

# TUGAS AKHIR

## **ANALISA *PERFORMANCE* DARI LEMARI PEMBEKU DENGAN MENGGUNAKAN BATERAI 150 Ah SEBAGAI SUMBER TENAGA**

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

**Disusun Oleh:**

**MUHAMMAD URIP MAULANA  
1607230046**



# **UMSU**

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2021**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

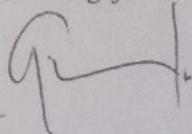
Nama : Muhammad Urip Maulana  
NPM : 1607230046  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Tugas Akhir : Analisa *Performance* Dari Lemari Pembeku Dengan Menggunakan Baterai 150 Ah Sebagai Sumber Tenaga  
Bidang ilmu : Konversi Energi

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai penelitian tugas akhir untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 17 Maret 2021

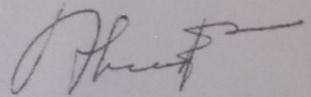
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji



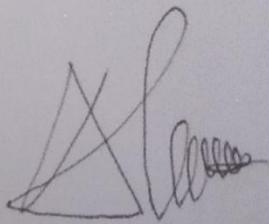
Chandra A Siregar, S.T., M.T

Dosen Penguji



Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T

Dosen Penguji



Sudirman Lubis, S.T., M.T

Program Studi Teknik Mesin

Ketua,



## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Muhammad Urip Maulana  
Tempat /Tanggal Lahir : Belawan /17 Juli 1998  
NPM : 1607230062  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

**“Analisa Performance Dari Lemari Pembeku Dengan Menggunakan Baterai 150 Ah Sebagai Sumber Tenaga”.**

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 17 Maret 2021

Saya yang menyatakan,



*Muhammad Urip Maulana*  
Muhammad Urip Maulana

## ABSTRAK

Penggunaan mesin pendingin yang paling umum yaitu untuk pengkondisian ruangan dan pengawetan bahan makanan atau minuman. Tujuan utama sistem pengkondisian udara adalah mempertahankan keadaan udara didalam ruangan yang meliputi pengaturan temperatur, kelembaban relatif, kecepatan sirkulasi udara maupun kualitas udara. Sistem pengkondisian udara yang dipasang harus mempunyai kapasitas pendinginan yang tepat dan dapat dikendalikan dalam pengoperasiannya. Kapasitas peralatan yang dapat diperhitungkan berdasarkan beban pendinginan setiap saat yang senantiasa berubah-ubah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai koefisien prestasi (COP) pada lemari pembeku dan waktu pendinginan dalam suatu ruang pendingin. Dalam pengujian ini lemari pembeku dijalankan dengan menggunakan baterai berkapasitas 150 Ah yang sebelumnya diisi oleh MPPT melalui Panel Surya berkapasitas 410 WP. Hasil dari pengujian untuk mengetahui perbandingan arus, tegangan dan daya yang dihasilkan oleh panel surya pada saat cuaca terik adalah tegangan tertinggi yang di dapat yaitu 36,1 V pada pukul 12.30 WIB. Pada pukul 13:00 posisi panel diubah menjadi menghadap kearah barat sampai pukul 15:00 yang dimana pada pukul 08:00 hingga 12:30 posisi panel menghadap kearah timur. Tegangan maksimum yang di dapat mencapai 36,1 V pada pukul 12.30 WIB, sedangkan tegangan minimum yang didapat yaitu 27,3 V pada pukul 08:00 WIB. Waktu yang dibutuhkan oleh lemari pembeku untuk mencapai titik beku dari suhu 25<sup>0</sup>C dengan menggunakan baterai sebagai sumber tenaga adalah 38 menit 15 detik sedangkan waktu yang dibutuhkan lemari pembeku untuk mencapai titik beku dari suhu 25<sup>0</sup>C dengan menggunakan aliran listrik PLN adalah 29 menit 36 detik.

Kata Kunci : *Solar Cell*, Mesin Pendingin dan Nilai COP

## **ABSTRACT**

*The most common use of refrigeration machines is for room conditioning and preservation of food or beverage ingredients. The main purpose of an air conditioning system is to maintain the state of the air in the room which includes temperature regulation, relative humidity, air circulation speed and air quality. The air conditioning system that is installed must have proper cooling capacity and can be controlled in its operation. The capacity of the equipment that can be calculated based on the cooling load is always changing. This study aims to determine the value of performance coefficient (COP) in the freezer and cooling time in a cold room. In this test, the freezer was run using a 150 Ah capacity battery previously charged by MPPT via a 410 WP solar panel. The results of the test to determine the ratio of currents, voltages and power produced by solar panels during hot weather is the highest voltage obtained, namely 36.1 V at 12.30 WIB. At 13:00 the position of the panel was changed to face west until 15:00 at which at 08:00 to 12:30 the position of the panel was facing east. The maximum voltage can reach 36.1 V at 12.30 WIB, while the minimum voltage obtained is 27.3 V at 08:00 WIB. The time it takes for the freezer to reach freezing point from a temperature of 250C using a battery as a power source is 38 minutes 15 seconds while the time it takes for the freezer to reach the freezing point from 250C using PLN electricity is 29 minutes 36 seconds.*

*Keywords: Solar Cell, Engine Cooling and COP Value*

## KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Analisa *Performance* Dari Lemari Pembeku Dengan Menggunakan Baterai 150 Ah Sebagai Sumber Tenaga” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

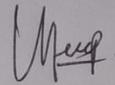
Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Sudirman Lubis, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Chandra A Siregar, S.T., M.T selaku Dosen Penguji I yang telah banyak mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T selaku Dosen Penguji II yang telah banyak mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Affandi, S.T., M.T sebagai Ketua Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., MT selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknik mesinan kepada penulis.
7. Orang tua penulis: Makmun Kahar dan Marawati Siregar, yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.
8. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Sahabat-sahabat penulis: Yogi Dira Nugraha, Aldi Trisna Irawan, Rifki

Ramadani, WM Al Gadri, Ricky Ramos Tobing dan lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu keteknik-mesinan.

Medan, 26 Maret 2021



Muhammad Urip Maulana

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN SKRIPSI</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR NOTASI</b>	<b>xiii</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan masalah	2
1.3. Ruang lingkup	2
1.4. Tujuan Penelitian	2
1.5. Manfaat Penelitian	2
<b>Bab 2 Tinjauan Pustaka</b>	<b>3</b>
2.1. Mesin Pendingin	3
2.2. Bagian – Bagian Mesin Pendingin	4
2.3. Alat Ekspansi	8
2.3.1. Pipa Kapiler	8
2.3.2. Expansion Valve Otomatis	9
2.3.3. Expansion Valve Termostatik	9
2.4. Beban Pendingin	9
2.5. Solar Cell (Panel Surya)	10
2.5.1. Karakteristik Solar Cell (Photovoltaic)	11
2.5.2. Prinsip Kerja Sel Surya Photovoltaik	12
2.6. Sejarah Panel Surya	13
2.6.1 Jenis Jenis Panel Surya	15
2.6.1.1 Monokristal ( Mono – Cristalline )	15
2.6.1.2 Polikristal (Poly-Crystalline)	15
2.6.1.3 Gallium Arsenide (GaAs)	16
2.7. Charger Controller	16
2.8. Inverter	17
2.9. Baterai	18
2.9.1 Jenis – Jenis Baterai	20
2.9.2 Karakteristik Baterai	21
2.9.3 Konstruksi Baterai Aki	22
2.10. Arus Dan Tegangan	24
2.11. Radiasi Harian Matahari Pada Permukaan Bumi	25
2.12. Gerakan Matahari Terhadap Energi Surya	26
2.12.1 Pengaruh Sudut Datang Terhadap Radiasi Yang Diterima	26
2.13. <i>Road Map</i> Penelitian	27
<b>BAB 3 METODOLOGI</b>	<b>28</b>
3.1 Tempat dan Waktu	28

3.1.1.	Tempat	28
3.1.2.	Waktu	28
3.2	Bahan dan Alat	29
3.2.1.	Bahan	29
3.2.2.	Alat	33
3.3	Diagram Alir Penelitian	36
3.4	Rancangan Alat Penelitian	37
3.5	Prosedur Penelitian	38
3.5.1	Langkah – langkah Pemasangan Alat	38
3.5.2	Langkah – langkah Pengujian	40
<b>BAB 4</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>41</b>
4.1.	Cara Kerja Lemari Pembeku Dan Panel Surya.	41
4.2.	Hasil Perhitungan Nilai COP Pada Lemari Pembeku Dengan Menggunakan Baterai Sebagai Sumber Tenaga.	41
4.3.	Hasil Pengamatan Temperatur Kabin Lemari Pembeku Terhadap Waktu Yang Dibutuhkan Untuk Mencapai Titik 0 <sup>0</sup> C.	45
4.4.	Hasil Tegangan, Arus Dan Daya Pada Solar Cell.	46
<b>BAB 5</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>48</b>
5.1.	Kesimpulan	48
5.2.	Saran	48
	<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>49</b>
	<b>LAMPIRAN</b>	
	<b>LEMBAR ASISTENSI</b>	
	<b>DAFTAR RIWAYAT HIDUP</b>	

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. <i>Road Map</i> Penelitian	27
Tabel 3.1. Jadwal dan kegiatan saat melakukan penelitian.	28
Tabel 4.1. Hasil Pengujian Pada Lemari Pembeku	41
Tabel 4.2. Hasil Waktu dari lemari pembeku pada suhu 25 <sup>0</sup> C sampai 0 <sup>0</sup> C.	45
Tabel 4.3. Hasil Pengujian pada Tanggal 06 Desember 2020	46

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Komponen utama dari mesin pendingin dan diagram P-h	3
Gambar 2.2.	Kompresor	5
Gambar 2.3.	Kondensor	6
Gambar 2.4.	Evaporator	6
Gambar 2.5.	Filter	7
Gambar 2.6.	Pipa Kapiler	7
Gambar 2.7.	Keran Ekspansi	8
Gambar 2.8.	Pipa Kapiler	8
Gambar 2.9.	Panel Surya	11
Gambar 2.10.	Prinsip Kerja Panel Surya	12
Gambar 2.11.	Panel Surya Monokristalin	15
Gambar 2.12.	Panel Surya Polikristalin	16
Gambar 2.13.	Panel Surya Gallium Arsenide	16
Gambar 2.14.	Charger Controller	17
Gambar 2.15.	Inverter	18
Gambar 2.16.	Baterai	20
Gambar 2.17.	Radiasi Sorotan dan Radiasi Sebaran Yang Mengenai Permukaan bumi	26
Gambar 2.18.	Arah Sinar Datang Membentuk Sudut Terhadap Normal Bidang	26
Gambar 3.1.	Lemari Pembeku	29
Gambar 3.2.	Panel Surya	30
Gambar 3.3.	Charger Controller	30
Gambar 3.4.	Inverter	31
Gambar 3.5.	Baterai	31
Gambar 3.6.	Kabel	32
Gambar 3.7.	Besi	32
Gambar 3.8.	Baut dan Mur	32
Gambar 3.9.	Multimeter	33
Gambar 3.10.	Mesin Gerinda	33
Gambar 3.11.	Mesin Las	34
Gambar 3.12.	Mesin Bor	34
Gambar 3.13.	Meteran	34
Gambar 3.14.	Obeng	35
Gambar 3.15.	Kunci Ring Pas	35
Gambar 3.16.	Gambar Rancangan Alat Penelitian	37
Gambar 3.17.	Pemasangan Papan Dudukan Komponen Sel Surya	38
Gambar 3.18.	Pemasangan Tiang Penyangga Dudukan Panel Surya	38
Gambar 3.19.	Pemasangan Panel Surya Pada Sudut $40^{\circ}$	38
Gambar 3.20.	Pemasangan <i>Charger Controller</i>	39
Gambar 3.21.	Pemasangan Inverter	39
Gambar 3.22.	Pemasangan Kulkas Ke Stop Kontak	39
Gambar 3.23.	Pengujian <i>Solar Cell</i>	40
Gambar 3.24.	Pemasangan Lemari Pembeku	40
Gambar 3.25.	Indikator Kompresor dan Suhu	40
Gambar 4.1.	Indikator Tekanan Dan Suhu	41

Gambar 4.2.	Tekanan Kompresor	45
Gambar 4.3.	Grafik Temperatur Kabin Terhadap COP	45
Gambar 4.4.	Pengujian <i>Solar Cell</i> Terhadap Lemari Pembeku	46

## DAFTAR NOTASI

No	Simbol	Besaran	Satuan
1.	q	Laju perpindahan panas	Kj/det,W
2.	k	Konduktivitas termal	W/m. °C
3.	A	Luas Penampang	m <sup>2</sup>
4.	dt	Perbedaan Temperatur	°C
5.	dx	Perbedaan jarak	m/det
6.	h <sub>c</sub>	Koefisien konveksi	W/m <sup>2</sup> .K
7.	t <sub>s</sub>	Suhu permukaan	°C
8.	t <sub>f</sub>	Suhu flida	°C
9.	P <sub>in</sub>	Daya input	Watt
10.	G	Intensitas matahari	Watt/m <sup>2</sup>
11.	A	Luas permukaan photovoltaic	m <sup>2</sup>
12.	V <sub>max</sub>	Tegangan daya maksimum	Volt
13.	I <sub>max</sub>	Arus daya maksimum	Ampere
14.	P	Daya	Watt
15.	I	Ampere	Ampere
16.	V	Tegangan Keluar	Volt
17.	δ	Sudut Deklinasi	°

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### 1.1 Latar Belakang

Kebutuhan akan listrik baik untuk kalangan industri, perkantoran, maupun masyarakat umum dan perorangan sangat meningkat. Peningkatan kebutuhan listrik ini mengakibatkan terjadinya krisis energi.

Untuk itu, energi surya dipilih sebagai energi alternatif untuk menghasilkan energi listrik. Sebuah modul panel surya bekerja secara maksimal untuk merubah energy surya menjadi energi matahari pada suhu sekitar 25 derajat Celcius dengan kapasitas produksi 1 kW/m<sup>2</sup>.

Namun ketika beroperasi di lapangan, panel surya biasanya akan menerima panas akibat radiasi matahari sehingga suhu dari panel melebihi nilai suhu optimalnya yang mengakibatkan kinerja dan efisiensi sel surya monocrystalline dan polycrystalline turun drastis ketika suhu naik.

Pada saat ini khususnya diperkotaan, mesin pendingin dapat dijumpai pada hampir setiap pertokoan, gedung – gedung kantor dan rumah tangga. Mesin pendingin dapat berupa refrigerator, freezer, chiller serta air conditioning (pengkondisian udara). Mesin pendingin merupakan salah satu mesin yang mempunyai fungsi utama untuk mendinginkan zat sehingga temperaturnya lebih rendah dari temperatur lingkungan.

Penggunaan mesin pendingin yang paling umum yaitu untuk pengkondisian ruangan dan pengawetan bahan makanan atau minuman. Tujuan utama sistem pengkondisian udara adalah mempertahankan keadaan udara didalam ruangan yang meliputi pengaturan temperatur, kelembaban relatif, kecepatan sirkulasi udara maupun kualitas udara.

Sistem pengkondisian udara yang dipasang harus mempunyai kapasitas pendinginan yang tepat dan dapat dikendalikan dalam pengoperasiannya. Kapasitas peralatan yang dapat diperhitungkan berdasarkan beban pendinginan setiap saat yang senantiasa berubah-ubah.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai koefisien prestasi (COP) pada lemari pembeku dan waktu pendinginan dalam suatu ruang pendingin.

## 1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana nilai koefisien prestasi (COP) pada lemari pembeku jika menggunakan baterai 150 Ah dengan sumber daya dari panel surya?
2. Berapa lama waktu yang dibutuhkan beban pendingin untuk mencapai titik beku?

## 1.3 Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup pada penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Lemari Pembeku yang digunakan berdaya 1/4 PK
2. Penelitian ini memanfaatkan fitur *solar cell controller* untuk mencegah pengisian yang berlebihan pada baterai.

## 1.4 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Untuk mengetahui nilai koefisien prestasi (COP) yang dihasilkan lemari pembeku dengan menggunakan baterai 150 Ah sebagai sumber tenaga.
2. Untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan beban pendingin mencapai titik beku.

## 1.5 Manfaat

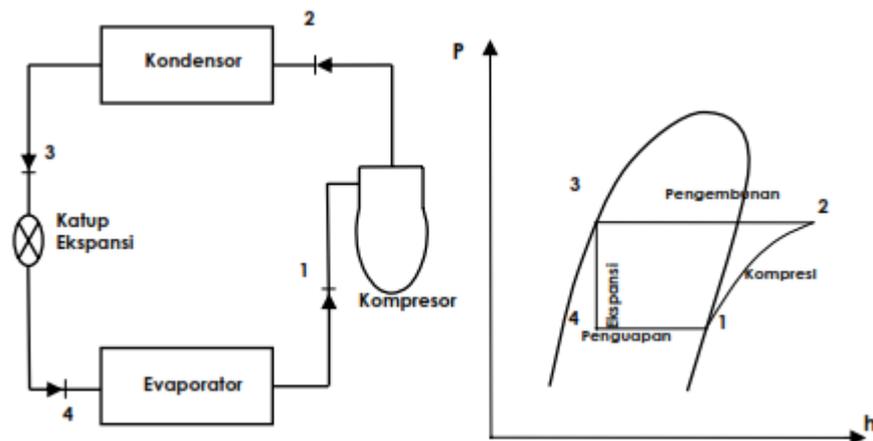
Adapun manfaat dari penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Merupakan salah satu bekal mahasiswa sebelum terjun ke dunia industri, sebagai modal persiapan untuk dapat mengaplikasikan ilmu yang telah diperoleh.
2. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai bahan referensi bagi para peneliti lain yang ingin mendalami tentang *performance* dari Lemari Pembeku dengan menggunakan baterai sebagai sumber tenaga.

## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Mesin pendingin

Mesin pendingin merupakan salah satu mesin yang mempunyai fungsi utama untuk mendinginkan zat sehingga temperaturnya lebih rendah dari temperatur lingkungan. Komponen utama dari mesin pendingin yaitu kompresor, kondensor, alat ekspansi dan evaporator, serta refrigeran sebagai fluida kerja yang bersirkulasi pada bagian-bagian tersebut. (Khairil Anwar, 2010).



Gambar 2.1 Komponen utama dari mesin pendingin dan diagram P-h (Khairil Anwar, 2010)

Sistem kerja pada mesin pendingin adalah sebagai berikut :

Saat refrigeran mengalir melalui Evaporator, perpindahan panas dari ruangan yang didinginkan menyebabkan Refrigeran menguap. Dengan mengambil Refrigeran dari Evaporator sebagai volume atur, dari keseimbangan massa dan Hukum Termodinamika I di peroleh perpindahan panas sebesar :

$$Q_e = \dot{m}(h_1 - h_4)(Kw) \dots (1)$$

Refrigeran meninggalkan Evaporator kemudian masuk ke Kompresor. Selanjutnya Refrigeran dikompresi hingga tekanan dan temperatur nya bertambah tinggi. Diasumsikan tidak ada perpindahan panas dari dan ke Kompresor. Dengan menerapkan keseimbangan massa dan laju energi (Hukum Termodinamika I) pada volume atur yang melingkupi Kompresor, didapat Daya Kompresor yaitu :

$$P = \dot{m}(h_2 - h_1)(Kw) \dots (2)$$

Kemudian Refrigeran mengalir melalui kondensor, dimana refrigeran mengembun dan memberikan panas ke udara sekitar yang lebih rendah temperaturnya. Untuk volume atur melingkupi refrigeran di Kondensor, laju perpindahan panas dari refrigeran adalah :

$$Q_c = \dot{m}(h_2 - h_3)(Kw) \dots (3)$$

Akhirnya, Refrigeran pada state 3 masuk alat ekspansi dan berekspansi ke tekanan Evaporator. Tekanan Refrigeran turun dalam ekspansi yang ireversibel dan dibarengi dengan adanya kenaikan entropy jenis. Refrigeran keluar katup ekspansi pada titik 4 yang berupa fase campuran uap – cair. Kualitas uap yan terkandung pada titik 4 dapat dicari dengan persamaan :

$$x_1 = \frac{h_4 - h_{f4}}{h_{fg4}} \dots (4)$$

Dimana :

$h_{f4}$  = Enthalphy spesifik cairan jenuh (KJ/Kg)

$h_{fg}$  = Enthalphy spesifik campuran

$h_g$  = Enthalphy spesifik uap jenuh (KJ/Kg)

Secara thermodinamika besarnya perpindahan panas yang terjadi pada pipa kapiler di mesin pendingin, yaitu :

$$Q = \dot{m}(h_3 - h_4)(Kw) \dots (5)$$

Dimana :

$h_3$  = Enthalphy spesifik cairan jenuh (KJ/Kg)

$h_4$  = Enthalphy spesifik campuran

Koefisien prestasi (COP) dari siklus uap standar :

$$COP = Q_e / P \dots (6)$$

## 2.2 Bagian-Bagian Mesin Pendingin

### 1. Kompresor

Kompresor memompa bahan pendingin ke seluruh sistem. Gunanya adalah untuk menghisap gas tekanan rendah dan suhu terendah dari evaporator dan kemudian menekan/ memampatkan gas tersebut, sehingga

menjadi gas dengan tekanan dan suhu tinggi, lalu dialirkan ke kondensor. Jadi kerja kompresor adalah untuk :

- a. Menurunkan tekanan di evaporator, sehingga bahan pendingin cair di evaporator dapat menguap pada suhu yang lebih rendah dan menyerap lebih banyak panas dari sekitarnya.
- b. Menghisap gas bahan pendingin dari evaporator, lalu menaikkan tekanan dan suhu gas bahan pendingin tersebut, dan mengalirkannya ke kondensor sehingga gas tersebut dapat mengembun dan memberikan panasnya pada medium yang mendinginkan kondensor.

Ada tiga macam kompresor yang banyak dipakai pada mesin-mesin pendingin yaitu :

- a. Kompresor Torak, kompresinya dikerjakan oleh torak.
- b. Kompresor Rotasi, kompresinya dikerjakan oleh blade atau vane dan roller.
- c. Kompresor Centrifugal, kompresor centrifugal tidak mempunyai alat-alat tersebut, kompresi timbul akibat gaya centrifugal yang terjadi karena gas diputar oleh putaran yang tinggi kecepatannya dan impeller.

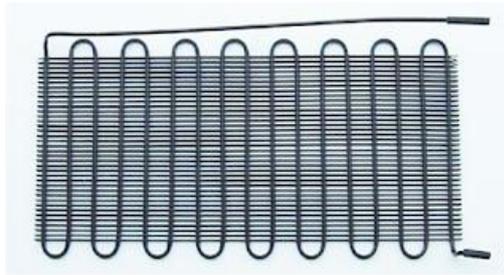
Ketiga macam kompresor mempunyai keunggulan masing-masing. Pemakaiannya ditentukan oleh besarnya kapasitas, penggunaannya, instalasinya dan jenis bahan pendingin yang dipakai.



Gambar 2.2 Kompresor (Elga Aris Prastyo, 2015)

## 2. Kondensor

Kondensor adalah suatu alat untuk merubah bahan pendingin dari bentuk gas menjadi cair. Bahan pendingin dari kompresor dengan suhu dan tekanan tinggi, panasnya keluar melalui permukaan rusuk-rusuk kondensor ke udara. Sebagai akibat dari kehilangan panas, bahan pendingin gas mula-mula didinginkan menjadi gas jenuh, kemudian mengembun berubah menjadi cair.



Gambar 2.3 Kondensor (Elga Aris Prastyo, 2015)

## 3. Evaporator

Evaporator adalah suatu alat dimana bahan pendingin menguap dari cair menjadi gas. Melalui perpindahan panas dari dinding – dindingnya, mengambil panas dari ruangan di sekitarnya ke dalam sistem, panas tersebut lalu di bawa ke kompresor dan dikeluarkan lagi oleh kondensor.



Gambar 2.4 Evaporator (Elga Aris Prastyo, 2015)

## 4. Saringan

Saringan untuk AC dibuat dari pipa tembaga berguna untuk menyaring kotoran-kotoran di dalam sistem, seperti : potongan timah, lumpur, karat, dan kotoran lainnya agar tidak masuk ke dalam pipa kapiler atau keran ekspansi. Saringan harus menyaring semua kotoran di dalam sistem, tetapi

tidak boleh menyebabkan penurunan tekanan atau membuat sistem menjadi buntu.



Gambar 2.5 Filter (Elga Aris Prastyo, 2015)

#### 5. Pipa Kapiler

Pipa kapiler gunanya adalah untuk :

- a. Menurunkan tekanan bahan pendingin cair yang mengalir di dalam pipa tersebut.
- b. Mengontrol atau mengatur jumlah bahan pendingin cair yang mengalir dari sisi tekanan tinggi ke sisi tekanan rendah.



Gambar 2.6 Pipa Kapiler (Elga Aris Prastyo, 2015)

#### 6. Keran Ekspansi

Keran ekspansi ada 2 macam

- a. Automatic Expasion Valve
- b. Thermostatic Expansion Valve

Thermostatic Expansion Valve lebih baik dan lebih banyak dipakai, tetapi pada AC hanya dipakai automatic expansion valve, maka disini kita hanya akan membicarakan automatic expansion valve saja.

Gunanya untuk menurunkan cairan dan tekanan tekanan evaporator dalam batas-batas yang telah di tentukan dengan mengalirkan cairan bahan pendingin dalam jumlah yang tertentu ke dalam evaporator.



Gambar 2.7 Keran Ekspansi (Elga Aris Prastyo, 2015)

### 2.3 Alat Ekspansi

Alat ekspansi berfungsi mengatur jumlah aliran *refrigerant* yang mengalir ke evaporator dengan cara merubah *refrigerant* berbentuk cair dari *condenser* menjadi *refrigerant* bertekanan dan bersuhu rendah dalam wujud kabut. Ada banyak jenis alat ekspansi tiga di antaranya adalah pipa kapiler, *expansion valve* otomatis dan *expansion valve* termostatik. (Erwahyudi dan Abdul Hamid,2017)

#### 2.3.1 Pipa Kapiler

Alat ekspansi yang umum digunakan untuk *AC split* adalah pipa kapiler. Pipa kapiler adalah pipa tembaga dengan diameter lubang berukuran kecil dan panjang tertentu. Besarnya tekanan pipa kapiler bergantung pada ukuran diameter lubang dan panjang pipa kapiler. Pipa kapiler menghubungkan antara *condenser* dan *evaporator*. *Refrigerant* yang melalui pipa kapiler akan mulai menguap. (Erwahyudi dan Abdul Hamid,2017)



Gambar 2.8 Pipa Kapiler (Erwahyudi dan Abdul Hamid,2017)

### 2.3.2 *Expansion Valve* Otomatis

Sistem pipa kapiler sesuai digunakan pada sistem dengan beban tetap seperti pada lemari es atau *freezer*. Tetapi dalam beberapa keadaan, untuk beban yang berubah-ubah dengan cepat harus digunakan *expansion valve* yang peka terhadap perubahan beban, anantara lain adalah *expansion valve* otomatis yang menjaga agar tekanan hisap atau tekanan *evaporator* besarnya tetap konstan. (Erwahyudi dan Abdul Hamid,2017)

### 2.3.3 *Expansion Valve* Termostatik

Jika *expansion valve* otomatis bekerja untuk mempertahankan tekanan konstan di evaporator, maka *expansion valve* termostatik adalah *expansion valve* yang mempertahankan besarnya panas lanjut pada uap *refrigerant* di akhir *evaporator* tetap konstan, apapun kondisi beban di *evaporator*. (Erwahyudi dan Abdul Hamid,2017)

## 2.4 Beban Pendinginan

Beberapa faktor yang perlu diperhatikan pada waktu melakukan perhitungan beban pendinginan dan penentuan perlengkapan sistem tata udara serta sistem control, antara lain : penggunaan atau fungsi ruang, jenis konstruksi bangunan, pola beban pengkondisian, kondisi dalam ruangan.

Pada tahap perencanaan, perhitungan beban pendinginan yang tepat harus dilakukan karena hasil perhitungan beban pendinginan yang tepat akan menjadi dasar untuk pemilihan jenis dan kapasitas peralatan pendinginan.

Didalam ruang Pengajaran Umum beban pendinginan ada 2 macam,yaitu : Beban sensibel dan beban laten. Beban sensibel antara lain : beban kalor melalui dinding, atap, langit-langit, lantai, peralatan listrik (komputer dan lampu) karena beban infiltrasi ruangan. Dinding yang terbuat dari bahan triplek dan kaca tidak terdapat beban kalor karena tidak terkena panas radiasi matahari. Sedangkan beban kalor laten antara lain: penghuni (orang) dan beban kalor pada infiltrasi

ruangan. Sebelumnya ditentukan dulu kondisi ruangan perancangan sebelum melakukan perhitungan beban kalor dari ruangan tersebut. (Edi Purwanto dan Kemas Ridhuan, 2014)

## 2.5 Solar Cell ( Panel Surya)

Panel surya adalah alat yang terdiri dari sel surya yang mengubah cahaya menjadi listrik. Panel surya sering disebut sel *PhotoVoltaic* yang dapat diartikan sebagai “cahaya-listrik”. Sel surya atau sel *PhotoVoltaic* untuk menyerap energi matahari dan menyebabkan arus mengalir antara dua lapisan bermuatan yang berlawanan. Sel surya perlu dilindungi dari kelembaban dan kerusakan mekanis karena hal ini dapat merusak efisiensi panel surya secara signifikan, dan menurunkan masa pakai dari yang diharapkan.

Panel surya merupakan pembangkit listrik yang mampu mengkonversi penyinaran matahari yang diubah menjadi energi listrik. Energi matahari sesungguhnya merupakan sumber energi yang menjanjikan mengingat sifatnya *continue* serta jumlahnya yang besar dan melimpah ketersediaannya. Matahari merupakan sumber energi yang diharapkan dapat mengatasi atau memecahkan permasalahan kebutuhan energi masa depan setelah berbagai sumber energi konvensional berkurang jumlahnya serta tidak ramah terhadap lingkungan. Panel surya juga memiliki kelebihan menjadi sumber energi yang praktis dan ramah lingkungan mengingat tidak membutuhkan transmisi seperti jaringan listrik konvensional, karena dapat dipasang secara modular di setiap lokasi yang membutuhkan.

Posisi ideal panel surya adalah menghadap langsung ke sinar matahari. Panel surya memiliki perlindungan *overheating* yang baik dalam bentuk semen konduktif termal. Perlindungan *overheating* penting dikarenakan panel surya mengkonversi kurang dari 20% dari energi surya yang ada menjadi listrik, sementara sisanya akan terbuang sebagai panas, dan tanpa perlindungan yang memadai kejadian *overheating* dapat menurunkan efisiensi panel surya secara signifikan.

Panel surya dapat mudah dalam hal pemeliharaan karena tidak ada bagian yang bergerak. Satu-satunya hal yang harus dikhawatirkan adalah memastikan

untuk menyingkirkan segala hal yang dapat menghalangi sinar matahari ke panel surya tersebut.



Gambar 2.9 Panel surya

#### 2.5.1 Karakteristik Solar Cell (Photovoltaic)

Solar Cell pada umumnya memiliki ketebalan 0.3 mm, yang terbuat dari irisan bahan semikonduktor dengan kutub (+) dan kutub (-). Apabila suatu cahaya jatuh pada permukaannya maka pada kedua kutubnya timbul perbedaan tegangan yang tentunya dapat menyalakan lampu, menggerakkan motor listrik yang berdaya DC. Untuk mendapatkan daya yang lebih besar bisa menghubungkan solar cell secara seri atau paralel tergantung sifat penggunaannya.

Sel surya menghasilkan arus, dan arus ini beragam tergantung pada tegangan sel surya. Karakteristik tegangan-arus biasanya menunjukkan hubungan tersebut ketika tegangan sel surya sama dengan nol atau digambarkan sebagai “sel surya hubung pendek”, “arus rangkaian pendek” atau ISC (short circuit current), yang sebanding dengan iradiansi terhadap sel surya dapat diukur.

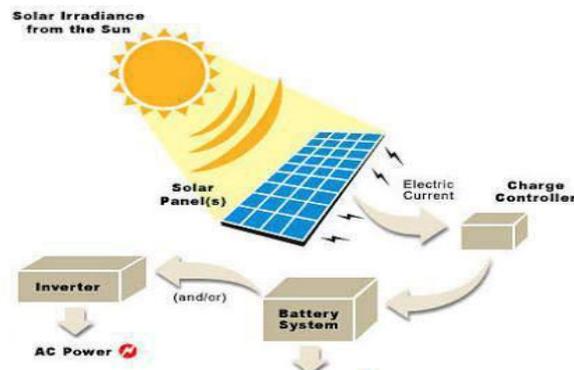
Spesifikasi keseluruhan dari Solar Cell yang digunakan adalah:

- |                                  |                   |
|----------------------------------|-------------------|
| - Maks. Daya (Pmax)              | : 410 Watt        |
| - Maks. Tegangan Listrik (Vmp)   | : 39,1 Volt       |
| - Tegangan Sirkuit Terbuka (Voc) | : 47,6 Volt       |
| - Maks. Arus Daya (Imp)          | : 10,49<br>Ampere |
| - Max Temperatur                 | : 85°C            |

- Dimensi :  
2110×1050×40 mm

### 2.5.2 Prinsip Kerja Sel Surya Photovoltaik

Sinar matahari menjadi listrik dengan panel photovoltaik, kebanyakan menggunakan *Poly Crystalline Silicon* sebagai material semikonduktor *photo cell* mereka. Prinsipnya sama dengan prinsip diode p-n.



Gambar 2.10 Prinsip Kerja Panel Surya

Secara sederhana, proses pembentukan gaya gerak listrik pada sebuah sel surya adalah sebagai berikut:

- Dari cahaya matahari menumbuk panel surya kemudian diserap oleh material semikonduktor seperti silikon.
- Elektron (muatan negatif) terlempar keluar dari atomnya, sehingga mengalir melalui material semikonduktor untuk menghasilkan listrik. Muatan positif yang disebut *hole* (lubang) mengalir dengan arah yang berlawanan dengan elektron pada panel surya silikon.
- Gabungan/susunan beberapa panel surya mengubah energi surya menjadi sumber daya listrik DC. yang nantinya akan disimpan dalam suatu wadah yang dinamakan baterai.
- Daya listrik DC tidak dapat langsung digunakan pada rangkaian listrik rumah atau bangunan sehingga harus mengubah daya listriknya dengan daya listrik AC. Dengan menggunakan konverter inilah maka daya listrik DC dapat berubah menjadi daya listrik AC sehingga sekarang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik.

Berikut ini adalah persamaan rumus yang digunakan pada panel surya :

Daya Input :

Perhitungan daya input dapat menggunakan persamaan berikut :

$$P_{in} = G \times A$$

Keterangan:

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

$G$  = Intensitas radiasi matahari (Watt/m<sup>2</sup>)

$A$  = Luas area permukaan photovoltaic module (m<sup>2</sup>)

Daya Output : Perhitungan daya output dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$P_{out} = V_{max} \times I_{max}$$

Keterangan :

$V_{max}$  = Tegangan pada daya maksimum (Volt)

$I_{max}$  = Arus pada daya maksimum (Ampere)

## 2.6 Sejarah Panel Surya

Menurut bahasa, kata Photovoltaic berasal dari bahasa Yunani photos yang berarti cahaya dan volta yang merupakan nama ahli fisika dari Italia yang menemukan tegangan listrik. Secara sederhana dapat diartikan sebagai listrik dari cahaya. Photovoltaic merupakan sebuah proses untuk mengubah energi cahaya menjadi energi listrik. Proses ini bisa dikatakan kebalikan dari penciptaan laser.

Efek photovoltaic pertama kali berhasil diidentifikasi oleh seorang ahli Fisika berkebangsaan Prancis Alexandre Edmond Becquerel pada tahun 1839. Baru pada tahun 1876, William Grylls Adams bersama muridnya, Richard Evans Day menemukan bahwa material padat selenium dapat menghasilkan listrik ketika terkena paparan sinar.

Dari percobaan tersebut, meskipun bisa dibilang gagal karena selenium belum mampu mengonversi listrik dalam jumlah yang diinginkan, namun hal itu mampu membuktikan bahwa listrik bisa dihasilkan dari material padat tanpa harus ada pemanasan ataupun bagian yang bergerak.

Tahun 1883, Charles Fritz mencoba melakukan penelitian dengan melapisi semikonduktor selenium dengan lapisan emas yang sangat tipis. Photovoltaic yang dibuatnya menghasilkan efisiensi kurang dari 1 %. Perkembangan berikutnya yang berhubungan dengan ini adalah penemuan Albert Einstein

tentang efek fotolistrik pada tahun 1904. Tahun 1927, photovoltaic dengan tipe yang baru dirancang menggunakan tembaga dan semikonduktor copper oxide. Namun kombinasi ini juga hanya bisa menghasilkan efisiensi kurang dari 1 %.

Pada tahun 1941, seorang peneliti bernama Russel Ohl berhasil mengembangkan teknologi sel surya dan dikenal sebagai orang pertama yang membuat paten peranti solar cell modern. Bahan yang digunakan adalah silicon dan mampu menghasilkan efisiensi berkisar 4%.

Barulah kemudian di tahun 1954, Bell Laboratories berhasil mengembangkannya hingga mencapai efisiensi 6% dan akhirnya 11%. 5 Pada tengah hari yang cerah radiasi sinar matahari mampu mencapai 1000 watt per meter persegi. Jika sebuah piranti semikonduktor seluas satu meter persegi memiliki efisiensi 10 persen, maka modul sel surya ini mampu memberikan tenaga listrik sebesar 100 watt.

Sampai saat ini modul sel surya komersial memiliki efisiensi berkisar antara 5 hingga 15 persen tergantung material penyusunnya. Tipe silikon kristal merupakan jenis piranti sel surya yang memiliki efisiensi tinggi meskipun biaya pembuatannya relatif lebih mahal dibandingkan jenis sel surya lainnya. Tipe modul sel surya inilah yang banyak beredar di pasaran. Sebenarnya ada produk sel surya yang efisiensinya bisa mencapai 40%, namun belum dijual secara masal. Prestasi ini dicapai oleh DoE yang sudah mengembangkannya sejak awal tahun 1980.

Pada tahun 1994, laboratorium energi terbarukan (National Renewable Energy laboratory) milik DoE berhasil memecahkan rekor efisiensi 30 persen yang sangat menarik minat bagi dunia industri angkasa luar untuk memanfaatkannya. Hampir semua satelit saat ini memanfaatkan teknologi multi-junction cells. Pencapaian efisiensi hingga 40% tersebut dilakukan dengan mengkonsentrasikan cahaya matahari. Teknologi ini menggunakan konsentrator optik yang mampu meningkatkan intensitas cahaya matahari sehingga konversi listriknya pun juga meningkat.

Sedangkan pada umumnya teknologi sel surya hanya mengandalkan cahaya matahari alami atau dikenal dengan “one sun insolation” yang hanya mampu menghasilkan efisiensi 12 hingga 18 persen. Boeing-Spectrolab memakai struktur yang bernama multi-junction solar cell. Struktur ini mampu menangkap spectrum

sinar matahari lebih banyak dan mengubahnya menjadi energi listrik. Sel individunya dibuat dalam beberapa lapis dan setiap lapisan mampu menangkap cahaya yang melewati sel. (R Pahlevi, 2015)

### 2.6.1 Jenis-Jenis Panel Surya

Panel sel surya mengubah intensitas sinar matahari menjadi energi listrik. Panel sel surya menghasilkan arus yang digunakan untuk mengisi baterai. Panel surya terdiri dari photovoltaic, yang menghasilkan listrik dari intensitas cahaya, saat intensitas cahaya berkurang (berawan, mendung, hujan) arus listrik yang dihasilkan juga berkurang. Dengan memperluas panel surya berarti menambah konversi tenaga surya. Umumnya panel sel surya dengan ukuran tertentu memberikan hasil yang tertentu juga. Contohnya ukuran  $a$  cm x  $b$  cm menghasilkan listrik DC (Direct Current) sebesar  $x$  watt per hour.

#### 2.6.1.1 Monokristal (Mono-crystalline)

Panel ini adalah panel surya yang paling efisien, yaitu menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. Memiliki efisiensi sampai dengan 15%. Kelemahan dari panel jenis ini adalah tidak akan berfungsi di tempat yang cahaya matahari kurang (teduh), kestabilannya akan turun drastis dalam cuaca berawan. (M Rif'an, 2012)



Gambar 2.11 Panel Surya Monokristalin (Mintorogo Danny Santoso, 2000)

#### 2.6.1.2 Polikristal (Poly-crystalline)

Panel surya ini memiliki susunan kristal acak. Type polikristal memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis

monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang sama, akan tetapi dapat menghasilkan listrik dalam keadaan cuaca berawan. (M rif'an,2012)



Gambar 2.12 Panel Surya Polikristalin (Mintorogo Danny Santoso, 2000)

### 2.6.1.3 Gallium Arsenide (GaAs)

Panel surya yang terbuat dari GaAs (Gallium Arsenide) yang lebih efisien pada temperatur tinggi. Sel Surya III-V semikonduktor yang sangat efisien sekitar 25%. (M rif'an,2012)



Gambar 2.13 Panel Surya Gallium Arsenide (Mintorogo Danny Santoso, 2000)

## 2.7 Charger Controller

Charge controller berfungsi memastikan agar baterai tidak mengalami kelebihan pelepasan muatan (over discharge) atau kelebihan pengisian muatan (over charge) yang dapat mengurangi umur baterai. Charge controller mampu menjaga tegangan dan arus keluar masuk baterai sesuai kondisi baterai. Charge controller sering disebut dengan solar charge controller atau battery charge controller.

Jika charge controller menghubungkan panel surya ke baterai atau peralatan

lainnya seperti inverter maka disebut solar charge controller. Jika bagian ini terhubung dari inverter ke baterai lazim disebut battery charge controller, namun hal tersebut tidak baku. Walaupun kedua alat ini berfungsi sama, berbeda dengan SCC, BCC tidak dilengkapi oleh PWM-MPPT (Pulse Width Modulation Maximum Power Point Tracking), yaitu kemampuan untuk mendapatkan daya listrik dari panel surya pada titik maksimumnya.



Gambar 2.14 Charger Controller (<https://tenagasurya.weebly.com/penjelasan-plts.html>, 2019)

## 2.8 Inverter

Inverter adalah “jantung” dalam sistem suatu PLTS. Inverter berfungsi mengubah arus searah (DC) yang dihasilkan oleh panel surya menjadi arus bolak balik (AC). Tegangan DC dari panel surya cenderung tidak konstan sesuai dengan tingkat radiasi matahari. Tegangan masukan DC yang tidak konstan ini akan diubah oleh inverter menjadi tegangan AC yang konstan yang siap digunakan atau disambungkan pada sistem yang ada, misalnya jaringan PLN. Parameter tegangan dan arus pada keluaran inverter pada umumnya sudah disesuaikan dengan standar baku nasional/internasional.

Saat ini, seluruh inverter menggunakan komponen elektronika dibagian dalamnya. Teknologi terkini suatu inverter telah menggunakan IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) sebagai komponen utamanya menggantikan komponen lama BJT, MOSFET, J-FET, SCR dan lainnya. Karakteristik IGBT adalah kombinasi keunggulan antara MOSFET dan BJT. Pemilihan jenis inverter dalam merencanakan PLTS disesuaikan dengan desain PLTS yang akan dibuat. Jenis inverter untuk PLTS disesuaikan apakah PLTS On Grid atau Off Grid atau Hibrid. Inverter untuk sistem On Grid (On Grid Inverter) harus memiliki kemampuan melepaskan hubungan (islanding system) saat grid kehilangan tegangan.

Inverter untuk sistem PLTS hibrid harus mampu mengubah arus dari kedua arah yaitu dari DC ke AC dan sebaliknya dari AC ke DC. Oleh karena itu inverter

ini lebih populer disebut bi-directional inverter. Kelengkapan suatu inverter belum memiliki standard, sehingga produk yang satu dengan lain tidak sepenuhnya kompatibel. Ada inverter yang telah dilengkapi fungsi SCC dan atau BCC dan fungsi lainnya secara terintegrasi. Alat ini lazim disebut juga PCS (Power Conditioner System) atau Power Conditioner Unit (PCU). Dibutuhkannya SCC atau BCC tergantung dari kelengkapan inverter tersebut. Jika inverter telah dilengkapi dengan charge controller (SCC dan BCC) dibagian internalnya, maka charge controller eksternal sangat mungkin tidak diperlukan lagi.



Gambar 2.15 Inverter (Sumber : teknikelektronika.com)

## 2.9 Baterai

Baterai adalah perangkat yang mengandung sel listrik yang dapat menyimpan energi yang dapat dikonversi menjadi daya. Baterai menghasilkan listrik melalui proses kimia. Baterai atau akkumulator adalah sebuah sel listrik dimana didalamnya berlangsung proses elektrokimia yang *reversible* (dapat berkebalikan) dengan efisiensinya yang tinggi. Yang dimaksud dengan reaksi elektrokimia *reversibel* adalah didalam baterai dapat berlangsung proses pengubahan kimia menjadi tenaga listrik ( proses pengosongan ) dan sebaliknya dari tenaga listrik menjadi tenaga kimia ( proses pengisian ) dengan cara proses regenerasi dari elektroda - elektroda yang dipakai yaitu, dengan melewati arus listrik dalam arah polaritas yang berlawanan didalam sel.

Baterai terdiri dari dua jenis yaitu, baterai primer dan baterai sekunder. Baterai primer merupakan baterai yang hanya dapat dipergunakan sekali pemakaian saja dan tidak dapat diisi ulang. Hal ini terjadi karena reaksi kimia material aktifnya tidak dapat dikembalikan. Sedangkan baterai sekunder dapat diisi ulang, karena material aktifnya didalam dapat diputar kembali.

Kelebihan dari pada baterai sekunder adalah harganya lebih efisien untuk penggunaan jangka waktu yang panjang.

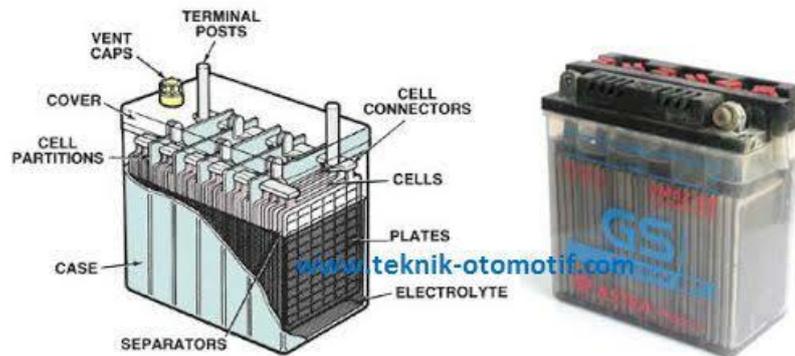
Mengingat PLTS sangat tergantung pada kecukupan energi matahari yang diterima panel surya, maka diperlukan media penyimpanan energi sementara bila sewaktu-waktu panel tidak mendapatkan cukup sinar matahari atau untuk penggunaan listrik malam hari. Baterai lead acid untuk sistem PLTS berbeda dengan baterai lead acid untuk operasi starting mesin-mesin seperti baterai mobil.

Pada PLTS, baterai yang berfungsi untuk penyimpanan (storage) juga berbeda dari baterai untuk buffer atau stabilitas. Baterai untuk pemakaian PLTS lazim dikenal dan menggunakan deep cycle lead acid, artinya muatan baterai jenis ini dapat dikeluarkan (discharge) secara terus menerus secara maksimal mencapai kapasitas nominal. Baterai adalah komponen utama PLTS yang membutuhkan biaya investasi awal terbesar setelah panel surya dan inverter.

Namun, pengoperasian dan pemeliharaan yang kurang tepat dapat menyebabkan umur baterai berkurang lebih cepat dari yang direncanakan, sehingga meningkatkan biaya operasi dan pemeliharaan. Atau dampak yang paling minimal adalah baterai tidak dapat dioperasikan sesuai kapasitasnya. Kapasitas baterai yang diperlukan tergantung pada pola operasi PLTS. Besar kapasitas baterai juga harus mempertimbangkan seberapa banyak isi baterai akan dikeluarkan dalam sekali pengeluaran.

Kapasitas baterai dinyatakan dalam Ah atau Ampere hours. Jika suatu PLTS menggunakan baterai dengan kapasitas 2000 Ah dengan tegangan sekitar 2 Volt. Maka baterai tersebut memiliki kemampuan menyimpan muatan sekitar 2000 Ah x 2 V atau 4 kWh. Beberapa faktor yang harus diperhatikan dalam menentukan jenis dan kapasitas baterai untuk suatu PLTS dan pengaruhnya pada umur baterai.

## Baterai



Gambar 2.16 Baterai (Sumber : teknik-otomotif.com)

### 2.9.1 Jenis – jenis baterai

#### A. Baterai Asam (*Lead Acid Storage Acid*)

Baterai asam yang bahan elektrolitnya adalah larutan asam belerang (*sulfuric acid* =  $H_2SO_4$ ). Didalam baterai asam, elektroda – elektroda nya terdiri dari plat – plat timah peroksida  $PbO_2$  (*Lead Peroxide*) sebagai anoda (kutub positif) dan timah murni  $Pb$  (*lead sponge*) sebagai katoda (kutub negatif). Ciri – ciri umumnya:

1. Tegangan nominal per sel 2 volt.
2. Ukuran baterai per sel lebih besar dibandingkan dengan baterai alkali

Nilai berat jenis elektrolit sebanding dengan kapasitas baterai.

1. Suhu elektrolit sangat mempengaruhi terhadap nilai berat jenis elektrolit, semakin tinggi suhu elektrolit semakin rendah berat jenis dan sebaliknya.
2. Nilai jenis berat standart elektrolit tergantung dari pabrik pembuatnya.
3. Umur baterai tergantung pada operasi dan pemeliharaan biasanya bisa mencapai 10 – 15 tahun.
4. Tegangan pengisian per sel harus sesuai dengan petunjuk operasi dan pemeliharaan dari pabrik pembuat. Sebagai contoh adalah:

- Pengisian awal (*Initial Charge*) : 2,7 Volt
- Pengisian *Floating* : 2,18 Volt

- Pengisian *Equalizing* : 2,25 Volt
- Pengisian *Boozting* : 2,37 Volt
- Tegangan pengosongan per sel (*Discharge*) : 2,0 – 1,8 Volt

#### B. Baterai Basa / Alkali (Alkaline Storage Battery)

Baterai alkali bahan elektrolitnya adalah larutan alkali (Potassium Hydroxide) yang terdiri dari:

- a. Nickel iron alkaline battery Ni-Fe Battery.
- b. Nickel cadmium alkaline battery Ni Cd Battery

Pada umumnya yang paling banyak digunakan adalah baterai alkali admium (Ni- Cd)

Ciri- ciri umum ( tergantung pabrik pembuat ) adalah sebagai berikut:

- a. Tegangan nominal per sel adalah 1,2 volt
- b. Nilai jenis berat elektroit tidak sebanding dengan kapasitas baterai.
- c. Umur baterai tergantung pada penggunaan dan perawatan, biasanya dapat mencapai 15 - 20 tahun.
- d. Tegangan pengisian per sel harus sesuai dengan petunjuk operasi dan pemeliharaan dari pabrik pembuat. Sebagai contoh adalah:
  - Pengisian awal (Initial Charge) : 1,6 – 1,9 Volt
  - Pengisian Floating : 1,40 – 1,42 Volt
  - Pengisian Equalizing : 1,45 Volt
- e. Tegangan pengosongan (discharge) = 1 volt.

#### 2.9.2 Karakteristik Baterai

Kapasitas baterai merupakan kemampuan baterai menyimpan daya listrik atau besarnya energi yang dapat disimpan dan dikeluarkan oleh baterai. Besarnya kapasitas, tergantung dari banyaknya bahan aktif pada plat positif maupun plat negatif yang bereaksi, dipengaruhi oleh jumlah plat tiap-tiap sel, ukuran, dan tebal plat, kualitas elektrolit serta umur baterai. Kapasitas energi suatu baterai dinyatakan dalam ampere jam (Ah), misalkan kapasitas baterai 100 Ah 12 volt artinya secara ideal arus yang

dapat dikeluarkan sebesar 5 ampere selama 20 jam pemakaian.

Besar kecilnya tegangan baterai ditentukan oleh besar / banyak sedikitnya sel baterai yang ada di dalamnya. Sekalipun demikian, arus hanya akan mengalir bila ada konduktor dan beban yang dihubungkan ke baterai. Kapasitas baterai juga menunjukkan kemampuan baterai untuk mengeluarkan arus (discharging) selama waktu tertentu, dinyatakan dalam Ah (Ampere – hour). Berarti sebuah baterai dapat memberikan arus yang kecil untuk waktu yang lama atau arus yang besar untuk waktu yang pendek. Pada saat baterai diisi (charging), terjadilah penimbunan muatan listrik. Jumlah maksimum muatan listrik yang dapat ditampung oleh baterai disebut kapasitas baterai dan dinyatakan dalam ampere jam (Ampere - hour), muatan inilah yang akan dikeluarkan untuk menyuplai beban ke pelanggan. Kapasitas baterai dapat dinyatakan dengan persamaan dibawah ini :

$$Ah = \text{Kuat Arus (ampere)} \times \text{waktu (hours)}$$

Dimana : Ah = kapasitas baterai aki

I = kuat arus (ampere)

t = waktu (jam/sekon)

### 2.9.3 Konstruksi baterai aki.

Aki yang ada dipasaran ada 2 jenis yaitu aki basah dan aki kering. Aki basah media penyimpanan arus listrik ini merupakan jenis aki yang paling umum digunakan. Aki jenis ini masih perlu diberi air aki yang dikenal accu zuur. Sedangkan jenis aki kering merupakan jenis aki yang tidak memakai cairan, mirip seperti baterai telepon seluler. Aki ini tahan terhadap getaran dan suhu rendah.

Dalam aki ini terdapat jenis elemen dan sel untuk menyimpan arus yang mengandung asam sulfat ( $H_2SO_4$ ). Tiap sel berisikan pelat positif dan negatif. Pada pelat positif terkandung oksidal timbal coklat ( $PbO_2$ ), sedangkan pelat negatif mengandung timbal (Pb). Pelat-pelat ditempatkan pada batang penghubung. Pemisah atau separator menjadi isolasi diantara pelat itu, dibuat agar baterai acid mudah beredar disekeliling pelat. Bila

ketiga unsur kimia ini berinteraksi, maka akan muncullah arus listrik.

Aki memiliki 2 kutub / terminal, kutub positif dan kutub negatif. Biasanya kutub positif (+) lebih besar atau lebih tebal dari kutub negatif (-), untuk menghindarkan kelalaian bila aki hendak dihubungkan dengan kabel-kabelnya. Pada aki terdapat batas minimum dan maksimum tinggi permukaan air aki untuk masing-masing sel. Bila permukaan air aki di bawah level minimum akan merusak fungsi sel aki. Jika air aki melebihi level maksimum, maka akan mengakibatkan air aki menjadi panas dan meluap keluar melalui tutup sel.

#### 1. Plat positif dan negative.

Plat positif dan plat negative merupakan komponen utama suatu aki. Kualitas plat sangat menentukan kualitas suatu aki, plat-plat tersebut terdiri dari rangka yang terbuat dari paduan timbal antimon yang di isi dengan suatu bahan aktif.

Bahan aktif pada plat positif adalah timbal peroksida yang berwarna coklat, sedang pada plat negatif adalah spons - timbal yang berwarna abu abu.

#### 2. Separator dan lapisan serat gelas

Antara plat positif dan plat negatif disisipkan lembaran separator yang terbuat dari serat cellulosa yang diperkuat dengan resin. Lembaran lapisan serat gelas dipakai untuk melindungi bahan aktif dari plat positif, karena timbal peroksida mempunyai daya kohesi yang lebih rendah dan mudah rontok jika dibandingkan dengan bahan aktif dari plat negatif. Jadi, fungsi lapisan serat gelas disini adalah untuk memperpanjang umur plat positif agar dapat mengimbangi.

#### 3. Elektrolit.

Cairan elektrolit yang dipakai untuk mengisi aki adalah larutan encer asam sulfat yang tidak berwarna dan tidak berbau. Elektrolit ini cukup kuat untuk merusak pakaian.

#### 4. Penghubung antara sel dan terminal.

Aki 12 volt mempunyai 6 sel, sedang Aki 6 volt mempunyai 3 sel. Sel merupakan unit dasar suatu Aki dengan tegangan sebesar 2 volt. Penghubung sel (conector) menghubungkan sel sel secara seri. Penghubung sel ini terbuat dari paduan timbal antimon. Ada dua cara penghubung sel - sel tersebut. Yang pertama melalui atas dinding penyekat dan yang kedua melalui (menembus) dinding penyekat. Terminal terdapat pada kedua sel ujung (pinggir), satu bertanda positif (+) dan yang lain negatif (-). Melalui kedua terminal ini listrik dialirkan penghubung antara sel dan terminal.

#### 5. Sumbat.

Sumbat dipasang pada lubang untuk mengisi elektrolit pada tutup aki, biasanya terbuat dari plastik. Sumbat pada Aki motor tidak mempunyai lubang udara. Gas yang terbentuk dalam Aki disalurkan melalui slang plastik/ karet. Uap asam akan tertahan pada ruang kecil pada tutup aki, kemudian asamnya dikembalikan kedalam sel.

#### 6. Perak bak dan tutup

Ada dua cara untuk menutup aki, yang pertama menggunakan bahan perekat lem, dan yang kedua dengan bantuan panas (Heat Sealing). Yang pertama untuk bak polystyrene sedang yang kedua untuk bak polipropylene.

### 2.10 Arus dan Tegangan

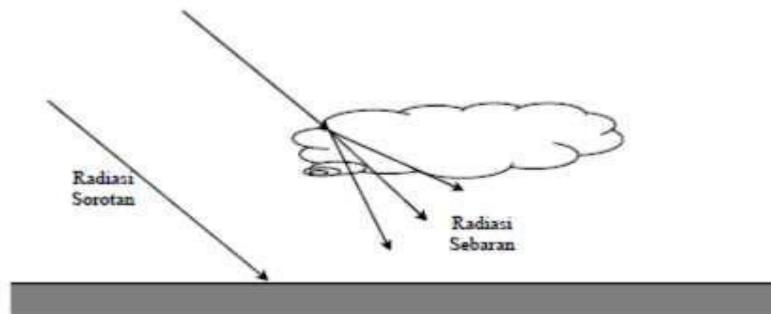
Atom adalah partikel terkecil penyusun materi, atom terdiri dari partikel-partikel sub-atom yang tersusun atas elektron, proton, dan neutron dalam berbagai gabungan. Elektron adalah muatan listrik negatif (-) yang paling mendasar. Elektron dalam cangkang terluar suatu atom disebut elektron valensi. Apabila energi eksternal seperti energi kalor, cahaya, atau listrik diberikan pada materi, elektron valensinya akan memperoleh energi dan dapat berpindah ke tingkat energi yang lebih tinggi. Jika energi yang diberikan telah cukup, sebagian dari elektron-elektron valensi terluar tadi akan meninggalkan atomnya dan statusnya pun berubah menjadi elektron bebas. Gerakan elektron-elektron bebas inilah yang akan menjadi arus listrik dalam konduktor logam. Gerak atau aliran elektron disebut arus ( $I$ ), dengan satuan

ampere. Sebagian atom kehilangan elektron dan sebagian atom lainnya memperoleh elektron. Keadaan ini akan memungkinkan terjadinya perpindahan elektron dari satu objek ke objek lain. Apabila perpindahan ini terjadi, distribusi muatan positif dan negatif dalam setiap objek tidak sama lagi. Objek dengan jumlah elektron yang berlebih akan memiliki polaritas listrik negatif (-). Objek yang kekurangan elektron akan memiliki polaritas listrik positif (+). Besaran muatan listrik ditentukan oleh jumlah elektron dibandingkan dengan jumlah proton dalam suatu objek. Simbol untuk besaran muatan elektron ialah  $Q$  dan satuannya adalah coulomb. Besarnya muatan  $1\text{ C} = 6,25 \times 10^{18}$  elektron. Kemampuan muatan listrik untuk mengerahkan suatu gaya dimungkinkan oleh keberadaan medan elektrostatik yang mengelilingi objek yang bermuatan tersebut. Suatu muatan listrik memiliki kemampuan untuk melakukan kerja akibat tarikan atau tolakan yang disebabkan oleh gaya medan elektrostatiknya. Kemampuan melakukan kerja ini disebut potensial. Apabila satu muatan berbeda dari muatan lainnya, di antara kedua muatan ini pasti terdapat beda potensial. Satuan dasar beda potensial adalah volt (V). karena satuan inilah beda potensial  $V$  sering disebut sebagai voltage atau tegangan

$$P = V.I$$

### 2.11 Radiasi Harian Matahari pada Permukaan Bumi

Konstanta radiasi matahari sebesar  $1353\text{ W/m}^2$  dikurangi intensitasnya oleh penyerapan dan pemantulan oleh atmosfer sebelum mencapai permukaan bumi. Ozon di atmosfer menyerap radiasi dengan panjang-gelombang pendek (ultraviolet) sedangkan karbon dioksida dan uap air menyerap sebagian radiasi dengan panjang gelombang yang lebih panjang (inframerah). Selain pengurangan radiasi bumi yang langsung atau sorotan oleh penyerapan tersebut, masih ada radiasi yang dipencarkan oleh molekul-molekul gas, debu, dan uap air dalam atmosfer sebelum mencapai bumi yang disebut sebagai radiasi sebaran.



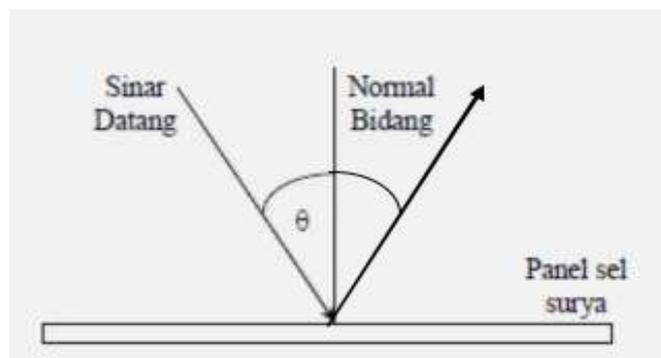
Gambar 2.17 Radiasi sorotan dan radiasi sebaran yang mengenai permukaan bumi (Yuwono Budi, 2015)

## 2.12 Gerakan Matahari Terhadap Energi Surya

Photovoltaic cell selalu dilapisi oleh penutup yang berasal dari gelas, maka optical input dari photovoltaic cell juga sangat dipengaruhi oleh orientasinya terhadap matahari karena variasi sudut dari pantulan gelas.

### 2.12.1 Pengaruh Sudut datang terhadap Radiasi yang diterima

Besarnya radiasi yang diterima panel sel surya dipengaruhi oleh sudut datang (*angle of incidence*) yaitu sudut antara arah sinar datang dengan komponen tegak lurus bidang panel.



Gambar 2.18 Arah sinar datang membentuk sudut terhadap normal bidang panel sel surya (Yuwono Budi, 2015)

Panel akan mendapat radiasi matahari maksimum pada saat matahari tegak lurus dengan bidang panel. Pada saat arah matahari tidak tegak lurus dengan bidang panel atau membentuk sudut  $\theta$  seperti gambar 2.10 maka panel

akan menerima radiasi lebih kecil dengan faktor  $\cos \theta$ .

### 2.13 *Road Map* Penelitian

*Road Map* penelitian Lemari Pembeku Dengan Menggunakan Baterai 150 Ah Sebagai Sumber Tenaga Di Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Tabel 2.1 *Road Map* Penelitian

No	Judul	Nama Penulis	NPM
1	Analisa Kerja Kompresor Lemari Pembeku Dengan Menggunakan Baterai 150 Ah Sebagai Sumber Tenaga.	Yogi Dira Nugraha	1607230052
2	Analisa <i>Performance</i> Dari Lemari Pembeku Dengan Menggunakan Baterai 150 Ah Sebagai Sumber Tenaga	Muhammad Urip Maulana	1607230046
3	Analisis Kemampuan Panel Surya 410 WP Pada Lemari Es	Hariyadi Adha	1607230034

## BAB 3 METODE PENELITIAN

### 3.1 Tempat dan Waktu

#### 3.1.1 Tempat

Adapun tempat dilakukannya analisa *performance* dari lemari pembeku dengan menggunakan baterai 150 ah sebagai sumber tenaga yaitu di Laboratorium Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Jalan Kapten Muchtar Basri No.3 Medan.

#### 3.1.2 Waktu

Waktu pelaksanaan penelitian dan kegiatan pengujian dilakukan sejak tanggal usulan oleh Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, dapat dilihat pada tabel 3.1 dibawah ini :

Tabel 3.1 jadwal dan kegiatan saat melakukan penelitian.

No	Kegiatan	WAKTU (BULAN)					
		1	2	3	4	5	6
1	Pengajuan judul	■					
2	Studi literatur		■				
3	Penulisan Proposal		■				
4	Penyediaan Alat dan Bahan		■				
5	Seminar proposal			■			
6	Pengujian dan Pengambilan data				■		
7	Analisa Data				■		
8	Penulisan laporan akhir				■	■	
9	Seminar hasil dan sidang sarjana					■	■

### 3.2 Bahan dan Alat.

Adapun bahan dan alat yang digunakan dalam analisa performance dari lemari pembeku terhadap beban pendingin dengan menggunakan *solar cell* adalah sebagai berikut:

#### 3.2.1 Bahan.

Adapun bahan yang di gunakan dalam pembuatan alat ini adalah sebagai berikut:

##### 1. Lemari Pembeku

Lemari pembeku digunakan sebagai media percobaan untuk mengetahui nilai COP nya dengan spesifikasi keseluruhan dari lemari pembeku sebagai berikut :

- Tegangan : 220 Volt
- Daya :  $\frac{1}{4}$  PK = 183.875 W
- Frekwensi : 50 Hz
- Arus : 1.4 A
- Jenis Refrigerant : R-134a



Gambar 3.1 Lemari Pembeku.

##### 2. Panel Surya

Panel surya digunakan untuk mengubah cahaya menjadi listrik. Panel surya yang di gunakan dalam penelitian ini adalah type *monocrystalline* 410 watt dengan spesifikasi keseluruhan dari *Solar Cell* sebagai berikut :

- Maks. Daya (Pmax) : 410 Watt
- Maks. Tegangan Listrik (Vmp) : 39,1 Volt
- Tegangan Sirkuit Terbuka (Voc) : 47,6 Volt
- Maks. Arus Daya (Imp) : 10,5 Ampere
- Max Temperatur : 85°C

- Dimensi :  
2110×1050×40 mm



Gambar 3.2 Panel Surya

### 3. Charger Controller

Charger controller digunakan sebagai pengatur arus listrik (*current regulator*) baik terhadap arus yang masuk dari panel surya maupun arus beban keluar / digunakan. Charger controller yang digunakan pada penelitian type MPPT ( Maximum Power Point Tracking) dengan nilai tegangan 12V/24V dan maksimal input arus surya 60 A.



Gambar 3.3 Charger Controller

### 4. Inverter

Inverter digunakan untuk mengkonversikan daya listrik dari listrik arus searah DC (baterai) ke daya listrik arus bolak balik AC (*alternating current*). Inverter yang di gunakan pada penelitian ini inverter 2000VA type (Suocer FPC 2000 A) mengubah daya listrik 12V menjadi daya listrik 220V, sehingga

cocok untuk penggunaan berbagai alat electronic.



Gambar 3.4 Inverter

#### 5. Baterai

Baterai digunakan sebagai penyimpan daya listrik yang dihasilkan dari panel surya setelah penyerap cahaya matahari menjadi listrik. Baterai yang digunakan pada penelitian ini menggunakan baterai type 6 – FMX – 150D 12V 150Ah.



Gambar 3.5 Baterai

#### 6. Kabel

Kabel digunakan untuk menghubungkan arus yang dihasilkan dari panel surya menuju charger controller lalu menuju ke baterai untuk di simpan arus tersebut. Kabel yang di gunakan pada penelitian jenis kabel nyhyh (2x2,5mm).



Gambar 3.6 Kabel

#### 7. Besi Plat

Besi plat digunakan untuk rangka panel surya dan komponen lainnya. Besi yang digunakan untuk rangka panel surya yaitu besi siku (40x40mm).



Gambar 3.7 Besi

#### 8. Baut dan Mur

Baut dan mur digunakan untuk memasang besi-besi rangka panel dan komponen-komponen lainnya.



Gambar 3.8 Baut dan Mur

#### 3.2.2 Alat

Adapun alat yang di gunakan dalam pembuatan alat ini adalah sebagai berikut:

1. Multimeter

Multimeter digunakan untuk mengukur tegangan dan arus yang dihasilkan panel surya pada saat pengujian. Multimeter yang di gunakan adalah Digital Multimeter DT830B.



Gambar 3.9 Multimeter

2. Mesin Gerinda

Mesin gerinda digunakan untuk mengasah/memotong besi-besi untuk membuat rangka panel dan komponen lainnya. Mesin gerinda yang di gunakan pada penelitian ini mesin gerinda tangan tipe MT90.



Gambar 3.10 Mesin Gerinda

3. Mesin Las

Mesin las digunakan untuk menyambung besi menjadi satu rangkaian untuk rangka panel surya dan komponen lainnya. Mesin las yang di gunakan pada pembuatan alat adalah Mesin Trafo Las MMA tipe 120G-KR.



Gambar 3.11 Mesin Las

4. Mesin Bor

Mesin bor digunakan untuk melubangi besi rangka panel dan komponen lainnya. Mesin bor yang di gunakan pada pembuatan alat penelitian mesin bor Stanley type STEL 101.



Gambar 3.12 Mesin Bor

5. Meteran

Meteran digunakan untuk mengukur besi dalam pembuatan rangka rangka panel dan komponen lainnya.



Gambar 3.13 Meteran

6. Obeng

Obeng digunakan untuk memasang baut dan komponen lainnya pada saat perakitan alat



Gambar 3.14 Obeng

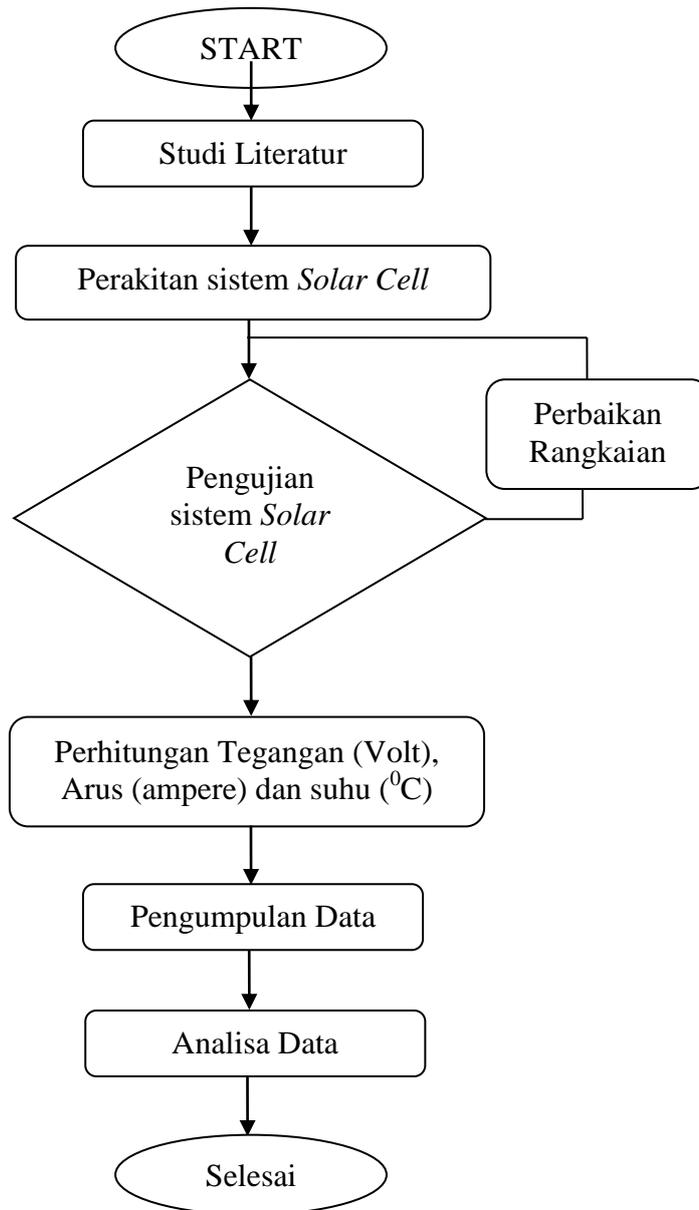
7. Kunci Ring Pas

Kunci pas ring digunakan untuk memasang baut pada kerangka panel dan komponen lainnya.

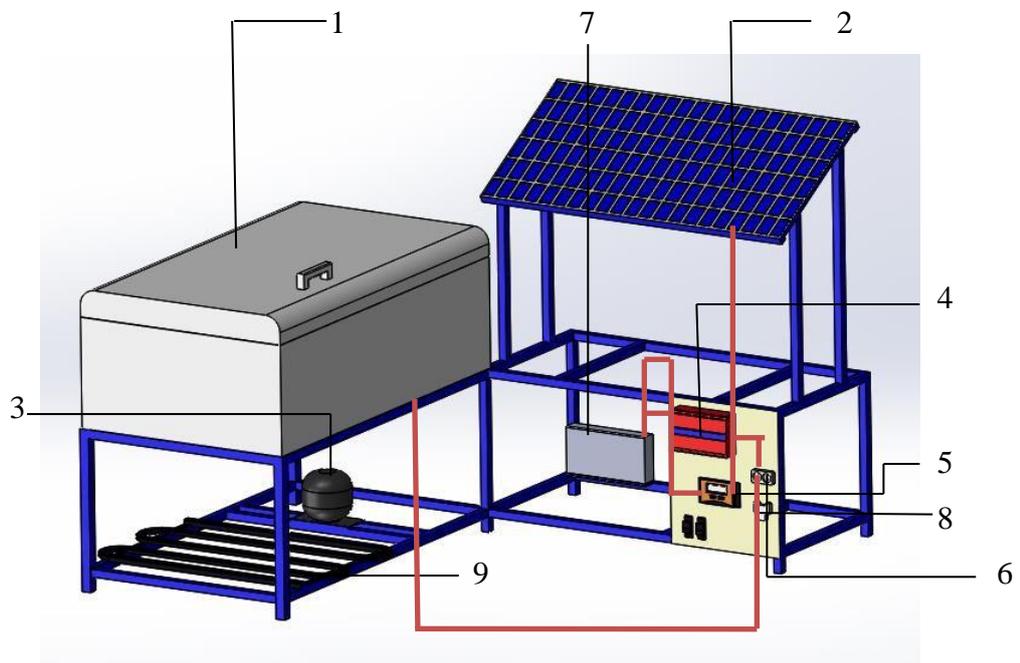


Gambar 3.15 Kunci Ring Pas.

### 3.3 Diagram Alir Penelitian



### 3.4. Rancangan Alat Penelitian



Gambar 3.16 Gambar Rancangan Alat Penelitian

Keterangan Gambar :

1. Lemari Pembeku
2. Panel Surya
3. Kompresor
4. Inverter
5. MPPT (*Charger Controller*)
6. Stop Kontak
7. Baterai
8. MCB (*Miniature circuit breaker*)
9. Kondensor

### 3.5. Prosedur Penelitian.

#### 3.5.1. Langkah-langkah Pemasangan Alat

Adapun langkah-langkah perakitan komponen-komponen *solar cell* dan lemari pembeku adalah sebagai berikut :

1. Memasang papan sebagai dudukan charger controller, inverter, dan komponen lainnya.



Gambar 3.17 Pemasangan Papan Dudukan Komponen Sel Surya

2. Memasang tiang penyangga dudukan panel surya.



Gambar 3.18 Pemasangan Tiang Penyangga Dudukan Panel Surya

3. Memasang panel surya ke tiang dudukan yang terpasang di kerangka dengan sudut  $40^{\circ}$ .



Gambar 3.19 Pemasangan Panel Surya Pada Sudut  $40^{\circ}$

4. Memasang charger controller ke papan yang sudah terpasang di kerangka.



Gambar 3.20 Pemasangan *Charger Controller*

5. Memasang inverter ke papan yang sudah terpasang di kerangka.



Gambar 3.21 Pemasangan Inverter

6. Mencolokkan kabel lemari pembeku ke stop kontak yang terhubung dengan inverter



Gambar 3.22 Pemasangan Kulkas Ke Stop Kontak

### 3.5.2. Langkah – langkah pengujian

Adapun langkah – langkah pengujian *performance* pada lemari pembeku terhadap beban pendingin sebagai berikut :

1. Melakukan pengujian *solar cell* di tempat terbuka yang mendapat sinar matahari, pengujian dilakukan pada pukul 07:00 wib sampai 15:00 wib.



Gambar 3.23 Pengujian *Solar Cell*

2. Memasang lemari pembeku dan memastikan terpasang dengan panel surya.



Gambar 3.24 Pemasangan Lemari Pembeku

3. Catat temperatur dan waktu yang ditunjukkan oleh alat pengukur temperatur dan stopwatch.



Gambar 3.25 Indikator Kompresor dan Suhu

4. Catat waktu yang dibutuhkan keseluruhan dari suhu 25<sup>0</sup> C sampai suhu 0<sup>0</sup>C

## BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Cara Kerja Lemari Pembeku Dan Panel Surya

Saat refrigeran mengalir melalui Evaporator, perpindahan panas dari ruangan yang didinginkan menyebabkan Refrigeran menguap kemudian Refrigeran meninggalkan Evaporator kemudian masuk ke Kompresor. Selanjutnya Refrigeran dikompresi hingga tekanan dan temperatur nya bertambah tinggi. Kemudian Refrigeran mengalir melalui kondensor, dimana refrigeran mengembun dan memberikan panas ke udara sekitar yang lebih rendah temperaturnya. Akhirnya, Refrigeran pada state ini masuk alat ekspansi dan berekspansi ke tekanan Evaporator.

Dan cara kerja panel surya yaitu panel akan menyerap cahaya matahari dan menampung energi yang dihasilkan ke dalam baterai melalui charger controller yang berfungsi sebagai pengatur arus listrik baik terhadap arus yang masuk dari panel surya maupun arus beban yang digunakan

### 4.2 Hasil Perhitungan Nilai COP Pada Lemari Pembeku Dengan Menggunakan Baterai Sebagai Sumber Tenaga



Gambar 4.1 Indikator Tekanan Dan Suhu

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Pada Lemari Pembeku

T Kabin (°c)	25	20	15	10	5	0
P1/Low Pressure (Bar)	1,1	1,4	0,4	0,4	0,3	0,3
P2/Low Pressure (Bar)	13,4	14	14,2	14,2	14,8	15,8

Dari tabel 4.1 dapat di hitung nilai COP nya sebagai berikut :

Percobaan berdasarkan R-22 pada suhu 25<sup>0</sup>C. Diketahui data dari penelitian :

$$P_1 \text{ Low (Bar)} = 1,1 \times 0,1 = 0,11 \text{ Mpa}$$

$$P_2 \text{ High (Bar)} = 13,4 \times 0,1 = 1,34 \text{ Mpa}$$

Dari Tabel R-22 maka dapat diperoleh dengan menggunakan interpolasi :

Suhu ( <sup>0</sup> C)	Mpa	Vapor (h <sub>1</sub> )	s
-40	0,10532	388,13	1,8231
	0,11	...	...
-38	0,11538	389,06	1,8136

Interpolasi suhu (<sup>0</sup>C)

$$= -40 + \left( \frac{(0,11-0,10532)}{(0,11538-0,10532)} \right) \times ((-38) - 40)$$

$$= -39,06958250 \text{ } ^0\text{C}$$

Interpolasi vapor (h<sub>1</sub>)

$$= 388,13 + \left( \frac{(0,11-0,10532)}{(0,11538-0,10532)} \right) \times (389,06 - 388,13)$$

$$= 388,56264413 \text{ } \text{kJ/kg}$$

Interpolasi s

$$= 1,8231 + \left( \frac{(0,11-0,10532)}{(0,11538-0,10532)} \right) \times (1,8136 - 1,8231)$$

$$= 1,8210065 \text{ } \text{kJ/kg}$$

Dari tabel superheated

Suhu ( <sup>0</sup> C)	Vapor (h <sub>2</sub> )	s
80	453,7	1,819
...	...	1,8210065
85	457,8	1,830

Interpolasi suhu (<sup>0</sup>C)

$$= 80 + \left( \frac{(1,8210065-1,819)}{1,830-1,819} \right) \times (85 - 80)$$

$$= 80,9120 \text{ } ^0\text{C}$$

Interpolasi vapor (h<sub>2</sub>)

$$= 453,7 + \left( \frac{(1,8210065-1,819)}{1,830-1,819} \right) \times (457,8 - 453,7)$$

$$= 454,447877 \text{ kJ/kg}$$

Dari tabel R-22 untuk P<sub>2</sub> High = 1,34 Mpa maka digunakan interpolasi :

Suhu (°C)	Mpa	Liquid (h <sub>3</sub> )
34	1,32100	241,77
...	1,34	...
36	1,38920	244,38

Interpolasi suhu (°C)

$$= 34 + \left( \frac{1,32-1,32100}{1,38920-1,32100} \right) \times (36 - 34) = 34,5571847 \text{ °C}$$

Interpolasi liquid (h<sub>3</sub>)

$$= 241,77 + \left( \frac{1,34-1,32100}{1,38920-1,32100} \right) \times (244,38 - 241,77)$$

$$= 242,4971260 \text{ kJ/kg}$$

Maka untuk menghitung nilai COP dari lemari pembeku adalah sebagai berikut :

Evaporator (Q<sub>1</sub>) :

$$= h_1 - h_3$$

$$= 388,56264413 \text{ kJ/kg} - 242,4971260 \text{ kJ/kg}$$

$$= 146,06551813 \text{ kJ/kg}$$

Kondensor (Q<sub>2</sub>) :

$$= h_2 - h_3$$

$$= 454,447877 \text{ kJ/kg} - 242,4971260 \text{ kJ/kg}$$

$$= 211,950751 \text{ kJ/kg}$$

Kompresor (WK) :

$$= h_2 - h_1$$

$$= 454,447877 \text{ kJ/kg} - 388,5626 \text{ kJ/kg}$$

$$= 65,10048 \text{ kJ/kg}$$

Nilai COP pada lemari pembeku :

$$\begin{aligned}
&= \frac{Q_1}{wk} \\
&= \frac{146,83185 \text{ kJ/kg}}{65,10048 \text{ kJ/kg}} \\
&= 2,243699
\end{aligned}$$

Maka nilai COP dari lemari pembeku pada suhu 25<sup>0</sup>C adalah 2,22860

4.3 Hasil Pengamatan temperatur kabin lemari pembeku terhadap waktu yang dibutuhkan untuk mencapai titik 0<sup>0</sup>C.

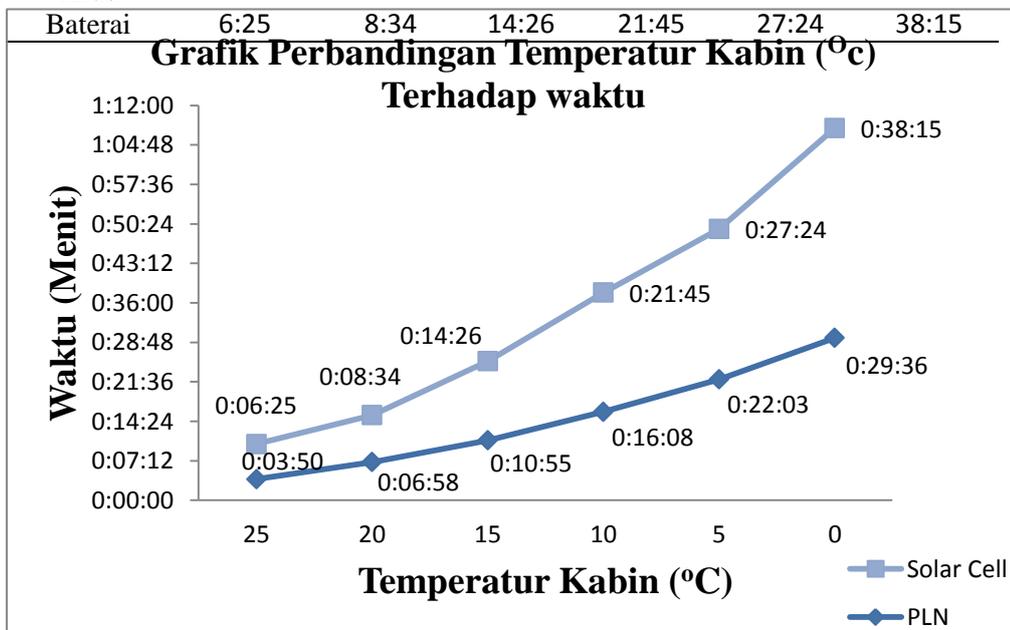
Dibawah ini merupakan tabel dan grafik data hasil pengujian berdasarkan pengamatan waktu untuk mencapai titik 0<sup>0</sup>C dengan menggunakan aliran listrik PLN dan Baterai.



Gambar 4.2 Tekanan Kompresor

Tabel 4.2 Hasil Waktu dari lemari pembeku pada suhu 25<sup>0</sup>C sampai 0<sup>0</sup>C.

T Kabin (°c)	25	20	15	10	5	0
Waktu Arus PLN	3:50	6:58	10:55	16:08	22:03	29:36
Waktu Arus Baterai	6:25	8:34	14:26	21:45	27:24	38:15



#### Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Temperatur Kabin Terhadap Waktu

Pada gambar 4.1 menunjukkan perbandingan temperatur kabin terhadap waktu disini terlihat jelas bahwa waktu untuk mencapai titik beku yaitu  $0^{\circ}\text{C}$  lebih cepat menggunakan aliran listrik PLN dibandingkan dengan menggunakan baterai sebagai sumber tenaga yang dihasilkan oleh panel surya.

#### 4.4 Hasil Tegangan, Arus dan Daya Pada Solar Cell.

Pada penelitian ini dilakukan pengujian pengaruh sudut datang matahari terhadap keluaran sel surya. Hal ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh sudut datang matahari dan juga seberapa besar pengaruh sudut tersebut dapat diabaikan. Cara pengujian dilakukan seperti Gambar 4.2 :



Gambar 4.4 Pengujian *Solar Cell* Terhadap Lemari Pembeku

Pemasangan sebuah panel sel surya pada posisi kemiringan  $40^{\circ}$ , terhadap sudut datang matahari seperti Gambar di atas. Dari panel sel surya. Pengambilan data posisi/sudut matahari sangat diperlukan. Hal ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pergeseran sudut matahari pada selang waktu tertentu. Pengambilan data ini dilakukan pukul 08.00 hingga pukul 15.00. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.3 sebagai berikut:

Tabel 4.3 Hasil Pengujian pada Tanggal 6 Desember 2020

NO	WAKTU (WIB)	ARUS (AMPERE)	TEGANGAN (VOLT)	DAYA (WATT)
1	8:00	6,84	27,3	186,732
2	8:30	7,31	29,2	213,452

3	9:00	7,55	30,2	228,01
4	9:30	7,45	29,8	222,01
5	10:00	7,86	31,5	247,59
6	10:30	8,75	32,3	282,625
7	11:00	8,25	32,9	271,425
8	11:30	8,30	33,2	275,56
9	12:00	8,45	33,8	285,61
10	12:30	9,25	36,1	333,925
11	13:00	8,95	35,8	320,41
12	13:30	8,90	35,6	316,84
13	14:00	8,57	34,3	293,951
14	14:30	8,50	34,0	289
15	15:00	8,37	33,5	280,395
TOTAL		123,3	489,5	4047,535

Tabel 4.3 merupakan hasil dari pengujian untuk mengetahui perbandingan arus, tegangan dan daya yang dihasilkan oleh panel surya. Hasil dari table 4.1 diambil dari hari pertama pada tanggal 6 Desember 2020 dan mulai dari pukul 08.00 WIB sampai dengan 15.00 WIB. Untuk melihat hasil dari perbandingan arus, tegangan dan daya dapat dilihat pada gambar grafik berikut:

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan terdapat beberapa kesimpulan antara lain sebagai berikut:

1. Hasil nilai COP yang didapat oleh lemari pembeku dengan menggunakan tenaga baterai adalah 2,22860.
2. Waktu yang dibutuhkan oleh lemari pembeku untuk mencapai titik beku dari suhu 25<sup>0</sup>C dengan menggunakan baterai sebagai sumber tenaga adalah 38 menit 15 detik sedangkan waktu yang dibutuhkan lemari pembeku untuk mencapai titik beku dari suhu 25<sup>0</sup>C dengan menggunakan aliran listrik PLN adalah 29 menit 36 detik.
3. Dalam penggunaan panel surya dengan kapasitas 410 WP dan Baterai 150 Ah perlunya MPPT (Solar Charger Controller) untuk mencegah pengisian yang berlebihan pada baterai, sehingga baterai tetap aman dan awet.
4. Dari data tabel didapat tegangan tertinggi adalah 36,1 Volt dan Arus tertinggi 9,25 Ampere serta Daya tertinggi 333,925 Watt pada kondisi cuaca cerah.
5. Dalam pengujian ini lemari pembeku dijalankan dengan menggunakan baterai berkapasitas 150 Ah yang sebelumnya diisi oleh MPPT melalui Panel Surya berkapasitas 410 WP.

#### 5.2 Saran

1. Pada saat penelitian harus lebih teliti pada saat pengambilan data agar hasilnya lebih optimal.
2. Harus memperhatikan posisi dan letak dari pemasangan panel surya.
3. Pada saat pengujian pastikan cuaca dalam keadaan cerah agar penyerapan yang dihasilkan oleh panel surya lebih optimal.

## DAFTAR PUSTAKA

- Barun, A dan Rukmana, E. (2010) *Analisis Performance Pada Heat Exchanger Jenis Sheel And Tube Tipe Bem Dengan Menggnakan Perubahan Laju Aliran Massa Fluida Panas (Mh)*. Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- Barita. (2018) “Pengaruh Kinerja Kompresor Pada Mesin Pendingin Dengan Penggunaan Variasi Bahan Refrigeran” Jurnal, Medan : Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Medan.
- Dzulfikar Dafi, Wisnu Broto. (2016) *Optimalisasi Pemanfaatan Energi Listrik Tenaga Surya Skala Rumah Tangga*. E-Journal SNF2016, Jakarta: Jurusan Teknik Elektro, Universitas Pancasila Jakarta.
- Hamid, A dan Erwahyudi, (2017) *Perancangan Alat Simulasi Air Conditioner Split Wall ½ Pk Terhadap Beban Panas Di Dalam Ruangan*. Batam : Program Studi Teknik Mesin, Universitas Batam
- Handoyo, A dan Lukito, A. (2002) *Analisis Pengaruh Pipa Kapiler Yang Dililitkan Pada Line Suction Terhadap Performasi Mesin Pendingin*. Program Studi Teknik Mesin, Universitas Kristen Petra.
- Holman, Jack P, (Terj. Jasjfi, E). 1993 “*Perpindahan Panas*, Cetakan 3” Jakarta, Erlangga.
- Irawan Aldi T, (2019) “*Analisa Numerik Perpindahan Panas Pada ACWH Dengan Pipa Kapiler Sebagai Penghantar Panas*” Laporan Tugas Akhir. Medan : Program Studi Teknik Mesin, UMSU.
- Isyanto, H. (2017) “Pendingin Untuk Peningkatan Daya Keluaran Panel Surya” Jurnal, Jakarta : Jurusan Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah jakarta.
- Kuswary, R. (2019) *Simulasi Numerik Kerugian Energi Pada Belokan Pipa*. Laporan Tugas Akhir. Medan : Program Studi Teknik Mesin, UMSU.
- Mitrakusuma, W.H. (2019) “Pengaruh Frekuensi Buka Tutup Pintu Terhadap Kinerja Kulkas” Jurnal, Bandung : Jurusan Teknik Refrigasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung.
- Purwoto, B. H. (2018) “Efisiensi Penggunaan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Alternatif” Jurnal, Surakarta : Fakultas Teknik, Universitas Surakarta.

- Ramadani R. (2019) “*Studi Experimental Potensi Penyerapan Energi Matahari Sistem Fotovoltaik Di Wilayah Pegunungan Sibolangit*”. Laporan Tugas Akhir. Medan : Program Studi Teknik Mesin, UMSU.
- Rusman. (2015) *Pengaruh Variasi Beban Terhadap Efisiensi Solar Cell Dengan Kapasitas 50 WP*. Jurnal, Lampung: Jurusan Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Metro.
- Saputra, D. P. (2019) “Perencanaan Sistem Instrumentasi Pada Rancang Bangun Trainer Perpindahan Panas Pada Kulkas” Jurnal, Surabaya : Jurusan Teknik Mesin, Universitas Negeri Surabaya.
- Siregar, C. A. dan Lubis, S. (2018) “Pengaruh Jarak Kaca Terhadap Efisiensi Alat Destilasi Air Laut Yang Memanfaatkan Energi Matahari Di Kota Medan”. Jurnal, Medan : Jurusan Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Subekti Yuliananda, Gede Sarya, RA Retno Hastijanti. (2015) *Pengaruh Perubahan Intensitas Matahari Terhadap Daya Keluaran Panel Surya* Jurnal Pengabdian LPPM, Surabaya: Fakultas Teknik, UNTAG.
- Siregar Ramadhan Halid, Sara Ira Devi, Julisman Andi. (2017) *Prototipe Pemanfaatan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Pada Sistem Otomasi Atap Stadion Bola*. Jurnal, Banda Aceh: Jurusan Teknik Elektro, Universitas Syiah kuala Banda Aceh.



**DAFTAR HADIR SEMINAR  
TUGAS AKHIR TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK - UMSU  
TAHUN AKADEMIK 2020 - 2021**

Peserta seminar

Nama : Muhammad Urip Maulana  
 NPM : 1607230046  
 Judul Tugas Akhir : Analisa Performance Dari lemari Pembeku Terhadap beban Pendingin Dengan Menggunakan Solar Cell.

**DAFTAR HADIR**

**TANDA TANGAN**

Pembimbing - I : Sudirman Lubis, S.T.M.T : .....  
 Pembimbing - I : ~~.....~~ : .....  
 Pembimbing - II : Ahmad Marabdi Srg, S.T.M.T : .....

No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	1607230041	KHAJAH PRIAWATI	<i>[Signature]</i>
2	1607230112	DAUDI JABR HADI	<i>[Signature]</i>
3	1607230001	HUSNI MUBAROK	<i>[Signature]</i>
4	1607230140	MUHAMMAD FACHRI	<i>[Signature]</i>
5	1607230081	M. ALFA APRIAN UMAR	<i>[Signature]</i>
6			
7			
8			
9			
10			

Medan, 02 Sya'ban 1442 H  
 16 Maret 2021 M

Ketua Prodi. T. Mesin



*[Signature]*  
 S.T.M.T

DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

NAMA : Muhammad Urip Maulana  
NPM : 1607230046  
Judul T.Akhir : Analisa Performance Dari lemari Pembeku Terhadap beban Pendingin  
Dengan Menggunakan Solar Cell.

Dosen Pembimbing - I : Sudirman Lubis.S.T.M.T  
Dosen Pembanding - I : DR.Rakhmad Arief Srg.M.Eng  
Dosen Pembanding - II : Ahmad Marabdi Srg.S.T.M.T

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana ( collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

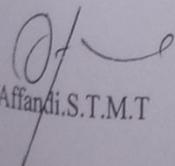
lihat buku rgs mesin  
.....  
.....  
.....

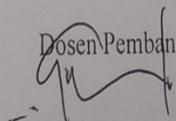
3. Harus mengikuti seminar kembali  
Perbaikan :

.....  
.....  
.....

Medan 02 Sya'ban 1442H  
16 Maret 2021M

Diketahui :  
Ketua Prodi. T.Mesin

  
Affandi.S.T.M.T

Dosen Pembanding- I  
  
Chendia A Siregar  
~~DR. Rakhmad Arief Srg.M.Eng~~

DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

NAMA : Muhammad Urip Maulana  
NPM : 1607230046  
Judul T.Akhir : Analisa Performance Dari lemari Pembeku Terhadap beban Pendingin Dengan Menggunakan Solar Cell.

Dosen Pembimbing - I : Sudirman Lubis.S.T.M.T  
Dosen Pembimbing - I : DR.Rakhmad Arief Srg.M.Eng  
Dosen Pembimbing - II : Ahmad Marabdi Srg.S.T.M.T

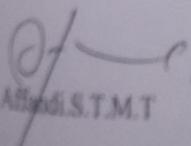
KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana ( collogium)  
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :
1. perbaiki dokumentasi pengambilan data PLM.
  2. perbaiki dokumentasi gambar dan data pengambilan data.
  3. Dibuat lapisan skripsi.
3. Harus mengikuti seminar kembali

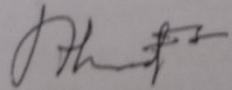
Perbaikan :

Medan 02 Sya'ban 1442H  
16 Maret 2021M

Diketahui :  
Ketua Prodi. T.Mesin

  
Affandi.S.T.M.T

Dosen Pembimbing- II

  
Ahmad Marabdi Srg.S.T.M.T



UMSU

Agar surat ini agar disebutkan  
dan sebagainya

MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN  
**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**  
**FAKULTAS TEKNIK**

Jalan Kapten Mochtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - EXT. 12  
Website: <http://fatek.umsu.ac.id> E-mail: [fatek@umsu.ac.id](mailto:fatek@umsu.ac.id)

**PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN  
DOSEN PEMBIMBING**

Nomor :1732/II/AU/UMSU-07/F/2020

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas  
Nama Ketua Program Studi Teknik Mesin pada Tanggal 16 November 2020 ini Menetapkan :

Nama : MUHAMMAD URIP MAULANA  
Program Study : TEKNIK Mesin  
Semester : IX ( Sembilan )  
Npm : 1607230046  
Judul Tuga Akhir : ANALISA PERFORMANCE DARI LEMARI PEMBEKU  
TERHADAP BEBAN **PENDINGIN** DENGAN MENGGUNAKAN  
SOLAR CELL  
Pembimbing 1 : SUDIRMAN LUBIS ST. MT

Dengan Demikian diizinkan untuk Menulis tugas akhir dengan ketentuan :

1. Bila judul Tugas Akhir kurang sesuai dapat diganti oleh Dosen Pembimbing setelah mendapat persetujuan dari Program Studi Teknik Mesin
2. Penulisan Tugas Akhir Dinyatakan batal setelah 1 ( satu ) tahun tanggal ditetapkan

Demikian surat penunjukan dosen Pembimbing dan menetapkan Judul Tugas Akhir ini dibuat  
untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya.

Ditetapkan di Medan pada Tanggal.

Medan 30 Rabiul Awal 1442 H

16 November 2020 M



Dekan

Munawar Alfansury Siregar, ST.,MT

NIDN: 0101017202

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

“ANALISA PERFORMANCE DARI LEMARI PEMBEKU TERHADAP BEBAN PENDINGIN DENGAN MENGGUNAKAN SOLAR CELL”

Nama : Muhammad Urip Maulana  
NPM : 1607230046

Dosen Pembimbing : Sudirman Lubis, S.T., M.T

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1.	KAMIS / 5-11-2020	Perbaiki Kata Pengantar	Sh
2.	JUMAT / 20-11-2020	Perbaiki Spasi Daftar Gambar	Sh
3.	SENIN / 14-12-2020	Perbaiki Tabel BAB 3	Sh
4.	RABU / 16-12-2020	Perbaiki Gambar BAB 3.	Sh
5.	SENIN / 4-01-2021	Perbaiki Jarak Margin.	Sh
6.	RABU / 6-01-2021	Tambahkan Satuan GRAFIK.	Sh
7.	JUMAT / 8-01-2021	Narasikan Kesimpulan	Sh
8.	KAMIS / 21-01-2021	ACE Seminar Hasil	Sh

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



### A. DATA PRIBADI

Nama : Muhammad Urip Maulana  
Jenis Kelamin : Laki-Laki  
Tempat, Tanggal Lahir : Belawan, 17 Juli 1998  
Alamat : JL. Cileduk No.8  
Agama : Islam  
E-mail : [uripmaulana345@gmail.com](mailto:uripmaulana345@gmail.com)  
No.Hp : 082272244404

### B. RIWAYAT PENDIDIKAN

1. SDN 065004 Tahun 2004-2010
2. SMP N 38 Medan Tahun 2010-2013
3. SMA Brigjend Katamso II Tahun 2013-2016
4. Universitas Muhammdiyah Sumatera Utara Tahun 2016-2021