

SKRIPSI

**RANCANG BANGUN DAN ANALISIS KINERJA
SISTEM *WATER HEATER* BERBASIS SEL FOTOVOLTAIK**

Disusun dan diajukan oleh

**MUHAMMAD FAHRUL
D021 17 1007**



**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2022**

SKRIPSI

**RANCANG BANGUN DAN ANALISIS KINERJA
SISTEM *WATER HEATER* BERBASIS SEL FOTOVOLTAIK**

Disusun dan diajukan oleh

MUHAMMAD FAHRUL

D021171007

**Merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin**

DEPARTEMEN MESIN FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2022

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan Mengikuti Ujian Akhir guna memperoleh gelar Sarjana Teknik Mesin pada Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

JUDUL:

**RANCANG BANGUN DAN ANALISIS KINERJA
SISTEM *WATER HEATER* BERBASIS SEL FOTOVOLTAIK**

MUHAMMAD FAHRUL

D021171007

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Gowa, 22 Februari 2022

Dosen Pembimbing I



Dr. Eng. Jalaluddin, ST., MT

NIP. 19720825 200003 1 001

Dosen Pembimbing II



Dr. Eng. Andi Amijoyo Mochtar, S.T., M.Sc

NIP. 19760216 201012 1 002

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



Dr. Eng. Jalaluddin, ST., MT

NIP. 19720825 200003 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Fahrul
NIM : D021171007
Program Studi : Teknik Mesin
Jenjang : S-1
Judul Skripsi : Rancang Bangun dan Analisis Kinerja Sistem
Water Heater Berbasis Sel Fotovoltaik

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi ini merupakan hasil penelitian, pemikiran, dan pemaparan asli dari saya sendiri. Saya tidak mencampurkan tanpa pengakuan bahan-bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijazah pada Universitas Hasanuddin atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Hasanuddin

Demikian pernyataan ini saya buat

Gowa, 7 Februari 2022

Yang membuat pernyataan



Muhammad Fahrul

ABSTRACT

Muhammad Fahrul, Design and Performance Analysis of Photovoltaic Cell-Based Water Heater System (supervised by Dr. Eng. Jalaluddin., ST., MT and Dr. Eng. Andi Amijoyo Mochtar., ST., M.Sc).

Conversion of solar radiation into electrical energy is the most convenient way of utilizing solar energy. The advantages of using the Photovoltaic effect to produce electrical energy are clean, long service life and low maintenance. Therefore, through this research, we can use solar radiation to analyze the energy needed and determine the thermal efficiency of the photovoltaic cell-based water heater system. The initial stage of the research is to design a tool using the SolidWorks application. The tool is designed in several stages, namely the design of a series of tools, tanks, and the selection of photovoltaic and heaters that are suitable for use. After that, the tool is made with the previously made design. After completion, the data collection process is carried out in the form of voltage data, current generated by photovoltaic, and the optimal temperature of the water in the storage tank. The comparison of the volume of the water tank used is 25 liters, 35 liters, and 50 liters. In this study a very important thing is the selection of a heater, where the heater used is a portable car water heater with a capacity of 12 volts 120 watts. This heater in addition to its fast function to conduct heat and is also more economical than other heaters. The results of the analysis showed that the design of the photovoltaic cell-based water heater system resulted in a temperature increase of 7.5°C for a tank volume of 25 liters and 5.3°C for a tank volume of 35 liters, and 3.47°C for a tank volume of 50 liters with a heating time for 7 hours.

Keywords: Water Heater, Photovoltaic Cell, Performance

ABSTRAK

Muhammad Fahrul, Rancang Bangun dan Analisis Kinerja Sistem *Water Heater* Berbasis Sel Fotovoltaik (dibimbing oleh Dr.Eng. Jalaluddin.,ST.,MT dan Dr.Eng. Andi Amijoyo Mochtar.,ST.,M.Sc).

Konversi radiasi matahari menjadi energi listrik adalah cara paling nyaman dalam pemanfaatan energi matahari. Keuntungan dari menggunakan efek sel fotovoltaik untuk menghasilkan energi listrik adalah bersih, usia pakai lama dan pemeliharaan yang rendah. Maka dari itu melalui penelitian ini, radiasi matahari tersebut dapat kami manfaatkan untuk menganalisis energi yang dibutuhkan dan mengetahui efisiensi termal dari alat sistem *water heater* berbasis sel fotovoltaik. Tahap awal penelitian adalah merancang alat menggunakan aplikasi Solid Works. Alat tersebut dirancang dalam beberapa tahap yaitu perancangan rangkaian alat, tangki, serta pemilihan sel fotovoltaik dan heater yang cocok untuk digunakan. Setelah itu, dilakukan pembuatan alat dengan rancangan yang dibuat sebelumnya. Setelah selesai dibuat, dilakukan proses pengambilan data berupa data tegangan, arus yang dihasilkan oleh sel fotovoltaik, dan temperatur optimal air yang ada pada tangki penyimpanan. Adapun perbandingan pada volume tangki air yang digunakan yaitu 25 liter, 35 liter, dan 50 liter. Dalam penelitian ini hal yang sangat penting adalah pemilihan heater, dimana heater yang digunakan yaitu pemanas air *portable* mobil yang berkapasitas 12 volt 120 watt. Heater ini selain fungsinya yang cepat untuk menghantarkan panas dan juga lebih ekonomis dibanding heater lainnya. Setelah pengambilan data dilakukan analisis data yang mana dari hasil analisis tersebut didapatkan rancang bangun sistem *water heater* berbasis sel fotovoltaik ini menghasilkan kenaikan temperatur 7,5°C untuk volume tangki 25 liter dan 5,4°C untuk volume tangki 35 liter, serta 3,4°C untuk volume tangki 50 liter dengan waktu pemanasan selama 7 jam.

Kata kunci : *Water Heater*, Sel Fotovoltaik, Kinerja

KATA PENGANTAR

Bismillahirrohmanirrohim

Puji Syukur senantiasa kita panjatkan kehadirat Allah Subhanahu wata'ala, karena atas kehendak-Nya penulisan tugas akhir ini dapat terselesaikan. Tak lupa pula shalawat beserta salam kepada junjungan kita Nabi Muhammad *Shallallahu 'alaihi wasallam*, manusia yang menjadi panutan kita menjalani kehidupan di dunia ini. Dengan izin dan rahmat dari Allah semata penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul: **Rancang Bangun dan Analisis Kinerja Sistem Water Heater Berbasis Sel Fotovoltaik** untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan studi serta dalam rangka memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Penghargaan dan terima kasih penulis sampaikan kepada Bapak Dr.Eng. Jalaluddin.,ST.,MT selaku Pembimbing Utama dan Bapak Dr.Eng. Andi Amijoyo Mochtar.,ST.,M.Sc selaku Pembimbing Pendamping yang telah banyak membantu baik dalam penulisan maupun pemikiran pada skripsi ini. Serta penghargaan dan terima kasih pula kepada kedua dosen penguji saya yaitu Bapak Ir.Baharuddin Mire,MT dan Bapak Dr.Rustan Tarakka,ST.,MT yang telah banyak memberikan masukan baik dalam hal penulisan skripsi maupun dalam membimbing saya selama proses perkuliahan.

Pada kesempatan ini penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, Bapak Latang dan Ibu Andi Salawatiah beserta kakak-kakakku Muhammad Abral,Darni,Nur Neni,dan Adira yang telah menjadi sumber semangat dan motivasi penulis selama ini.
2. Prof. Dr. Dwia Aries Tina Pulubuhu, M.A. selaku Rektor Universitas Hasanuddin.
3. Prof. Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Dr. Eng. Jalaluddin, S.T., M.T. selaku Ketua Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah menyetujui dan menerima tugas akhir penulis.

5. Seluruh dosen Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah mendidik, mengajarkan, dan membagikan ilmu serta pengetahuannya sehingga penulis semakin paham akan bidang ilmu teknik terkhusus pada bidang Teknik mesin
6. Staf Departemen Teknik Mesin, terkhusus Ibu Suri, Pak Irwan dan juga Pak Mansur yang telah banyak membantu.
7. OKFT-UH dan HMM FT-UH yang menjadi tempat belajar dan bermain selama proses perkuliahan maupun dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Larasaty Nanda Zhakilah yang telah menemani dan memberikan banyak motivasi dalam pengerjaan skripsi ini. yang selalu mendorong saya untuk mengerjakan skripsi jikalau saya mulai bermalas-malasan dan yang selalu setia menemani serta membersamai hingga akhir.
9. Teman-teman seperjuangan di Laboratorium Energi Terbarukan yang setia menemani selama masa pengambilan data dan penulisan tugas akhir.
10. Saudara-saudara seperjuangan mahasiswa Departemen Teknik Mesin Angkatan 2017 ZYNCROMEZH yang telah memberi semangat, dukungan, maupun doa dan kerja sama yang sudah dijalani selama ini semoga kiranya keselamatan, kesehatan, dan kesuksesan selalu menyertai teman-teman sekalian.
11. Terakhir, penulis hendak menyapa setiap nama yang tak sempat penulis cantumkan satu per satu, terima kasih atas doa yang senantiasa mengalir tanpa sepengetahuan penulis. Terima kasih sebanyak-banyaknya kepada orang yang turut bersukacita atas keberhasilan penulis menyelesaikan skripsi ini.

Dalam penyusunan tugas akhir ini tentunya masih terdapat banyak kekurangan dan kekeliruan penulis serta masih jauh akan kata sempurna. Segala kekurangan dan kekeliruan berasal dari penulis yang hanya seorang manusia biasa dan Semua kebenaran berasal dari Allah SWT semata, Tulisan ini masih butuh akan sentuhan kritik, dan saran. Maka dari itu penulis memohon maaf atas kesalahan didalamnya dan semoga kebenaran yang ada dapat membantu untuk penelitian penelitian selanjutnya.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRACT	v
ABSTRAK	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
NOMENKLATUR	xiv
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Sel Fotovoltaik.....	4
2.2. Sistem Pemanas Air Tenaga Surya.....	12
2.3. <i>Heater</i> (Pemanas Air).....	13
2.4. Perpindahan Panas.....	15
2.5. Kinerja Sistem <i>Water Heater</i> Berbasis Sel Fotovoltaik.....	17
2.5.1 Perhitungan Efisiensi Sel fotovoltaik.....	17
2.5.2 Perhitungan Efisiensi Heater.....	18
2.5.3 Perhitungan Efisiensi Total dan Efisiensi Aktual.....	20
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian.....	21
3.2. Desain Alat Sistem <i>Water Heater</i> Berbasis Sel Fotovoltaik.....	21
3.3. Skema Instalasi dan Titik Pengukuran Alat.....	23
3.4. Tahapan Pengambilan Data.....	24
3.5. Diagram Alir Penelitian.....	25
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	26
4.1. Analisa Hasil Pengujian Eksperimental.....	26

4.2. Pembahasan.....	36
4.2.1 Karakteristik Radiasi Matahari Terhadap Waktu.....	36
4.2.2 Karakteristik Daya Output Sel Fotovoltaik Terhadap Waktu	37
4.2.3 Karakteristik Daya Input Sel Fotovoltaik Terhadap Waktu	40
4.2.4. Karakteristik Efisiensi Sel Fotovoltaik Terhadap Waktu	41
4.2.5. Karakteristik Kalor Air Terhadap Waktu.....	44
4.2.6. Karakteristik Efisiensi Heater Terhadap Waktu.....	47
4.2.7. Karakteristik Efisiensi Total Terhadap Waktu.....	50
4.2.8. Karakteristik Efisiensi Aktual Terhadap Waktu.....	53
4.2.9. Karakteristik Temperatur Air Optimal Terhadap Waktu	56
BAB V. PENUTUP.....	59
5.1. KESIMPULAN	59
5.2. SARAN	60
DAFTAR PUSTAKA	61
LAMPIRAN.....	63
DOKUMENTASI.....	78

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Proses perubahan energi matahari menjadi energi listrik pada fotovoltaik	5
Gambar 2. 2 Sel Fotovoltaik Monokristal.....	7
Gambar 2. 3 Sel Fotovoltaik Polikristal.....	9
Gambar 2. 4 Sel Fotovoltaik <i>Thin Film</i>	10
Gambar 2. 5 <i>Amorphous Thin Film Uni-Solar Panel PVL 124</i>	11
Gambar 2. 6 Pemanas Air <i>Portable Mobil</i> (Marek,2006).....	15
Gambar 3. 1 Desain Rangkaian Sel Fotovoltaik	21
Gambar 3. 2 Desain Tangki Air.....	22
Gambar 3. 3 Desain Alat Sistem Water Heater Berbasis Sel Fotovoltaik	22
Gambar 3. 4 Skema Instalasi Pengujian.....	23
Gambar 3. 5 Skema Titik Pengukuran Data.....	23
Gambar 3. 6 Diagram Alir Penelitian	25
Gambar 4. 1 Karakteristik Radiasi Matahari Terhadap Waktu	36
Gambar 4. 2 Karakteristik Daya Output Sel Fotovoltaik Terhadap Waktu Pada Volume Tangki 25 Liter	37
Gambar 4. 3 Karakteristik Daya Output Sel Fotovoltaik Terhadap Waktu Pada Volume Tangki 35 Liter	38
Gambar 4. 4 Karakteristik Daya Output Sel Fotovoltaik Terhadap Waktu Pada Volume Tangki 50 Liter	39
Gambar 4. 5 Karakteristik Daya Input Sel Fotovoltaik Terhadap Waktu.....	40
Gambar 4. 6 Karakteristik Efisiensi Sel Fotovoltaik Terhadap Waktu Pada Volume Tangki 25 Liter	41
Gambar 4. 7 Karakteristik Efisiensi Sel Fotovoltaik Terhadap Waktu Pada Volume Tangki 35 Liter	42
Gambar 4. 8 Karakteristik Efisiensi Sel Fotovoltaik Terhadap Waktu Pada Volume Tangki 50 Liter	43

Gambar 4. 9 Karakteristik Kalor Air Terhadap Waktu Pada Volume Tangki 25 Liter ...	44
Gambar 4. 10 Karakteristik Kalor Air Terhadap Waktu Pada Volume Tangki 35 Liter .	45
Gambar 4. 11 Karakteristik Kalor Air Terhadap Waktu Pada Volume Tangki 50 Liter .	46
Gambar 4. 12 Karakteristik Efisiensi Heater Terhadap Waktu Pada Volume Tangki 25 Liter	47
Gambar 4. 13 Karakteristik Efisiensi Heater Terhadap Waktu Pada Volume Tangki 35 Liter	48
Gambar 4. 14 Karakteristik Efisiensi Heater Terhadap Waktu Pada Volume Tangki 50 Liter	49
Gambar 4. 15 Karakteristik Efisiensi Total Terhadap Waktu Pada Volume Tangki 25 Liter	50
Gambar 4. 16 Karakteristik Efisiensi Total Terhadap Waktu Pada Volume Tangki 35 Liter	51
Gambar 4. 17 Karakteristik Efisiensi Total Terhadap Waktu Pada Volume Tangki 50 Liter	52
Gambar 4. 18 Karakteristik Efisiensi Aktual Terhadap Waktu Pada Volume Tangki 25 Liter	53
Gambar 4. 19 Karakteristik Efisiensi Aktual Terhadap Waktu Pada Volume Tangki 35 Liter	54
Gambar 4. 20 Karakteristik Efisiensi Aktual Terhadap Waktu Pada Volume Tangki 50 Liter	55
Gambar 4. 21 Karakteristik Temperatur Air Optimal Terhadap Waktu Pada Volume Tangki 25 Liter	56
Gambar 4. 22 Karakteristik Temperatur Air Optimal Terhadap Waktu Pada Volume Tangki 35 Liter	57
Gambar 4. 23 Karakteristik Temperatur Air Optimal Terhadap Waktu Pada Volume Tangki 50 Liter	58

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Pengambilan Data.....	25
Tabel 2. Data Hasil Pengukuran Volume Tangki Air 25 Liter (10 Februari 2022).....	64
Tabel 3. Data Hasil Pengukuran Volume Tangki Air 25 Liter (11 Februari 2022).....	64
Tabel 4. Data Hasil Pengukuran Volume Tangki Air 25 Liter (17 Februari 2022).....	65
Tabel 5. Data Hasil Pengukuran Volume Tangki Air 35 Liter (9 Februari 2022).....	65
Tabel 6. Data Hasil Pengukuran Volume Tangki Air 35 Liter (12 Februari 2022).....	66
Tabel 7. Data Hasil Pengukuran Volume Tangki Air 35 Liter (15 Februari 2022).....	66
Tabel 8. Data Hasil Pengukuran Volume Tangki Air 50 Liter (7 Februari 2022).....	67
Tabel 9. Data Hasil Pengukuran Volume Tangki Air 50 Liter (13 Februari 2022).....	67
Tabel 10. Data Hasil Pengukuran Volume Tangki Air 50 Liter (16 Februari 2022).....	68
Tabel 11. Data Hasil Perhitungan Volume Tangki Air 25 Liter (10 Februari 2022).....	69
Tabel 12. Data Hasil Perhitungan Volume Tangki Air 25 Liter (11 Februari 2022).....	70
Tabel 13. Data Hasil Perhitungan Volume Tangki Air 25 Liter (17 Februari 2022).....	71
Tabel 14. Data Hasil Perhitungan Volume Tangki Air 35 Liter (9 Februari 2022).....	72
Tabel 15. Data Hasil Perhitungan Volume Tangki Air 35 Liter (12 Februari 2022).....	73
Tabel 16. Data Hasil Perhitungan Volume Tangki Air 35 Liter (15 Februari 2022).....	74
Tabel 17. Data Hasil Perhitungan Volume Tangki Air 50 Liter (7 Februari 2022).....	75
Tabel 18. Data Hasil Perhitungan Volume Tangki Air 50 Liter (13 Februari 2022).....	76
Tabel 19. Data Hasil Perhitungan Volume Tangki Air 50 Liter (16 Februari 2022).....	77

NOMENKLATUR

Simbol	Keterangan	Satuan
FF	<i>Fill Factor</i>	
V_{MP}	Tegangan Maksimum dari Fotovoltaik	V
I_{MP}	Arus maksimum dari Fotovoltaik	A
P_{MP}	Daya maksimum dari Fotovoltaik	W
V_{OC}	Tegangan rangkaian terbuka	V
I_{SC}	Arus hubung singkat	A
P	Daya	W
V	Tegangan	V
I	Arus	A
P_{in}	Daya Input	W
P_{Out}	Daya Output	W
T	Temperatur	°C
T_{awal}	Temperatur Awal	°C
T_{akhir}	Temperatur Akhir	°C
G	Intensitas cahaya	W/m ²
m_{air}	Massa air	kg
C_{air}	Kalor jenis air	J/kg°C
Q_{air}	Laju aliran kalor	W

ρ	Massa jenis air	K/m ³
D	Diameter tangki	m
h	Tinggi	m
Δt	Waktu pemanasan air	s
η	Efisiensi	%

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang sangat berpotensi menjadikan energi surya sebagai salah satu sumber energi masa depan mengingat posisi Indonesia terletak pada khatulistiwa. Sehingga setiap tahunnya Indonesia menerima energi matahari yang sangat besar, namun pemanfaatan energi matahari tersebut tidak sebanding dengan banyaknya energi yang tersedia, energi matahari masih kurang pemanfaatannya di Indonesia.

Sedangkan yang kita ketahui bahwa energi matahari merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang jumlahnya tidak terbatas. Energi matahari terbagi menjadi dua yaitu energi cahaya dan energi panas. Energi tersebut diradiasikan dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Konversi radiasi matahari menjadi energi listrik adalah cara paling nyaman dalam pemanfaatan energi matahari. Keuntungan dari menggunakan efek sel fotovoltaik (PV) untuk menghasilkan energi listrik adalah bersih, tidak menimbulkan suara/hening, usia pakai lama dan pemeliharaan yang rendah.

Sementara air panas yang merupakan salah satu kebutuhan kehidupan sehari-hari, mulai dari keperluan rumah tangga seperti mencuci piring, mencuci pakaian sampai dengan mandi. Selain itu air panas juga sering digunakan di industri seperti membersihkan botol dan lain sebagainya. Untuk memperoleh air panas tersebut dapat menggunakan beberapa cara seperti menggunakan bahan bakar fosil sampai dengan energi listrik, akan tetapi karena cadangan bahan bakar fosil semakin menipis, maka dibutuhkan suatu alat untuk mendapatkan air panas dengan cara yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan. Maka salah satu cara mengatasi persoalan tersebut yaitu pemanas air tenaga surya. (Darmoko, 2018).

Sel fotovoltaik secara langsung mengubah radiasi matahari menjadi listrik dengan efisiensi puncak antara 9-12%. Lebih dari 80% dari radiasi matahari tidak dikonversikan ke energi listrik, tetapi terpantulkan atau diubah menjadi energi panas. Hal ini menyebabkan kenaikan suhu kerja sel fotovoltaik dan akibatnya menurunkan efisiensi konversi energi listrik. Kinerja sebuah sel fotovoltaik sangat tergantung pada ketersediaan radiasi matahari dan suhu sel fotovoltaik. Dengan demikian, pengetahuan yang dapat dipercaya dan pemahaman tentang kinerja sel fotovoltaik di bawah kondisi operasi yang berbeda adalah sangat penting untuk pemilihan produk yang benar dan prediksi yang akurat akan kinerjanya. (Rahmat S, 2011)

Pada penelitian sebelumnya (Rahmat S, 2011) merancang sebuah alat pemanas air tenaga matahari sistem hibrida dengan integrasi dari sel fotovoltaik dan kolektor panas surya dalam satu peralatan. Sel fotovoltaik yang dilapisi pelat tembaga yang berfungsi untuk menyerap cahaya matahari, panas yang dihasilkan sepanjang proses penyerapan cahaya matahari kemudian ikut terserap oleh pelat tembaga lalu diteruskan ke pipa-pipa pengalir yang didalamnya mengalir air.

Berdasarkan hal tersebut, pengembangan hal baru tentang pemanas air tenaga matahari dengan menggunakan sel fotovoltaik sangat diperlukan. Sel fotovoltaik juga dapat mengubah radiasi matahari menjadi energi listrik, kemudian energi listrik yang dihasilkan dari sel fotovoltaik tersebut dapat digunakan untuk memanaskan air dengan menggunakan elemen pemanas DC (*heater*).

Sistem pemanas air tenaga matahari dengan menggunakan sel fotovoltaik terdiri dari elemen pemanas air DC tetap yang dikendalikan oleh unit mikroprosesor untuk memvariasikan resistansi elemen pemanas dan memberikan daya sel fotovoltaik maksimum untuk pemanasan air. (Tomas, 2017)

Berdasarkan uraian latar belakang diatas maka akan dilakukan penelitian yang berjudul **“Rancang Bangun dan Analisis Kinerja Sistem *Water Heater* Berbasis Sel Fotovoltaik”**

1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana proses perancangan dan pembuatan *water heater* berbasis sel fotovoltaik
2. Berapa temperatur air optimal yang didapatkan pada tangki penyimpanan
3. Berapa energi yang diperlukan untuk memanaskan air dan berapa efisiensi termal dari *water heater* berbasis sel fotovoltaik

1.3 Tujuan Penelitian

1. Untuk membuat rancang bangun sistem *water heater* berbasis sel fotovoltaik
2. Untuk menganalisis temperatur air optimal pada tangki penyimpanan
3. Untuk menganalisis energi yang diperlukan dalam memanaskan air dan efisiensi termal dari *water heater* berbasis sel fotovoltaik

1.4 Batasan Masalah

1. *Heater* yang digunakan adalah pemanas air *portable* mobil yang berkapasitas 12 Volt dan 120 Watt
2. Variasi volume air di dalam tangki yaitu 25 liter, 35 liter dan 50 liter
3. Sel Fotovoltaik yang digunakan adalah fotovoltaik jenis *Polycrystalline*

1.5 Manfaat Penelitian

1. Memanfaatkan energi matahari dengan menggunakan fotovoltaik untuk memanaskan air
2. Mengurangi penggunaan listrik dan bahan-bakar yang tidak dapat diperbaharui
3. Teknologi *water heater* berbasis sel fotovoltaik ini dapat menjadi peluang bisnis di masa yang akan datang
4. Sebagai acuan desain untuk aplikasi nyata pemanfaatan teknologi energi terbarukan untuk kepentingan masyarakat.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sel Fotovoltaik

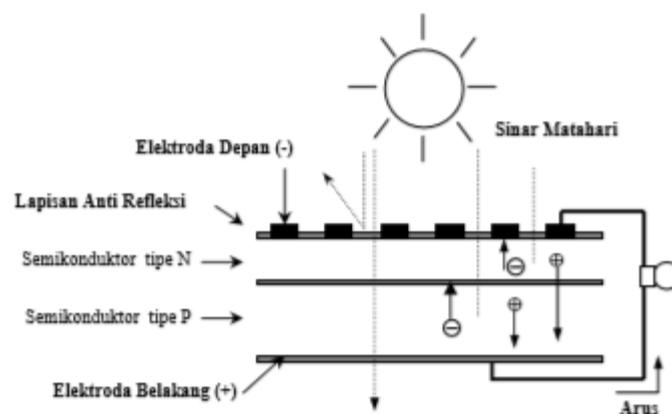
Salah satu sumber energi yang ramah lingkungan dan sangat menjanjikan pada masa yang akan datang adalah sel fotovoltaik (PV), karena tidak terdapat polusi yang dihasilkan selama proses konversi energi, serta sumber energi yang banyak tersedia dalam kehidupan sehari-hari adalah sinar matahari. Seperti Indonesia yang beriklim tropis yang menerima matahari sepanjang tahun. (Napitupulu dkk, 2017)

Sel Fotovoltaik adalah perangkat semi-konduktor yang mengubah sinar matahari menjadi listrik. Sel fotovoltaik merupakan teknologi konversi yang bersih, portabel dan tidak menghasilkan kebisingan. Sel fotovoltaik juga dapat digunakan dalam aplikasi perumahan dan industri. Masalah utama yang menjadi perhatian sel fotovoltaik adalah kinerja dari waktu ke waktu. Perangkat lain dalam energi matahari adalah kolektor termal yang memanfaatkan panas radiasi matahari. PV/T biasanya merupakan kolektor termal yang dipasang di bagian belakang sel fotovoltaik. Saat suhu sel fotovoltaik naik, perpindahan panas ke kolektor termal akan naik juga. Oleh karena itu, memberikan pendinginan untuk sel fotovoltaik sekaligus memaksimalkan perpindahan panas untuk menghasilkan efisiensi termal yang tinggi. (Hussein, 2019).

Sel fotovoltaik juga merupakan salah satu contoh alat yang mampu mengubah energi matahari menjadi energi listrik sehingga tidak lagi memanfaatkan bahan bakar minyak yang lambat laun akan habis. Dengan kemajuan ilmu dan teknologi, terutama dibidang pengembangan sumber energi alternatif yang dikombinasikan dengan rangkaian elektronika pendukung lainnya, diharapkan dapat menciptakan suatu informasi baru dalam bidang energi alternatif, khususnya terkait dengan sel fotovoltaik. (Junaedy, 2015)

Asal-usul potensi sel fotovoltaik adalah perbedaan dalam potensi kimia, yang disebut tingkat Fermi, dari elektron dalam dua bahan terisolasi. Ketika mereka bergabung, persimpangan pendekatan keseimbangan termodinamika baru. Kesetimbangan tersebut dapat dicapai hanya ketika tingkat Fermi sama dalam dua bahan. Hal ini terjadi dengan aliran elektron dari satu bahan ke yang lain, sampai perbedaan tegangan ditetapkan antara dua bahan yang memiliki potensi sama dengan perbedaan awal tingkat Fermi. Potensi ini mendorong *photocurrent*.

Secara sederhana aliran arus listrik pada sel fotovoltaik adalah aliran elektron yang terjadi jika persambungan bahan semikonduktor bertipe p dan n (*p-n junction semiconductor*) terkena sinar matahari. Saat sambungan p-n terkena sinar matahari maka elektron-elektron memantul melalui celah foton menuju ke pita konduksi, meninggalkan proton di dalamnya. Karena dipengaruhi oleh potensial intrinsik dan sambungan, sehingga elektron dan proton bergerak berlawanan dan membangkitkan tegangan dan menghasilkan energi listrik. Proses perubahan energi matahari menjadi energi listrik ditunjukkan dalam gambar 2.1



Gambar 2. 1 Proses perubahan energi matahari menjadi energi listrik pada fotovoltaik

Agar efisiensi sel fotovoltaik 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.(Rusminto, 2005)

Efisiensi sel fotovoltaik (PV) berkualitas baik saat ini tidak lebih dari 15% pada standar komersial. Efisiensi sel fotovoltaik silikon kristal turun sekitar 0,0045%/C kenaikan suhu operasi. Pada dasarnya sebagian besar energi matahari yang mengenai sel fotovoltaik diubah menjadi panas.(Chow,2006)

Sel fotovoltaik sangat bergantung pada efek sel fotovoltaik untuk menyerap energi matahari dan menyebabkan arus mengalir antara dua lapisan bermuatan yang berlawanan. (P. Slamet, 2017)

Jenis - jenis Sel Fotovoltaik:

1. Monokristal (*Monocrystalline*)

Monocrystalline adalah Salah satu jenis sel fotovoltaik dari bahan silikon yang banyak dipakai dan tingkat efisensinya tinggi yaitu mencapai 17% -18% (Setiawan 2019). Untuk tipe *monocrystalline*, mempunyai ciri khas berwarna hitam (berasal dari silikon murni) berbentuk bundar atau segi delapan (tepatnya segi empat yang dipotong di keempat sisinya). Bentuk *monocrystalline* silikon bersumber dari silikon ingot yang dipotong. Dan juga merupakan sel fotovoltaik yang paling efisien yang dihasilkan dengan teknologi terkini & menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi.



Gambar 2. 2 Sel Fotovoltaik Monokristal

Monocrystalline dirancang untuk penggunaan yang memerlukan konsumsi listrik besar pada tempat-tempat yang beriklim ekstrim dan dengan kondisi alam yang sangat ganas. Kelemahan dari sel fotovoltaik jenis ini adalah tidak akan berfungsi baik ditempat yang cahaya matahari kurang (teduh), efisiensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan.

Material *monocrystalline* biasanya dapat menurunkan biaya produksi sambil mempertahankan efisiensi konversi energi yang relatif tinggi sebagai sel fotovoltaik. Dominasi silikon *Crystalline* dapat dikaitkan dengan kematangan teknologi, dan menurunkan biaya produksi langsung, dengan potensi penurunan biaya lebih lanjut dibandingkan dengan teknologi sel fotovoltaik lainnya. (Moehlecke,2012).

Silikon *monocrystalline* terdiri dari satu kristal yang sangat besar,multikristal terbuat dari banyak butiran kolumnar yang tumbuh tegak lurus ke bagian bawah wadah. Sel-sel yang dihasilkan dari silikon *monocrystalline* memiliki efisiensi yang lebih tinggi daripada sel-sel berbasis *wafer multi-crystal* (untuk

struktur yang serupa). Ini dijelaskan oleh beberapa fitur silikon *monocrystalline*. Pertama-tama, orientasi kristalografi dapat dipilih sehingga *etsa anisotropik* yang menghasilkan piramida acak pada permukaan wafer dapat digunakan, akibatnya mengurangi refleksi optik sel. Kedua, batas butir dan dislokasi adalah situs rekombinasi primer lubang-elektron yang hanya ada dalam sel multikristal.

Keuntungannya adalah untuk lahan yang sempit dengan intensitas matahari yang tinggi menjadikan sel fotovoltaik *monocrystalline* sangat baik dibandingkan yang jenis *polycrystalline*, tipe mono juga dibentuk merapat susunan modulnya, tapi kerugian dalam proses produksinya akan terjadi. Dan kemampuan menyerap panas dan besarnya daya output dengan dimensi yang kecil saja mampu menghasilkan daya yang cukup besar. Kelemahan dari sel fotovoltaik jenis ini adalah tidak akan berfungsi baik ditempat yang cahaya matahari kurang (teduh), efisiensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan serta modulnya tidak rapat yang menjadi kerugian menyerap panas. (Mustofa. 2015)

2. Polikristal (Poly-Crystalline)

Polycrystalline merupakan jenis sel fotovoltaik yang memiliki susunan kristal acak karena dipabrikasi dengan proses pengecoran. Tipe ini memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang sama. Sel fotovoltaik jenis ini memiliki efisiensi lebih rendah dibandingkan tipe monokristal, sehingga memiliki harga yang cenderung lebih murah.



Gambar 2. 3 Sel Fotovoltaik Polikristal

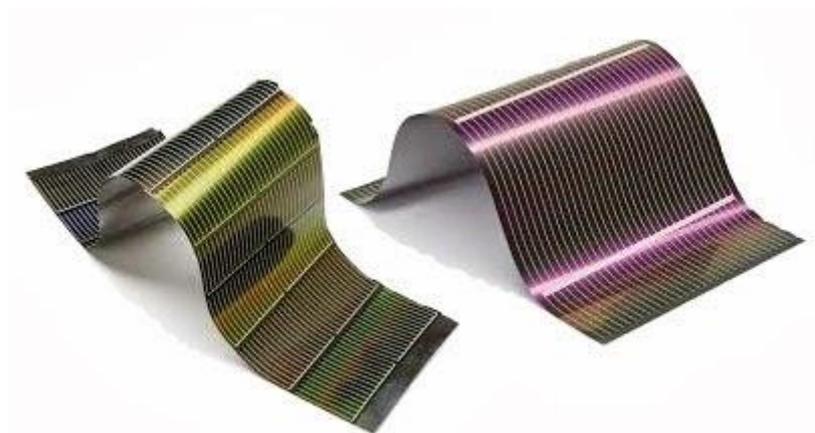
Sel fotovoltaik ini memiliki level silikon yang lebih rendah dari sel fotovoltaik *monocrystalline*. Maka Sel fotovoltaik ini sedikit lebih murah dan sedikit lebih rendah efisiensinya dari sel fotovoltaik *monocrystalline*. Yang membedakan tipe *polycrystalline* dengan *monocrystalline* yaitu *polycrystalline* memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis *monocrystalline* untuk menghasilkan daya listrik yang sama, dan juga *polycrystalline* dapat menghasilkan listrik pada saat mendung. Dan fotovoltaik *polycrystalline* ini tidak memerlukan proses *czochralsk*.(Richard dkk 2017)

Polycrystalline umumnya terdiri dari sejumlah *monocrystalline* yang berbeda dan digabungkan satu sama lain dalam satu sel. Sel fotovoltaik *polycrystalline* saat ini adalah sel fotovoltaik yang paling populer. Sel Fotovoltaik ini merupakan sel fotovoltaik yang paling banyak digunakan hingga 48% dari produksi sel fotovoltaik di seluruh dunia selama 2008. Meskipun *polycrystalline* sedikit lebih murah untuk dibuat dibandingkan dengan sel fotovoltaik silikon *monocrystalline*, namun kurang efisien kira-kira sekitar 12% - 14%. (Setiawan 2019)

Sel fotovoltaik *polycrystalline* ini dihasilkan dari proses metalurgi *grade silicon* dengan pemurnian kimia. Dimana *silicon* baku di cairkan dan dituang kedalam cetakan persegi kemudian di dinginkan dan di potong sesuai bentuk yang di inginkan. Adapun ciri-cirik fisik dari sel fotovoltaik *polycrystalline* ini di bandingkan dengan sel fotovoltaik *monocrystalline* yaitu memiliki warna kebiruan, bentuknya biasanya kotak atau persegi panjang dengan pola-pola guratan kebiruan dan bila di susun sel fotovoltaik *polycrystalline* ini terlihat lebih rapat. (Setiawan 2019)

3. Thin Film Photovoltaic

Jenis sel fotovoltaik ini diproduksi dengan cara menambahkan satu atau beberapa lapisan material sel fotovoltaik yang tipis ke dalam lapisan dasar. Sel fotovoltaik jenis ini sangat tipis karenanya sangat ringan dan fleksibel. Jenis ini dikenal juga dengan nama TFPV (Thin Film Photovoltaic).



Gambar 2. 4 Sel Fotovoltaik *Thin Film*

Aplikasi dari Thin Film Solar Cell digunakan pada perangkat elektronik berukuran kecil dan hanya membutuhkan energi yang

tidak terlalu besar. Seperti pada Kalkulator Sel surya, Senter Sel Surya, Jam Tangan Sel Surya dan masih banyak lagi.

Berdasarkan materialnya, sel fotovoltaik *thin film* ini digolongkan menjadi:

a. *Amorphous Thin-Film Silicon (a-Si) Solar Cells.*

Sel fotovoltaik dengan bahan *Amorphous Silicon* ini, awalnya banyak diterapkan pada kalkulator dan jam tangan. Namun seiring dengan perkembangan teknologi pembuatannya penerapannya menjadi semakin luas. Dengan teknik produksi yang 11 disebut "*stacking*" (susun lapis), dimana beberapa lapis *Amorphous Silicon* ditumpuk membentuk sel fotovoltaik, akan memberikan efisiensi yang lebih baik antara 6% - 8%.

Jenis sel fotovoltaik *Amorphous Thin Film Uni-Solar Photovoltaic* PVL 124 adalah sel surya yang akan digunakan pada tugas akhir ini. Sel fotovoltaik ini memiliki *rated power* 124 W dengan tegangan maksimum 30 V dan arus maksimum 4,1 A.



Gambar 2. 5 *Amorphous Thin Film Uni-Solar Panel PVL 124*

b. *Cadmium Telluride (CdTe) Solar Cells.*

Sel fotovoltaik jenis ini mengandung bahan Cadmium Telluride yang memiliki efisiensi lebih tinggi dari sel fotovoltaik Amorphous Silicon, yaitu sekitar: 9% - 11%.

c. *Copper Indium Gallium Selenide (CIGS) Solar Cells.*

Dibandingkan kedua jenis sel fotovoltaik thin film di atas, CIGS sel fotovoltaik memiliki efisiensi paling tinggi yaitu sekitar 10% - 12%. Selain itu jenis ini tidak mengandung bahan berbahaya Cadmium seperti pada sel fotovoltaik CdTe

2.2. Sistem Pemanas Air Tenaga Surya

Sistem pemanas air dengan memanfaatkan tenaga surya baru dipatenkan pada tahun 1994. Sistem ini menggunakan sel fotovoltaik untuk menghasilkan energi listrik yang kemudian disambungkan dalam beberapa elemen pemanas resistif listrik. Tidak seperti sistem sel fotovoltaik perumahan lainnya, sistem pemanas air dengan sel fotovoltaik tidak memerlukan *inverter* untuk mengubah arus searah yang disuplai oleh susunan sel fotovoltaik menjadi arus bolak-balik atau sistem baterai untuk penyimpanan. (Fannee and Dougherty,1997).

Sistem pemanas air menggunakan tenaga surya dari sel fotovoltaik terdiri dari *heater* (beban resistif variabel), pengontrol untuk memvariasikan karakteristik beban (*solar charge controller*), dan tangki penyimpanan. *Solar charge controller* ini berfungsi untuk mereduksi daya yang dihasilkan dari sel fotovoltaik sesuai dengan kapasitas beban resistif yang digunakan. Gunanya untuk memastikan efisiensi transfer daya maksimum. (Fannee et al,1994).

Pemanas air tenaga surya dari sel fotovoltaik atau yang biasa disebut dengan *solar water heater* merupakan produk teknologi yang memanfaatkan energi termal surya yang cukup populer dan banyak digunakan, terutama di hotel, villa peristirahatan hingga perumahan. Alat pemanas ini pada terbagi atas dua komponen utama yaitu:

1. Sel surya, dimana sel surya yang digunakan yaitu sel photovoltaik yang berfungsi sebagai komponen yang digunakan untuk menerima pancaran radiasi matahari yang kemudian akan ditransfer ke pemanas air (*heater*).
2. Tangki penyimpanan; tangki penyimpanan adalah komponen alat pemanas air tenaga surya yang berfungsi untuk menyimpan air yang telah dipanaskan kolektor. Tangki ini berperan penting dalam menjaga suhu air yang telah dipanaskan, karena pada umumnya air yang telah dipanaskan, disimpan dalam waktu yang cukup lama sebelum digunakan.

Pemanas air tenaga surya dari sel fotovoltaik dapat dianggap sebagai teknologi masa depan yang mapan. Pencapaian status ini merupakan hasil dari lebih dari satu abad pengembangan sistem yang memuncak dengan berkembangnya inovasi dalam tiga puluh tahun terakhir.(Norton,2011).

2.3. Heater (Pemanas Air)

Pemanas air adalah alat yang berfungsi untuk memanaskan air yang biasanya dipakai untuk kebutuhan mandi, sumber panas umumnya menggunakan sumber dari gas, matahari ataupun yang menggunakan listrik/ PLN. (Alpindo, 2018).

Elemen pemanas arus searah (DC) tenaga surya dapat ditenagai oleh serangkaian sel fotovoltaik. Tegangan arus searah bisa rendah atau tinggi dengan proteksi pancaran sinar matahari yang tepat. Elemen pemanas perendaman yang dapat ditempatkan ke dalam tangki air panas gas, propana atau listrik, panci masak atau bak mandi air panas yang ada. Output dari sel fotovoltaik dihubungkan ke elemen pemanas DC melalui koneksi langsung atau menggunakan pengontrol beban (*Solar Charge Controller*) yang memaksimalkan daya yang dikirim ke pemanas di bawah semua kondisi matahari. Suhu pemanas maksimum diatur oleh termostat. (Butler,2016)

Elemen pemanas DC mampu mencapai 800 ° F memungkinkan menjadi elemen pemanas dengan jarak yang jauh atau dapat digunakan sebagai pemanas oven. Elemen Pemanas DC dalam suhu tinggi juga bisa digunakan

di Sauna dan banyak peralatan lainnya termasuk pemanas ruangan. Dengan sel fotovoltaik yang terhubung langsung ke pemanas, pemanas akan mengalami daya maksimum pada siang hari. Pada tingkat insolasi yang lebih rendah di pagi dan sore hari, daya ke pemanas akan mati. Dengan penggunaan pengontrol beban (*Solar Charge Controller*) antara sel fotovoltaik dan pemanas, lebih banyak daya dapat disalurkan di pagi dan sore hari. Insulasi komponen listrik yang tepat dapat menghilangkan potensi bahaya sengatan listrik.

Elemen pemanas DC dapat dihubungkan langsung ke sel fotovoltaik dengan menggunakan termostat atau melalui pengontrol beban (*Solar Charge Controller*) untuk mengakomodasi daya dari sel fotovoltaik. Untuk mencegah panas berlebih, pemanas DC akan terputus dari sel fotovoltaik jika suhu atas tangki air melebihi 165°F - 185°F . Satu-satunya penyesuaian yang diperlukan untuk sistem pemanas tangki air adalah dengan menurunkan termostat listrik atau gas ke 120°F .

Sistem pemanas air sel fotovoltaik arus searah (DC) membaca penambahan dan penghapusan elemen resistif dengan menggunakan relai untuk mengubah resistansi elemen pemanas agar sesuai dengan daya maksimal yang dihasilkan oleh sel fotovoltaik. Relai ini adalah suatu alat yang menggunakan elektromagnet untuk mengoperasikan seperangkat kontak sakelar. Susunan paling sederhana alat ini terdiri dari kumparan kawat penghantar yang dililit pada inti besi. Resistensi tinggi di pagi hari secara bertahap beralih ke resistensi rendah di siang hari dan kemudian secara bertahap kembali ke resistensi tinggi di sore hari. Sistem itu rumit dan membutuhkan sejumlah pemanas resistansi berbeda yang terhubung ke relai untuk mencapai resistansi variabel ini.

Salah satu contoh penggunaan elemen pemanas arus searah (DC) bisa dilihat pada gambar 2.8 yaitu dengan menggunakan pemanas air *portable* mobil.



Gambar 2. 6 Pemanas Air *Portable* Mobil (Marek,2006)

2.4 Perpindahan Panas

Perpindahan panas sangat banyak ditemui dalam *Engineering system* ataupun kehidupan sehari-hari. Pada penelitian kali ini perpindahan panas yang terjadi ada 3 yaitu konduksi, konveksi dan radiasi.

2.4.1 Konduksi

Pada alat sistem *water heater* berbasis sel fotovoltaik ini, perpindahan panas secara konduksi yang terjadi yaitu ketika daya dari sel fotovoltaik kemudian di pindahkan menuju heater. adapun rumus untuk mencari banyaknya energi yang di pindahkan sebagai berikut.

$$Q = k \times A \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (1)$$

Dimana : Q : Banyaknya energi yang dipindahkan(joule)
 k : Konduktivitas benda (W/m.°C)
 ΔT : perbedaan temperatur
 Δx : Ketebalan benda (m)

2.4.2 Konveksi

Perpindahan panas secara konveksi yang terjadi pada sistem *water heater* berbasis sel fotovoltaik yaitu daya yang di pindahkan ke *heater* dari sel fotovoltaik sehingga *heater* tersebut menghasilkan panas,maka panas yang di hasilkan dari *heater* akan di hantarkan ke air yang ada di dalam tangki penyimpanan.Adapun rumus yang digunakan untuk menghitung besarnya kalor yang dikonveksikan ke air dari *heater* sebagai berikut.

$$Q = hA(T_s - T_\infty) \quad (2)$$

Dimana: Q : Besarnya kalor yang dikonveksikan (joule)
 h : koefisien konveksi (W/m².°C)
 A : luas permukaan terjadinya konveksi (m²)
 T_s : temperatur permukaan benda padat (°C)
 T_∞ : temperatur fluida yang cukup jauh (°C)

2.4.3 Radiasi

Radiasi adalah energi yang dipancarkan oleh material dalam bentuk gelombang elektromagnetik dalam hal ini pancaran sinar matahari ke permukaan sel fotovoltaik.Rumus untuk menghitung besarnya panas radiasi matahari ke permukaan sel fotovoltaik yaitu sebagai berikut.

$$Q = \varepsilon\sigma AT_s^4 \quad (3)$$

Dimana	Q	: Kalor radiasi yang diserap (joule)
	ε	: Emisivitas benda
	σ	: $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$
	T_s	: Temperatur permukaan benda (K)

2.5 Kinerja Sistem *Water Heater* Berbasis Sel Fotovoltaik

Untuk menghitung efisiensi keseluruhan sistem maka perlu diketahui efisiensi dari masing-masing komponen.

2.5.1 Perhitungan Efisiensi Sel fotovoltaik

Untuk mendapatkan nilai efisiensi dari sel fotovoltaik, terdapat beberapa parameter yang harus diketahui terlebih dahulu, yaitu (Zian, 2018) :

1. Tegangan keluaran sel fotovoltaik (V)
2. Arus keluaran sel fotovoltaik (I)
3. Intensitas cahaya matahari (G)
4. Luasan permukaan sel fotovoltaik (A_{pv})
5. Nilai *Fill Factor* (FF)

Nilai fill factor berkisar 0.7 – 0.85. Sel fotovoltaik akan bekerja semakin baik apabila semakin besar nilai FF suatu sel fotovoltaik dan akan memiliki efisiensi yang semakin tinggi. Perhitungan nilai FF dapat dilihat pada persamaan berikut

$$FF = \frac{I_{mp} \times V_{mp}}{I_{sc} \times V_{oc}} \quad (4)$$

Keterangan :

- I_{mp} = Arus pada titik daya maksimal (A)
 V_{mp} = Tegangan pada daya maksimal (A)
 I_{sc} = Arus rangkaian pendek (A)

V_{oc} = Tegangan rangkaian terbuka (V)

6. Daya Output Sel Fotovoltaik (P_{out})

Perhitungan daya output dapat dilihat pada persamaan berikut

$$P_{out} = V \times I \times FF \quad (5)$$

7. Daya Input Sel Fotovoltaik (P_{in})

Daya input akibat radiasi sumber cahaya dapat dihitung dengan persamaan berikut

$$P_{in} = G \times A_{pv} \quad (6)$$

8. Efisiensi Sel Fotovoltaik (η)

Perhitungan efisiensi sel fotovoltaik dapat dilihat pada persamaan berikut

$$\eta_{pv} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (7)$$

Keterangan :

P_{out} = Daya output sel fotovoltaik (W)

P_{in} = Daya input sel fotovoltaik (W)

2.5.2 Perhitungan Efisiensi Heater

Laju aliran kalor yang diterima air di dalam tangki dapat dihitung dengan persamaan :

$$q_{air} = \frac{m_{air} c_{air} (T_{akhir} - T_{awal})}{\Delta t} \quad (8)$$

$$m_{air} = \rho \left(\frac{\pi D^2 h}{4} \right) \quad (9)$$

Keterangan :

m_{air} = Massa air di dalam tangki (kg)

c_{air} = Kalor jenis air (J/kg°C)

T_{in} = Suhu air masuk tangki (°C)

T_{out} = Suhu air keluar tangki (°C)

ρ = Massa jenis air (kg/m³)

D = Diameter tangki (m)

h = Tinggi tangki (m)

Δt = Waktu pemanasan air (s)

Kalor yang diberikan oleh heater dapat dihitung dengan persamaan :

$$q_h = V_h \cdot I_h \quad (10)$$

Keterangan :

V_h = Tegangan heater (V)

I_h = Arus heater (A)

Perhitungan efisiensi heater dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$\eta_h = \frac{q_{air}}{q_h} \times 100\% \quad (11)$$

Keterangan :

q_{air} = Laju aliran kalor yang diterima air (W)

q_h = Laju aliran kalor dari heater (W)

2.5.3 Perhitungan Efisiensi Total dan Efisiensi Aktual

Efisiensi total yaitu efisiensi secara keseluruhan dari sistem *water heater* berbasis sel fotovoltaik, dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$\eta_{total} = \eta_{pv} \times \eta_h \quad (13)$$

Keterangan :

η_{pv} = Efisiensi sel fotovoltaik

η_h = Efisiensi heater

Efisiensi aktual adalah perbandingan antara energi yang diterima oleh air di dalam tangki dengan energi yang tersedia dari sel fotovoltaik.

$$\eta_{act} = \frac{q_{air}}{P_{in}} \times 100\% \quad (14)$$

Keterangan :

q_{air} = Energi yang diterima air (W)

P_{in} = Daya input sel fotovoltaik