin 0 m/s memiliki tebal lapisan batas sebesar 0 cm
- Untuk Kecepatan angin 2.30 m/s memiliki tebal lapisan batas sebesar 1,732 cm
- Untuk Kecepatan angin 3.11 m/s memiliki tebal lapisan batas sebesar 1,487 cm
- Untuk kecepatan angin 3.60 m/s memiliki tebal lapisan batas sebesar 1,379 cm

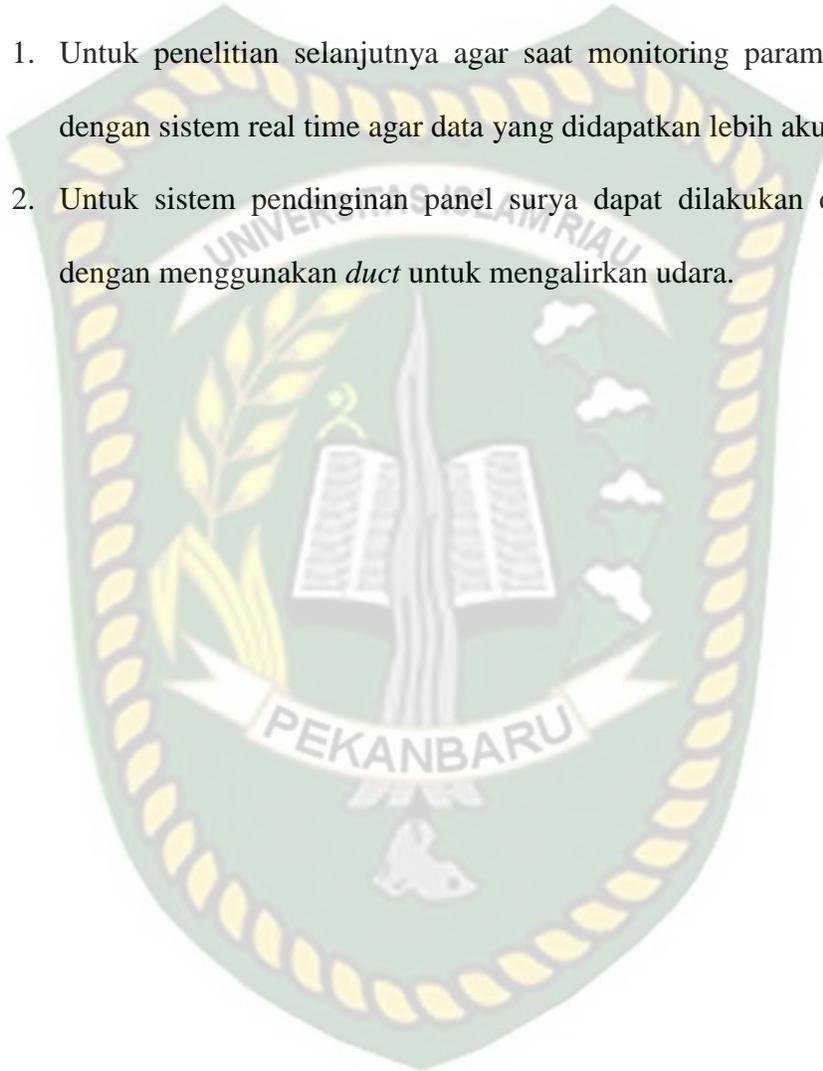
Nilai tebal lapisan batas menunjukkan seberapa besar hambatan sinar yang masuk ke dalam *wafer*, sehingga mempengaruhi kinerja dari panel surya. Semakin besar nilai tebal lapis batas pada panel surya, maka semakin besar nilai hambatan sinar yang masuk.

4. Dari data kecepatan angin alami rata-rata di Kota Pekanbaru selama 12 bulan di kota Pekanbaru sebesar 3,55 m/s sehingga nilai tersebut sesuai dengan pengujian yang telah dilakukan dan mampu menurunkan temperatur permukaan yang berdampak pada kenaikan daya output dari panel surya

5.2 Saran

Adapun saran yang diharapkan sebagai pengembangan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk penelitian selanjutnya agar saat monitoring parameter pengujian dengan sistem real time agar data yang didapatkan lebih akurat.
2. Untuk sistem pendinginan panel surya dapat dilakukan dibawah panel dengan menggunakan *duct* untuk mengalirkan udara.



DAFTAR PUSTAKA

- Cahyono, G. R., Ansyah, P. R., & Munthaha, M. (2020). Pengaruh Variasi Kecepatan Hembusan Udara Terhadap Temperatur, Daya Output dan Efisiensi Pada Pendinginan Panel Surya. *Infotekmesin*, 11(2), 141-146
- Cengel, Yunus A. 2000. *Heat Transfer A Practical Approach Second Edition*.
- Huang, B. J., Lin, T. H., Hung, W. C., & Sun, F. S. (2001). *Performance evaluation of solar photovoltaic/thermal systems*. *Solar energy*, 70(5), 443-448.
- Leow, W.Z., et al. *Investigation of Solar Panel Performance Based on Different Wind Velocity Using ANSYS*. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*. 2016. 1 (3). 456-458.
- Martawati, M. (2018). Analisis simulasi pengaruh variasi intensitas cahaya terhadap daya dari panel surya. *JURNAL ELTEK*, 16(1), 125-136.
- Mazón-Hernández, R., García-Cascales, J. R., Vera-García, F., Káiser, A. S., & Zamora, B. (2013). *Improving the electrical parameters of a photovoltaic panel by means of an induced or forced air stream*. *International Journal of Photoenergy*, 2013.

Pradana, Michael Aditya Putra & Tjendro, *Prototype Sistem Kontrol Otomatis Pada Pembangkit Listrik Alternatif Tegangan Rendah. Jurnal Ilmiah Widya Teknik.* 2016, 15 (2), 116-117.

Asrori, A., & Yudiyanto, E. (2019). Kajian Karakteristik Temperatur Permukaan Panel terhadap Performansi Instalasi Panel Surya Tipe Mono dan Polikristal. *FLYWHEEL: Jurnal Teknik Mesin Untirta*, 1(1), 68-73. Williams, D. R. 2013.

Yuliarto, Brian, 2017, "Memanen Energi Matahari, ITB, Bandung

