

RANCANG BANGUN SOLAR COLD STORAGE DENGAN KAPASITAS 10 KILOGRAM

Raidinata A. Sipayung^{1*}, Himsar Ambarita², Taufiq B. Nur³, Andianto Pintoro⁴
^{1,2,3,4}Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara
Email: raidinatasipayung@gmail.com

Abstract

Refrigeration is one of the processes of cooling an object until it reaches a temperature below the ambient temperature, this process is very suitable for cooling an item to maintain temperature. Therefore, researchers try to make Solar Cold Storage, which is a cooling technique with the help of photovoltaic as a resource, the Solar Cold Storage is very suitable to be applied in Indonesia, because Indonesia is a tropical country with enormous solar energy potential plus Indonesia is an island nation, which most of the livelihood of the community as fishermen, this tool is very suitable for use because it can maintain temperatures with a long time and easy to carry while at sea, and is also very suitable for use dipuskemas far from urban areas that can maintain the temperature of the drugs to be distributed villages that really need medicine. This tool consists of photovoltaic as a power source, 1 compressor as a tool to run Solar Cold Storage and 1 box as a storage container that can provide temperatures ranging from -5 °C with a cooling load of 145.35 Watts and a coefficient of performance (COP) of 3.82.

Keywords: Refrigeration, Photovoltaics, Solar Cold Storage, Cooling Load, COP

Abstrak

Refrigerasi merupakan salah satu proses pendinginan suatu benda hingga mencapai pada temperatur berada di bawah temperatur lingkungan, proses ini sangat cocok untuk mendinginkan suatu barang untuk menjaga suhu. Oleh karena itu, peneliti mencoba membuat Solar Cold Storage, yaitu teknik mendinginkan dengan bantuan fotovoltaik sebagai sumber daya, Solar Cold Storage tersebut sangat cocok diterapkan di Indonesia, karena negara Indonesia merupakan negara tropis dengan potensi energi surya yang sangat besar ditambah negara Indonesia merupakan negara kepulauan, yang sebagian besar mata pencarian masyarakat sebagai nelayan, alat ini sangat cocok digunakan dikarenakan dapat menjaga suhu dengan waktu yang lama dan mudah untuk dibawa saat melaut, dan juga sangat cocok digunakan dipuskemas yang jauh dari perkotaan yang dapat menjaga suhu obat-obatan yang akan disalurkan kedesa-desa yang sangat membutuhkan obat-obatan. Alat ini terdiri dari photovoltaik sebagai sumber daya, 1 kompresor sebagai alat untuk menjalankan Solar Cold Storage dan 1 buah box sebagai wadah penyimpanan yang dapat memberikan suhu berkisar -5°C dengan beban pendingin 145.35 Watt dan koefisien performansi (COP) sebesar 3.82.

Kata Kunci: Refrigerasi, Fotovoltaik, Solar Cold Storage, Beban Pendingin, COP

I. PENDAHULUAN

Dikehidupan sehari-hari mesin pendingin sangat diperlukan di berbagai tempat, salah satunya yaitu kulkas, kulkas merupakan alat yang sangat penting bagi kehidupan manusia, kulkas pada umum ini dapat kita lihat diberbagai tempat sebagai alat penunjang kebutuhan sehari-hari, contohnya seperti kebutuhan untuk rumah tangga, rumah sakit, tempat perbelanjaan

hingga perusahaan manufaktur. Tanpa kulkas benda yang akan dibiarkan ditempat terbuka akan lebih cepat mengalami pembusukan. Kulkas biasanya digunakan untuk proses pendinginan, tergantung dari benda yang hendak didinginkan, mulai dari makanan, sayuran, hingga obat-obatan dengan menjaga suhu tetap dingin sesuai dengan beban pendinginan yang didinginkan.

Sama seperti nelayan yang melaut yang sangat membutuhkan tempat pendingin agar hasil tangkapan dapat bertahan lama sebelum sampai dipantai dan juga dibidang kedokteran, harus membutuhkan tempat pendingin yang mudah dibawa bawa untuk penyimpanan obat yang akan dikirim kekampung terpencil ataupun disimpan di puskesmas yang jauh dari kawasan perkotaan.

Perkembangan teknologi di bidang refrigerasi dan pengkondisian udara mengalami kemajuan dengan pesat seiring berkembangnya zaman. Teknologi refrigerasi memberikan banyak keuntungan bagi manusia. Salah satu penggunaan sistem refrigerasi adalah manusia untuk industri penyimpanan dan pendistribusian produk diagnostik. Sehingga produk diagnostik yang disimpan dengan sistem refrigerasi tersebut dapat terjaga kualitas dan kesegarannya sampai waktu yang lama dan saat diperlukan untuk didistribusikan kepada konsumen.

Perkembangan penggunaan Solar Cold Storage sangat dibutuhkan karena lebih kecil dan harga yang lebih murah yang dapat menyimpan beberapa kebutuhan seperti ikan, daging, obat-obatan dan lain.

II. TEORI DASAR

2.1 Refrigerasi

Refrigerasi adalah proses mendinginkan suatu medium sampai temperaturnya berada dibawah temperatur lingkungan. Karena fungsinya mendinginkan sampai lebih dingin dari lingkungan, maka proses refrigrasi hanya dapat dilakukan dengan siklus Termodinamik. Siklus yang digunakan untuk melakukan refrigerasi ini disebut siklus refrigerasi. Siklus ini merupakan salah satu siklus termodinamik yang paling banyak penggunaannya, terutama pada daerah yang iklimnya tropis seperti di Indonesia.

Beberapa aplikasi siklus refrigerasi ini adalah untuk pengkondisian udara (*air conditioning*, atau AC), pembekuan makanan (ikan, daging, dll),

2.1.1 Prinsip Dasar Refrigerasi

Secara umum, prinsip refrigerasi adalah proses penyerapan panas dari dalam ruangan yang tertutup kedap lalu memindahkan serta mengenyahkan panas keluar dari ruangan tersebut. Proses merefrigerasi ruangan tersebut perlu tenaga atau energi, energi yang paling cocok untuk refrigerasi adalah tenaga listrik untuk menggerakkan kompresor unit refrigerasi

Refrigerasi memanfaatkan sifat – sifat panas (thermal) dari refrigeran selagi bahan itu berubah keadaan dari bentuk cair menjadi gas dan sebaliknya dari gas menjadi cair. Proses yang berlangsung pada sistem refrigerasi, proses yang berlangsung dari unit mesin refrigerasi yaitu penguapan, pemampatan, pengembunan, dan pemuaiian.

2.1.2 Solar Cold Storage

Solar Cold Storage merupakan suatu ruangan yang mana dikhususkan sebagai ruangan untuk menyimpan barang yang memerlukan suhu dingin dengan memanfaatkan radiasi matahari. Fungsi dari solar cold storage sendiri adalah sebagai tempat penyimpanan produk baik itu obat-obatan, ikan hasil tangkapan, serta barang-barang tertentu.

Solar Cold yang digunakan dengan beban 10 Kg dengan jangka waktu sekitar 3 jam tergantung radiasi yang diterima oleh photovoltaik dengan menggunakan 1 baterai



Gambar 2.1 Solar Cold Storage

2.2 Komponen Sistem Pendingin

Komponene dari sistem pendingin terdiri dari beberapa komponen yang dihubungkan melalui pipa-pipa tembaga yang bekerja secara langsung.[1]

Komponen-komponen sistem pendingin yang digunakan adalah sebagaiberikut :

- a. Kompresor
- b. Kondensor
- c. Katub Ekspansi
- d. Evaporator
- e. Refrijeran

2.2 Pengeringan Tenaga Surya (*Solar Dryer*)

Pengeringan adalah proses pengurangan kadar air yang relatif kecil secara terus-menerus pada suatu bahan. Metode pengeringan dengan energi matahari secara umum terbagi atas dua, yaitu pengeringan sinar matahari (*direct sun drying*), dimana produk yang akan dikeringkan langsung dijemur di bawah sinar matahari. Dan metode pengeringan surya (*solar drying*), dimana produk yang akan dikeringkan diletakkan di dalam suatu alat pengering.

Pengering tenaga surya (*solar dryer*) adalah cara pengeringan dengan memanfaatkan energi matahari menggunakan kolektor sebagai penyerap panas yang menjadikan penggunaan energi matahari yang lebih maksimal.

2.3 Energi Surya

Salah satu energi terbarukan yang melimpah ketersediaannya yaitu energi radiasi surya. Sekitar setengah energi matahari masuk mencapai permukaan bumi. Jumlah energi surya yang mencapai permukaan bumi sangat besar. Bila dibandingkan, energi surya dua kali lebih banyak daripada semua sumber non-terbarukan seperti batu bara, minyak, gas alam, dll.

Indonesia adalah salah satu negara yang memiliki potensi energi radiasi surya yang sangat besar. Indonesia terletak di daerah khatulistiwa yang menyebabkan Indonesia beriklim tropis dan menerima radiasi surya yang hampir sama sepanjang tahunnya. Potensi energi surya rata-rata nasional adalah 16 MJ/hari. Potensi energi ini dapat digunakan untuk sebagai sumber energi termal maupun sebagai sumber energi listrik dengan menggunakan sel photovoltaik.

Sel photovoltaik adalah sector teknologi dan penelitian yang berhubungan dengan aplikasi panel surya untuk energi dengan mengubah sinarmatahari menjadi energi listrik. Di negara maju saat ini giat meneliti pemanfaatan energi tersebut untuk kepentingan manusia, misalnya pemakaian sel fotovoltaik yang menghasilkan energi listrik yang dapat digunakan untuk penggerak mobil, satelit, hubungan komunikasi ataupun disimpan di dalam baterai.

2.4 Prinsip Kerja Cold Storage

Kompresor yang ada pada sistem pendingin digunakan sebagai alat untuk memampatkan fluida (refrigeran), jadi refrigeran yang masuk ke dalam kompresor dialirkan ke kondensor yang kemudian dimampatkan di kondensor. Di bagian kondensor ini refrigeran yang dimampatkan akan berubah dari fase uap menjadi fase cair, maka refrigeran mengeluarkan kalor yaitu kalor penguapan yang terkandung di dalam refrigeran. Adapun besarnya kalor yang dilepaskan oleh kondensor adalah jumlah dari energi kompresor yang diperlukan dan energi kalor yang diambil evaporator dari substansi yang akan didinginkan. Pada kondensor tekanan refrigeran yang berada dalam pipa-pipa kondensor relatif jauh lebih tinggi dibandingkan dengan tekanan refrigeran yang berada pada pipa-pipa evaporator.

Prinsip solar cold storage melibatkan siklus refrigerasi, yakni siklus kompresi uap, dimana refrigeran dimampatkan menggunakan kompresor sampai tekanan tertentu dan suhunya naik, kemudian didinginkan pada kondensor dengan menghembuskan udara pada kondensor kemudian tekanannya menurun setelah melalui katub ekspansi dan menuju evaporator dan kembali menuju kompresor, proses tersebut berlangsung berulang-ulang.

Dalam hal ini listrik yang dihasilkan melalui fotovoltaic diteruskan ke solar controller sebagai alat menstabilkan arus yang masuk dari fotovoltaic dan inverter sebagai pengubah arus ac kompresor menjadi dc.

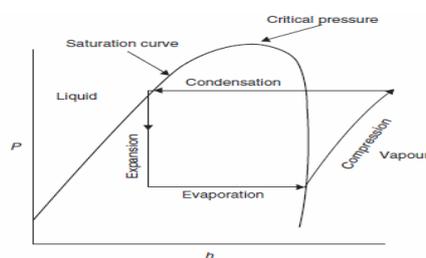
2.5 Termodinamika Sistem Refrigerasi

Siklus refrigerasi adalah gabungan beberapa komponenn yang membentuk siklus termodinamika, dan bertujuan memindahkan panas dari medium yang lebih dingin ke lingkungan yang relative lebih panas. Siklus termodinamika yang umum digunakan sebagai berikut:

1. Siklus kompresi uap (*vapor compression cycle*)
2. Siklus gas/ udara (*air or gas expansion cycle*)
3. Siklus absorpsi/SA (*absorption cycle*)

2.6 Siklus Refrigerasi Kompresi Uap

Dari sekian banyak jenis-jenis sistem refrigerasi, yang paling umum digunakan adalah refrigerasi dengan kompresi uap. Komponen utama dari sebuah siklus kompresi uap adalah kompresor, evaporator, dan katup ekspansi. Berikut adalah sistem konvensional siklus kompresi uap.



Gambar 2.2 Diagram P – h Siklus Kompresi Uap

Proses-proses yang terjadi pada siklus kompresi uap seperti pada gambar diatas adalah sebagai berikut:

- a. Proses kompresi (1-2)

Proses ini dilakukan oleh kompresor dan berlangsung secara isentropik. Kondisi awal refrigeran pada saat masuk kompresor adalah uap jenuh bertekanan rendah, setelah mengalami

kompresi refrigerant akan menjadi uap bertekanan tinggi. Karena proses ini berlangsung secara isentropik, maka temperatur keluar kompresor pun meningkat. Besarnya kerja kompresi per satuan massa refrijeran dapat dihitung dengan menggunakan persamaan yang di ajukan oleh Arora

$$w = h_2 - h_1 \quad (2.1)$$

b. Proses kondensasi (2-3)

Proses ini berlangsung di dalam kondensor. Refrigerant yang bertekanan tinggi dan bertemperatur tinggi yang berasal dari kompresor akan membuang kalor sehingga fasanya berubah jadi cair. Hal ini berarti bahwa di dalam kondensor terjadi pertukaran kaor antara refrigerant dengan lingkungannya (udara), sehingga panas berpindah dari refrigerant ke udara pendingin yang menyebabkan uap refrigerant mengembun menjadi cair. Besar panas per satuan massa refrijeran yang dilepaskan di kondensor dapat dihitung dengan persamaan yang diajukan oleh Arora

$$q_k = h_2 - h_3 \quad (2.2)$$

c. Proses ekspansi (3-4)

Proses ekspansi ini berlangsung secara isoentalpi. Hal ini berarti tidak terjadi perubahan entalpi tetapi terjadi *drop* tekanan dan penurunan temperatur. Dapat dituliskan persamaan yang di ajukan oleh Arora

$$h_3 = h_4 \quad (2.3)$$

Proses penurunan tekanan terjadi pada katub ekspansi yang berbentuk pipa kapiler atau *orifice* yang berfungsi untuk mengatur laju aliran refrigerant dan menurunkan tekanan.

d. Proses evaporasi (4-1)

Proses ini berlangsung secara isobar isothermal (tekanan konstan, temperatur konstan) di dalam evaporator. Panas dari dalam ruangan akan diserap oleh cairan refrigeran yang bertekanan rendah sehingga refrigerant berubah fasa menjadi uap bertekanan rendah. Kondisi refrigerant saat masuk evaporator sebenarnya adalah campuran cair dan uap.

Besarnya kalor yang diserap oleh evaporator dapat dihitung dengan persamaan yang diajukan oleh Arora.

$$q_o = h_1 - h_4 \quad (2.4)$$

selanjutnya refrigerant kembali masuk ke dalam kompresor dan bersirkulasi lagi. Begitu seterusnya sampai kondisi yang diinginkan tercapai. Untuk menentukan harga entalpi pada masing-masing titik dapat dilihat dari tabel sifat refrigerant.

2.7 Beban Pendingin

Beban pendinginan yang digunakan pada penelitian ini adalah air sebanyak 10 Kg yang didinginkan dari suhu awal air 30°C sampai suhu akhir air -5 C dengan lama pendinginan selama 3 jam, dimana air di tempatkan pada *box water* dengan dimensinya 50 cm x 39 cm x 30 cm. Untuk menghitung beban pendinginan dapat menggunakan persamaan yang diajukan oleh Arora

$$Q_{air} = \dot{m} \times C \times \Delta t \quad (2.5)$$

Dimana:

Q = Beban pendinginan

\dot{m} = Laju aliran massa ($\rho \times V$)

$\rho_{air} = 998 \text{ kg/m}^3$

C = Panas jenis air (4,1868 kJ/kg)

Δt = Perbedaan suhu

Mencari Nilai Q yaitu $Q_{air} - Q_{box}$

$$Q_{box} = \frac{A (\Delta t)}{\frac{1}{h_a} + \frac{X_1}{K_1}} \quad (2.6)$$

Dimana:

A = Luas Box

K_1 = Konduktivitas thermal (0.033)

h_a = Konveksi udara

2.8 Siklus Kompresi Uap Aktual

Pada kenyataannya siklus kompresi uap mengalami penyimpangan dari kompresi uap standar, seperti ditunjukkan pada gambar 2.11 Perbedaan penting siklus kompresi siklus uap aktual dari siklus standar adalah :

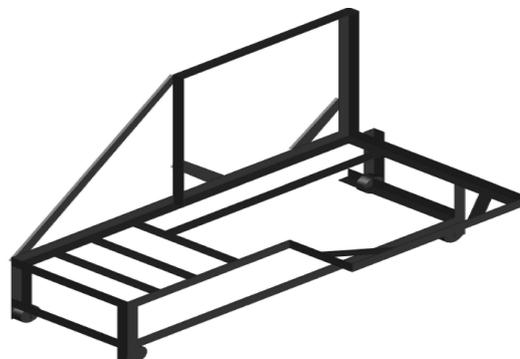
1. Terjadi penurunan tekanan di sepanjang pipa kondensor dan evaporator.
2. Adanya proses dibawah dingin (*sub cooling*) cairan yang meninggalkan kondensor sebelum memasuki katup ekspansi.
3. Pendinginan lanjut uap yang meninggalkan evaporator sebelum memasuki kompresor.
4. Terjadi kenaikan entropi pada saat proses kompresi (kompresi tak isentropik).
5. Proses ekspansi berlangsung non-adiabatik.

Walaupun siklus aktual tidak sama dengan siklus standar, tetapi proses ideal dalam siklus standar sangat bermanfaat dan diperlukan untuk mempermudah analisis secara teoritik.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perancangan Solar Cold Storage

Data yang diperoleh dari hasil pengujian adalah dimensi potofoltaik, beban pendingin dan COP

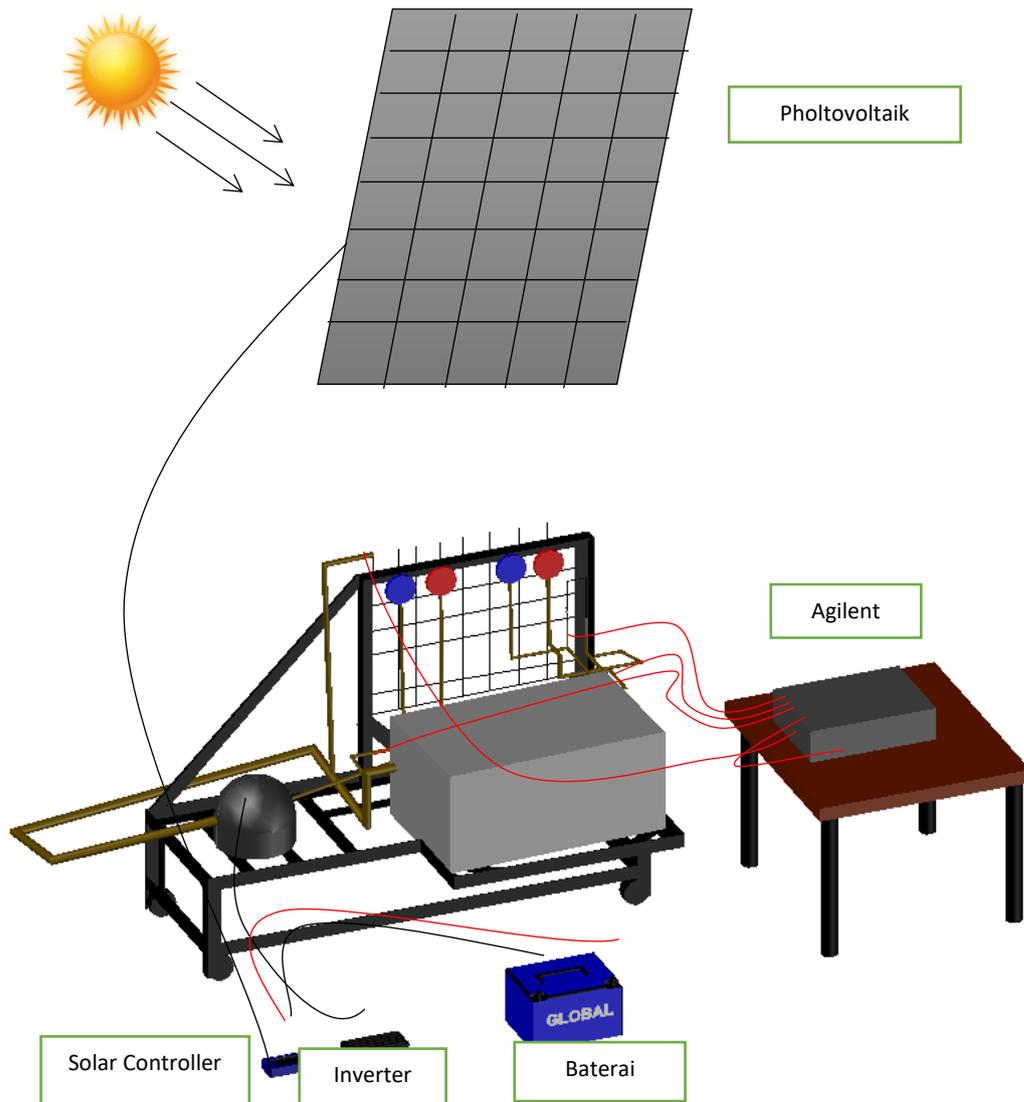


Gambar 3.1 Dudukan Solar Cold Storage

3.2 Rancang Bangun Alat

Proses langkah-langkah pengerjaan alat yang sudah di desain :

- Pembuatan rangka.
- Pemasangan pipa tembaga.
- Pengisian refrigeran
- Melakukan analisa
- Set up Experimental



Gambar 3.2 Set-Up Experimental

1. Temperatur dari T1 dan P1

2. Temperatur dari T2 dan P2
3. Tempeatur dari T3 dan P3
4. Temperatur dari T4 dan P4
5. Temperatur Suhu Lingkungan

3.3 Hasil Perancangan

Tekanan (Kpa)				Enthalpi (kJ/kg)			
P1	P2	P3	P4	h1	h2	h3	h4
243.39	1447	1447	262.36	395.9	427.9	277.4	277.4
Temperatur (°C)				Entropi (kJ/kg.K)			
T1	T2	T3	T4	s1	s2	s3	s4
-5	55	52.5	-3	1.730	1.717	1.255	0.985

1. Qair

$$Q = \dot{m} \times C \times \Delta t$$

$$Q = \{(10 \text{ L} \times 0,998 \text{ kg/dm}^3) \times 4,1868 \text{ kJ/kg} \times (30 - (-5))\} / (3600 \times 3)$$

$$= 0.135$$

$$= 135 \text{ Watt}$$

Qbox

$$Q1 = \frac{A (\Delta t)}{\frac{1}{h_a} + \frac{X_1}{K_1}}$$

$$= 2 \left[\frac{(0.39 \times 0.3)(30 - (-5))}{\frac{0.03}{0.033}} \right]$$

$$= 4.55 \text{ joule}$$

$$= 4.55 \text{ Joule} + 5.8 \text{ Joule}$$

$$= 10.35 \text{ Joule}$$

$$Q2 = \frac{A (\Delta t)}{\frac{1}{h_a} + \frac{X_1}{K_1}}$$

$$= 2 \left[\frac{(0.5 \times 0.3)(30 - (-5))}{\frac{0.03}{0.033}} \right]$$

$$= 5.8 \text{ Joule}$$

Qair + Qbox

$$= 135 + 10.35$$

$$= 145.35 \text{ Watt}$$

2. Coefficient Of Performance (COP)

$$COP = \frac{h1 - h4}{h2 - h1}$$

$$= \frac{(395.9 - 277.4) \text{ kJ/kg}}{(427.9 - 395.9) \text{ kJ/kg}}$$

$$= 3.82$$

3.4 Hasil Analisa

Tekanan (Kpa)				Enthalpi (kJ/kg)			
P1	P2	P3	P4	h1	h2	h3	h4
262.36	1191.41	1101.93	272.26	397	423.4	261.1	261.1
Temperatur (°C)				Entropi (kJ/kg.K)			
T1	T2	T3	T4	s1	s2	s3	s4
-3	46	43	-2	1.729	1.718	1.205	1.205

1. Qair

$$Q = \dot{m} \times C \times \Delta t$$

$$Q = \{(10 \text{ L} \times 0,998 \text{ kg/dm}^3) \times 4,1868 \text{ kJ/kg} \times (30 - (-3))\} / (3600 \times 3)$$

$$= 0.140$$

$$= 140 \text{ Watt}$$

Qbox

$$Q1 = \frac{A (\Delta t)}{\frac{1}{h_a} + \frac{x_1}{K1}}$$

$$= 2 \left[\frac{(0.39 \times 0.3)(30 - (-3))}{\frac{0.03}{0.033}} \right]$$

$$= 4.29 \text{ Joule}$$

$$Q2 = \frac{A (\Delta t)}{\frac{1}{h_a} + \frac{x_1}{K1}}$$

$$= 2 \left[\frac{(0.5 \times 0.3)(30 - (-3))}{\frac{0.03}{0.033}} \right]$$

$$= 5.5 \text{ Joule}$$

$$= 4.29 \text{ Joule} + 5.5 \text{ Joule}$$

$$= 9.79 \text{ Joule}$$

Qair + Qbox

$$= 140 + 9.79$$

$$= 149.79 \text{ Watt}$$

2. Coefficient Of Performance (COP)

$$COP = \frac{h1 - h4}{h2 - h1}$$

$$= \frac{(397 - 261.1) \text{ kJ/kg}}{(423.4 - 397) \text{ kJ/kg}}$$

$$= 5,1$$

3.5 Rancangan Panel

Perancangan panel surya berdasarkan intensitas matahari di Gedung Lantai 4 Magister Teknik Mesin Sumatera Utara, didapatkan berapa lempengan yang akan digunakan

Dimana : *Intensitas matahari x Efisiensi*

$$= 432 \times 0.13$$

= 56.16% *output dari 1 panel* dan efisiensi sistem = 90 %

$90\% \times 56.16 = 50.5$ ($1 \times 1 m^2$) yang dimana beban pendingin sebesar 145.35 Watt., dengan $3 \times 50.5 = 151.5$ Watt (*memenuhi*) dimana dipasaran hanya menjual 50Wp, 100 Wp, dan 250 Wp,. Dengan mencari ukuran panel 50 wp = $0,25 m^2$, 100 wp = $0,9 m^2$, 250 wp = $3,02 m^2$.

Untuk 50 Wp ($0.37m^2$), $3 / 0.25 = 12$ Panel

Untuk 100 Wp ($0.9m^2$), $3 / 0.9 = 3,3 \approx 4$ Panel

Untuk 50 Wp ($0.25m^2$), $3 / 3.02 = 0.99 \approx 1$ Panel

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang didapat dari pengujian ini adalah :

Dari penelitian ini di dapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Perancangan panel surya dan hasil pengujian yang dilakukan yaitu menggunakan 250 Wp menggunakan 1 Photovoltaik menggunakan 100 Wp menggunakan 4 Photovoltaik dan bila menggunakan 50 Wp menggunakan 12 photovoltaik
2. Beban pendingin yang dirancang yang harus dibutuhkan sebesar 145.35 watt dan dengan hasil pengujian yaitu 149.79 watt.

4.2 Saran

Adapun saran untuk perbaikan pengujian ini adalah :

1. Sebaiknya pada penelitian selanjutnya dilakukan pengujian sekaligus yang standar dan yang modifikasi supaya hasil yang di dapat lebih akurat.
2. Disarankan agar memlakukan pengujian dengan melihat kabari BMKG terlebih dahulu, supaya photovoltaik dapat menyerap radiasi secara maksimal

REFERENSI

- Ambarita, Himsar. 2011a. *Energi Surya*. Medan: Departemen Teknik Mesin FT USU.
- Ambarita, H. "*Teknik Pendingin dan Pengkondisian Udara*". Medan Althouse, A.D. Turnquist, Miller, R. Miller, M.R. 2006. "*Air Conditioning and Refrigeration*". New York : McGraw-Hill.(hal194)
- Hundy, G.F. Trott, A.R. dan Welch, T.C. 2008. "*Refrigeration and Air Conditioning*". (hal 103)
- Whitman, Bill. dkk. 2000. "*Refrigeration and Air Conditioning Technology*". Delmar : Cengage Learning.(hal484)
- Whitman, Bill. dkk. 2000. "*Refrigeration and Air Conditioning Technology*". Delmar : Cengage Learning.(hal402)
- Miller, R. Miller, M.R. 2006. "*Air Conditioning and Refrigeration*". New York : McGraw-Hill.(hal276)
- Miller, R. Miller, M.R. 2006. "*Air Conditioning and Refrigeration*". New York : Ambarita, H. "*Teknik Pendingin dan Pengkondisian Udara*". Medan