

PERANCANGAN *COLD STORAGE* PORTABEL KAPASITAS 10 TON MENGGUNAKAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA

Razul Harfi⁽¹⁾, Budi Noviandi Hadi⁽²⁾

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri,
Institut Sains dan Teknologi Nasional
Jl. Moh Kahfi II, Jagakarsa, Jakarta 12640, Indonesia
E-mail : razul@istn.ac.id

ABSTRAK

Adanya kendala pasokan listrik yang tidak stabil untuk mendukung operasional *cold storage*, dibutuhkan sistem *cold storage* yang menggunakan listrik sistem *hybrid* dari Perusahaan Listrik Negara (PLN) dan tenaga terbarukan sebagai alternatif pasokan listriknya seperti Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Dan untuk menghindari kurangnya tingkat pemamfaatan oleh nelayan, maka dibutuhkan *cold storage* yang portabel atau *cold storage* dapat dipindah-pindahkan dengan mudah dan dapat dibongkar untuk memudahkan transportasi ke daerah lain. Berdasarkan data - data dan literasi yang didapatkan, dilakukan perancangan *cold storage* portabel kapasitas 10 ton menggunakan pembangkit listrik tenaga surya dengan beban pendinginan 4,2 kW dan kapasitas PLTS sistem *hybrid* 5 kW

Kata kunci : *cold storage*, PLTS *hybrid*, portabel, beban pendinginan

ABSTRACT

Due to unstable electricity supply constraints to support cold storage operations, a cold storage system is needed that uses hybrid system electricity from the State Electricity Company and renewable energy as an alternative to electricity supply such as Solar Power Plants. And to avoid underutilization by fishermen, portable cold storage or cold storage is needed that can be moved around easily and can be dismantled for easy transportation to other areas. Based on the data and literacy obtained, it is necessary to design portable cold storage with a capacity of 10 tons using a solar power plant with a cooling load of 4.2 kW and a hybrid system for a solar power plant with a capacity of 5 kW

Key words : cold storage, solar power plant hybrid, portable, cooling load

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia. Terentang dari Sabang hingga Merauke, Indonesia memiliki 17.499 pulau dengan luas total wilayah Indonesia sekitar 7,81 juta km². Dari total luas wilayah tersebut, 3,25 juta km² adalah lautan dan 2,55 juta km² adalah zona ekonomi eksklusif.

Dalam pembangunan unit-unit pengolahan kecil terutama di pulau-pulau kecil terkendala dengan pasokan listrik yang tidak stabil untuk mendukung operasional *cold storage*, sehingga dibutuhkan sistem *cold storage* yang menggunakan listrik dari Perusahaan Listrik Negara (PLN) dan tenaga terbarukan sebagai alternatif pasokan listriknya

seperti Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).

Masalah pemamfaatan oleh kelompok-kelompok usaha / nelayan pun masih menjadi permasalahan, untuk menghindari kurangnya tingkat pemamfaatan, maka dibutuhkan *cold storage* yang portabel dengan arti tidak permanen disatu tempat tetapi dapat dipindahkan kelokasi lain yang tingkat pemamfaatannya lebih baik atau *cold storage* dapat dipindah-pindahkan dengan mudah disesuaikan dengan kondisi tangkapan ikan di suatu daerah.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Cold Storage

Diterjemahkan dari *American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE) Terminology*, *cold storage* adalah teknologi atau sistem yang digunakan dalam proses pengawetan bahan yang mudah rusak dengan sistem pendinginan yang biasanya beroperasi di bawah 45°F (7°C).

Berdasarkan mobilitasnya *cold storage* dapat dibagi menjadi :

1. Cold Storage Statis

Cold storage yang letaknya tetap, tidak bisa dipindah ke lokasi lain seperti terlihat pada gambar 2.1



Gambar 2. 1 *Cold Storage* Statis (Sumber: Foto KKP)

2. Cold Storage Portabel

Cold storage yang masih memungkinkan untuk dipindahkan ke tempat lain, Dengan cara bongkar pasang maupun menggunakan alat angkut seperti terlihat pada gambar 2.2

ATLASCOOL



Gambar 2. 2 *Cold Storage* Portabel (Sumber: www.atlascoldroom.com)

3. Mobile Cold Storage

Cold storage yang menggunakan roda sebagai alat untuk berpindah, sehingga

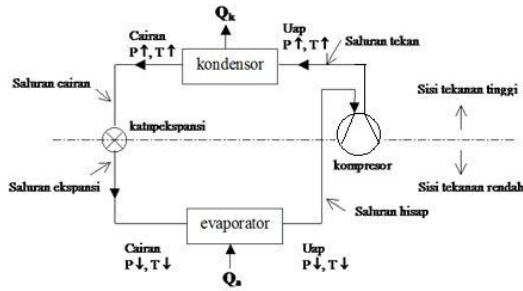
dapat dengan mudah dipindahkan ke lokasi lain setiap saat. Seperti pada gambar 2. 3



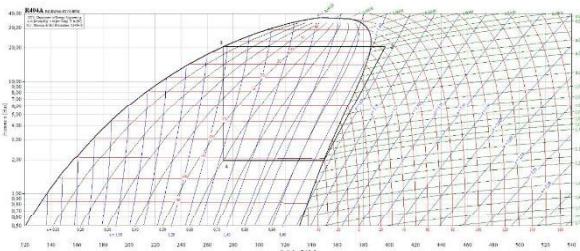
Gambar 2. 3 *Mobile Cold Storage* (sumber: www.bobscoldstorage.com)

2.2 Sistem Kompresi Uap

Sistem ini berawal dari kompresor yang bekerja menghasilkan refrigeran bertekanan dan bertemperatur tinggi sehingga refrigeran meninggalkan kompresor berupa uap kemudian memasuki Kondenser. Temperatur uap refrigeran tersebut lebih tinggi dari temperatur udara lingkungan atau media pendingin biasanya pada tata udara sederhana berupa udara lingkungan atau air sehingga kalor akan dipindahkan dari refrigeran dari Kondenser ke media pendingin. Akibat pembuangan kalor tersebut, seluruh refrigeran akan mengembun (berubah fasa dari uap menjadi cair) di katup ekspansi, tekanannya diturunkan sehingga refrigeran berfasa campuran antara uap dan cairan dengan mayoritas dalam keadaan cairan. Kemudian refrigeran memasuki evaporator untuk menyerap kalor dari benda atau udara ruang. Sebagai akibat perpindahan panas tersebut refrigeran akan menguap dan pada akhir evaporator atau pada inlet kompresor, maka refrigeran akan menguap seluruhnya kemudian akan membuat sebuah siklus atau yang disebut siklus sistem refrigerasi, seperti yang terlihat di diagram sistem refrigerasi kompresi uap yang terlihat pada Gambar 2.4, dan siklus yang terjadi pada diagram p-h terlihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 4 Diagram Sistem Kompresi Uap Sederhana



Gambar 2. 5 Diagram P-h Siklus Kompresi Uap Sederhana

- ◆ 1 – 2: Proses Kompresi
- ◆ 2 – 3: Proses Kondensasi
- ◆ 3 – 4: Proses Ekspansi
- ◆ 4 – 1: Proses Evaporasi

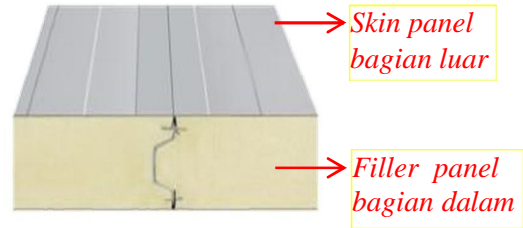
2.3 Komponen Utama Sistem Refrigerasi Kompresi Uap

Sistem refrigerasi yang sering digunakan pada umumnya adalah sistem kompresi uap. Sistem refrigerasi ini memiliki lima komponen utama, antara lain:

1. Kompresor
2. Kondenser
3. Katup Ekspansi
4. Evaporator
5. Refrigeran

2.4 Panel Insulasi/ Insulated Panel

Panel insulasi yang adalah jenis *pre fabricated panel/Prefab Panel* (panel yang dibuat di pabrik). *Prefab Panel* ini berbentuk *sandwich panel* (panel berlapis) dimana lapisan dalam (*Filler*) bersifat sebagai insulator, terbuat dari material yang mempunyai nilai hambat panas yang baik, sedangkan lapisan luarnya (*skin panel*) terbuat dari material yang mempunyai daya tahan terhadap karat dan kekuatan yang cukup sebagai struktur bangunan.



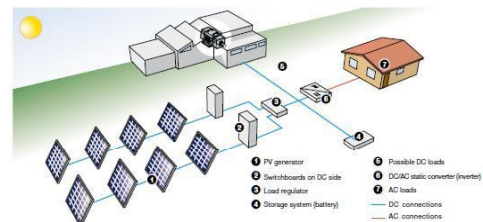
Gambar 2. 6 Panel Insulasi (Sumber: www.starrpanel.com)

2.5 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

PLTS adalah suatu pembangkit listrik yang menggunakan sinar matahari melalui sel surya/ *photovoltaic* (PV) untuk mengkonversikan radiasi sinar foton matahari menjadi energi listrik. Sel surya merupakan lapisan-lapisan tipis dari bahan semikonduktor silikon (Si) murni, dan bahan semikonduktor lainnya. PLTS memanfaatkan cahaya matahari untuk menghasilkan listrik *Direct Current* (DC), yang dapat diubah menjadi listrik *Alternating Current* (AC) apabila diperlukan, oleh karena itu meskipun cuaca mendung, selama masih terdapat cahaya, maka PLTS tetap dapat menghasilkan listrik.

2.5.1 PLTS Off Grid

Stand alone PV system atau sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terpusat (PLTS Terpusat) merupakan sistem pembangkit listrik alternatif untuk daerah-daerah terpencil/pedesaan yang tidak terjangkau oleh jaringan PLN. Secara umum konfigurasi PLTS sistem terpusat dapat dilihat seperti pada gambar 2.7 di bawah:

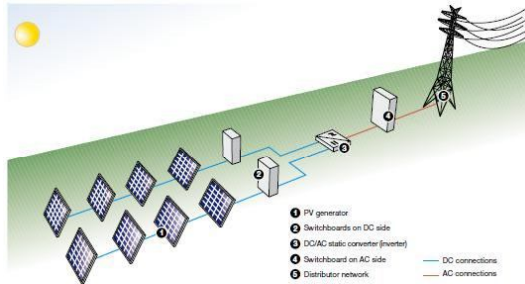


Gambar 2. 7 Prinsip Kerja PLTS Off Grid (sumber: ABB QT Vol. 10 P. 15)

2.5.2 PLTS On Grid

Grid Connected PV System atau PLTS terinterkoneksi merupakan solusi *green energi* bagi penduduk perkotaan baik perumahan ataupun perkantoran. Sistem ini menggunakan modul surya (*photovoltaic module*) untuk

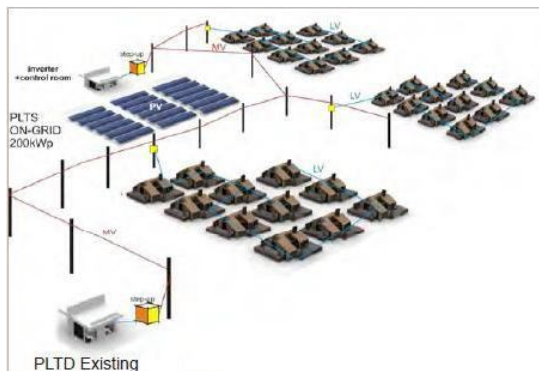
menghasilkan listrik yang ramah lingkungan dan bebas emisi.. Konfigurasi PLTS *on grid* dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Prinsip Kerja PLTS *On Grid* (sumber: ABB QT Vol. 10 P. 15)

2.5.3 PLTS Hybrid

Sistem *hybrid* yaitu sistem yang melibatkan 2 atau lebih sistem pembangkit listrik, umumnya sistem pembangkit yang banyak digunakan untuk hybrid adalah *genset*, PLTS, *mikrohidro*, dan tenaga angin. Sehingga sistem *hybrid* bisa berarti PLTS-*Genset*, PLTS-*Mikrohidro*, PLTS-Tenaga Angin, dan lainnya. Konfigurasi PLTS *hybrid* dapat dilihat pada gambar 2.9.



Gambar 2. 9 Prinsip Kerja PLTS *Hybrid* (Sumber: LEN 2011, P.17)

2.6 Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Komponen Utama dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya sederhana diantaranya:

1. Panel Surya/ *Photo Voltaic*
2. Baterai
3. *Inverter*
4. *Battery Charger Controller*

3. METODE PERANCANGAN

3.1 Diagram Alur Perancangan

Dalam penulisan skripsi ini penulis melakukan tahap – tahap perancangan

seperti yang terlihat pada gambar 3.1



Gambar 3. 1 Diagram Alur Perancangan

3.2 Perancangan

Rencana lokasi Pembangunan *mock up* “**COLD STORAGE PORTABEL KAPASITAS 10 TON MENGGUNAKAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA**” dengan berlokasi di PT. X, Kotamadya Bekasi, Provinsi Jawa Barat.

3.2.1 Perhitungan Beban Pendinginan *Cold Storage*

Pada bab ini penulis akan menghitung beban pendinginan untuk ruangan *cold storage* acuan untuk menentukan kapasitas mesin yang akan dipakai. Ruangan *cold storage* menggunakan panel *polyurethane* sebagai bahan insulasinya dengan ketebalan 100 mm, dimana material ini paling banyak digunakan dalam perancangan *cold storage* karena memiliki *konduktivitas thermal* yang rendah yaitu 0,020 W/m.K s/d 0,026 W/m.K.

Dimensi ruang adalah 5,5 m x 3 m x 2,65 m dengan *volume* dalam adalah 36,36 m³, sehingga maksimum produk yang dapat disimpan adalah 1/3 dari isi *cold storage* (Mitrakusuma, Windy. 2017. *Refrigeration Cooling Load*) yaitu 12,12 ton, sehingga penulis membuat rancangan kapasitas produk untuk *cold storage* ini adalah 10 ton.

Asumsi untuk perhitungan beban produk digunakan adalah tuna *blue fin*, adalah untuk

mendapatkan nilai panas spesifik. walaupun pada pelaksanaannya nanti jenis ikan akan bervariasi. Penggunaan asumsi produk tuna *blue fin* ini untuk mewakili ikan – ikan jenis pelagis besar seperti tongkol dan cakalang.

3.2.1.1 Perhitungan Beban Transmisi

Tabel 3. 1 Ukuran dan Dimensi Ruangan

No	Item	Besaran
1	Dimensi Ruangan	
	• Atap dan Lantai	5,5 m x 3 m = 18 m ²
	• Dinding kanan dan kiri	5,5 m x 2,65 m = 15,9 m ²
	• Dinding Depan dan Belakang	3 m x 2,65 m = 7,95 m ²
2	Tebal Dinding	0.1 m
3	Temperatur Lingkungan	35° C
4	Temperatur kabin	-25° C

Nilai *konduktivitas thermal* bahan yang digunakan pada bahan kabin dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3. 2 Nilai *konduktivitas thermal* bahan

No	Item	Besaran
1	Skin Panel/ Plat Besi (X ₁ = 0.00055 m)	k ₁ = 48,5 W/m.K (<i>Dossat, 1981</i>)
2	Polyurethane Foam (X ₂ = 0.1 m)	k ₂ = 0.022 W/m.K (<i>brosur produk</i>)

Untuk dapat mengetahui jumlah kalor sensibel yang masuk keruangan melalui atap, dinding dan lantai, dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Q1 = U . A . \Delta t$$

Dimana

Q1 = beban panas (*heat gain*), W

A = Luas bidang, m²

Δt = perbedaan antara temperatur udara luar dan temperatur udara ruangan yang dikondisikan, K

Koefisien perpindahan panas menyeluruh U, dari dinding, atap dan lantai dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$U = \frac{1}{1/f_i + x_1/k_1 + x_2/k_2 + x_1/k_1 + 1/f_0}$$

Dimana

U = Koefisien perpindahan panas menyeluruh, W/(m².K)

X₁ = Ketebalan skin panel/ plat, m

X₂ = Ketebalan Polyurethane Foam, m

k₁ = Konduktivitas Thermal skin panel/ plat

$$= W/(m.K)$$

k₂ = Konduktivitas Thermal Polyurethane Foam = W/(m.K)

f_i = Koefisien konveksi dinding dalam. *Dossat* (1981) diasumsikan 9,37 W/(m² K)

f_o = Koefisien konveksi dinding luar. *Dossat* (1981) diasumsikan 22,7 W/(m² K)

Sehingga dapat dicari nilai koefisien perpindahan menyeluruh U sebagai berikut:

$$U = \frac{1}{1/9,37 + 0,00055/48,5 + 0,1/0,022 + 0,00055/48,5 + 1/22,7}$$

$$U = \frac{1}{0,11 + 0,00001134 + 4,54 + 0,00001134 + 0,04}$$

$$U = \frac{1}{4,69}$$

$$U = 0,213 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$$

Luas bidang Dinding, Atap dan Lantai dapat dihitung sebagai berikut:

$$A = 2(p.l) + 2(p.t) + 2(l.t)$$

$$A = 2(5,5 \text{ m} . 3 \text{ m}) + 2(5,5 \text{ m} . 2,8 \text{ m}) + 2(3 \text{ m} . 2,8 \text{ m})$$

$$A = 33 + 29,15 + 15,9$$

$$A = 78,05 \text{ m}^2$$

Dari data diatas dapat dihitung q transmisi melalui dinding, atap dan lantai adalah:

$$Q1 = U . A . \Delta t$$

$$Q1 = 0,231 \frac{W}{m^2 K} . 78,05 \text{ m}^2 . ((35 + 273)K - (-25 + 273)K)$$

$$Q1 = 1081,77 \text{ W}$$

$$Q1 = 1,08 \text{ kW}$$

3.2.1.2 Perhitungan Beban Pertukaran Udara

Untuk menghitung beban infiltrasi, langkah pertama adalah menghitung volume bagian dalam dari ruang *cold storage*. Setelah itu dicari laju infiltrasi dan faktor perubahan *Enthalpy*

a) Volume bagian dalam *cold storage*

Tebal dinding *cold storage*, atap dan lantai = 0,00055 m (plat besi) + 0,1 m (*polyurethane foam*) + 0,00055 m (plat besi) = 0,1011 m

Dari data diatas, dapat dihitung *volume* dalam *cold storage*, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 V &= (P - (2 \times 0,1011)) \times (L - (2 \times 0,1011)) \times (T - (2 \times 0,1011)) \\
 &= (5,5 - (2 \times 0,1011)) \times (3 - (2 \times 0,1011)) \times (2,65 - (2 \times 0,1011)) \\
 &= (5,5 - 0,2022) \times (3 - 0,2022) \times (2,65 - 0,2022) \\
 &= 5,3 \times 2,8 \times 2,45 \\
 &= 36,36 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

b) Beban Infiltrasi dan Laju Perubahan *Enthalpy*

Beban infiltrasi *cold storage* dari tabel (Tabel 10-7, Principles Of Refrigeration, Roy J Dossat).

Tabel 3. 3 Laju Infiltrasi Terhadap Bukaannya Pintu

TABLE 10-7 Average Air Infiltration Rates in L/s Due To Door Openings. (Does not apply to rooms using ventilating grilles or ducts)

Room Volume(m ³)	Infiltration Rate (L/s)	
	Rooms Above 0°C	Rooms Below 0°C
7	3.1	2.3
8.5	3.4	2.6
10	3.7	2.8
15	4.4	3.3
20	5.0	3.8
25	5.5	4.2
30	5.9	4.6
40	6.8	5.4
50	7.5	5.8
75	9.0	6.9
100	10.2	7.9
150	12.2	9.4
200	13.9	10.9
250	15.3	11.9
300	16.7	12.9
400	19.0	14.9
500	21.4	16.8
600	23.6	18.1
700	24.3	18.6
800	25.9	20.4
900	27.1	21.9
1000	28.9	23.1

Note: For storage rooms with anterooms, reduce rate to 50% of table value. For heavy usage, add 50% to table values.

Laju infiltrasi diketahui:

Dengan interpolasi, nilai infiltrasi rate pada volume 36,36 m³, adalah sebagai berikut: Karena temperatur ruang adalah -25 °C, maka kolom yang digunakan adalah kolom room below 0 °C

$$\begin{aligned}
 \frac{(40 - 30)}{(40 - 36,36)} &= \frac{(5,4 - 4,6)}{(5,4 - x)} \\
 \frac{10}{3,64} &= \frac{0,8}{(5,4 - x)} \\
 (5,4 - x) &= 0,29 \\
 x &= 5,11 \frac{L}{s}
 \end{aligned}$$

Tabel 3. 4 Perubahan *Enthalpy* untuk Kondisi Penyimpanan Dibawah 0° C

TABLE 10-6B Kilojoules per Litre Removed in Cooling Air to Storage Conditions Below 0°C

Storage Room Temp °C	Inlet Air Temperature, °C									
	5°		10°		25°		30°		35°	
	70	80	70	80	Inlet Air RH, %		50	60	50	60
0°	0.0092	0.0111	0.0142	0.0154	0.0505	0.0562	0.0650	0.0724	0.0820	0.0921
-5°	0.0193	0.0210	0.0235	0.0247	0.0592	0.0649	0.0736	0.0809	0.0903	0.1004
-10°	0.0271	0.0288	0.0309	0.0321	0.0662	0.0719	0.0805	0.0877	0.0970	0.1071
-15°	0.0350	0.0367	0.0383	0.0395	0.0732	0.0788	0.0873	0.0945	0.1037	0.1137
-20°	0.0427	0.0444	0.0456	0.0468	0.0801	0.0857	0.0941	0.1013	0.1102	0.1203
-25°	0.0501	0.0523	0.0525	0.0537	0.0866	0.0922	0.0998	0.1077	0.1165	0.1265
-30°	0.0571	0.0588	0.0591	0.0604	0.0929	0.0985	0.1067	0.1138	0.1225	0.1325
-35°	0.0640	0.0657	0.0656	0.0668	0.0989	0.1045	0.1126	0.1197	0.1283	0.1382
-40°	0.0708	0.0725	0.0720	0.0732	0.1050	0.1106	0.1185	0.1256	0.1341	0.1440

Dari tabel 3.4 diatas Untuk air inlet 35 °C, RH = 60% dan temperatur ruangan -25 °C. Diperoleh perubahan *enthalpy* Δ*h* = 0,1265 kJ/L.

Sehingga beban pertukaran udaranya adalah:

$$\begin{aligned}
 Q2 &= I \cdot \Delta h \\
 Q2 &= 5,11 \frac{L}{s} \times 0,1265 \frac{kJ}{L} \\
 Q2 &= 0,65 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

3.2.1.3 Pehitungan Beban Produk

Produk yang akan disimpan diasumsikan adalah ikan tuna *blue fin* untuk mewakili ikan pelagis besar beku setelah melalui proses pembekuan dari unit *Air Blast Freezer* (ABF).

Tabel 3. 5 Rancangan Produk

No	Item	Besaran
1	Jenis Produk	Ikan Tuna
2	Kapasitas Ruang	10.000 kg
3	Beban Harian	1.000 kg
4	Chilling Time	6 Jam
5	Temperatur Produk	-18 °C (Keluaran ABF)
6	Temperatur Ruangan	-25 °C

Nilai Kalor spesifik produk dan *Freezing point* produk dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3. 6 Kalor Spesifik Produk Ikan Tuna

No	Item	Besaran
1	C _p Before Freezing	3.43 kJ/kg K
2	C _p After Freezing	2.19 kJ/kg K
3	C _p Laten (kalor perubahan)	227 kJ/kg
4	Freezing Point	-2.22 °C

Karena pada perhitungan beban produk ini ikan yang masuk ke dalam *cold storage* sudah dalam keadaan beku keluaran dari ABF dengan temperature -18° C diinginkan hingga temperature penyimpanan -25° C, maka pada perhitungan beban produk menggunakan C_p

after freezing dengan perhitungan sebagai berikut :

$$Q_3 = \frac{m \cdot cp \cdot \Delta T}{n \cdot 3600}$$

$$Q_3 = \frac{1000 \text{ kg} \times 2,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \times ((-18 + 273)\text{K} - (-25 + 273)\text{K})}{6 \text{ jam} \times 3600}$$

$$Q_3 = \frac{1000 \text{ kg} \times 2,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \times ((-18 + 273)\text{K} - (-25 + 273)\text{K})}{6 \text{ jam} \times 3600}$$

$$Q_3 = \frac{15330 \text{ kJ}}{21600 \text{ detik}}$$

$$Q_3 = 0,7 \text{ kW}$$

3.2.1.4 Perhitungan Beban Lampu

Lampu yang digunakan adalah lampu jenis *weather proof* dengan jenis TL berdaya 2 x 36 watt sebanyak 1 set. Sehingga daya lampu total adalah 72 watt. Yang beroperasi selama 4 jam pada saat bongkar dan muat produk.

Beban yang dihasilkan dari lampu adalah:

$$Q_4 = \frac{\text{watts} \times \text{jam operasi}}{24 \text{ jam}}$$

$$Q_4 = \frac{72 \text{ watt} \times 4 \text{ jam}}{24 \text{ jam}}$$

$$Q_4 = 12 \text{ Watt}$$

$$Q_4 = 0,012 \text{ kW}$$

3.2.1.5 Perhitungan Beban Manusia

Dari tabel 10 – 14, (Principles Of Refrigeration, Roy J Dossat), diketahui kalor equivalen per orang pada -25 °C, $Q_E = 0,407 \text{ kW/orang}$. Jumlah orang yang bekerja = 2 orang, dan lamanya berada di ruangan 4 jam maka beban kalor dari manusia:

$$Q_5 = \text{jumlah orang} \times \text{heat equivalent} \times \frac{\text{Jam kerja}}{24 \text{ jam}}$$

$$Q_5 = \text{jumlah orang} \times \text{heat equivalent} \times \frac{\text{Jam kerja}}{24 \text{ jam}}$$

$$Q_5 = 2 \times 0,407 \text{ kW} \times \frac{4 \text{ jam}}{24 \text{ jam}}$$

$$Q_5 = 0,14 \text{ kW}$$

3.2.1.6 Perhitungan Beban Lain-lain

Beban ini adalah beban tambahan yang ditambahkan pada perhitungan beban *cold storage*, diantaranya

a) Beban *Pressure relieve port/ ventilator* 36 watt

$$Q_a = \frac{\text{watts} \times \text{jam operasi}}{24 \text{ jam}}$$

$$Q_a = \frac{36 \times 24 \text{ jam}}{24 \text{ jam}}$$

$$Q_a = 36 \text{ watt}$$

b) Beban *Heater Pintu* 180 watt

$$Q_b = \frac{\text{watts} \times \text{jam operasi}}{24 \text{ jam}}$$

$$Q_b = \frac{180 \times 24 \text{ jam}}{24 \text{ jam}}$$

$$Q_b = 180 \text{ watt}$$

c) Beban *Heater Drain* 75 watt

$$Q_c = \frac{\text{watts} \times \text{jam operasi}}{24 \text{ jam}}$$

$$Q_c = \frac{75 \times 24 \text{ jam}}{24 \text{ jam}}$$

$$Q_c = 75 \text{ watt}$$

d) Beban *Fan Evaporator* 250 watt

$$Q_d = \frac{\text{watts} \times \text{jam operasi}}{24 \text{ jam}}$$

$$Q_d = \frac{250 \times 22 \text{ jam}}{24 \text{ jam}}$$

$$Q_d = 229,16 \text{ watt}$$

Sehingga beban total lain lain adalah

$$Q_6 = Q_a + Q_b + Q_c + Q_d = 520,16 \text{ watt} = 0,52 \text{ kW}$$

3.2.1.7 Total Beban Pendinginan

Dari beban-beban diatas dapat dihitung total beban yang harus ditangani oleh mesin pendingin

$$Q_{total} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6$$

$$Q_{total} = 1,08 \text{ kW} + 0,65 \text{ kW} + 0,7 \text{ kW} + 0,012 \text{ kW} + 0,14 + 0,52 \text{ kW}$$

$$Q_{total} = 3,1 \text{ kW}$$

Ditambahkan nilai keamanan (*safety factor*) sebesar 10%

$$Q_{total} = 3,1 \text{ kW} + 10\%$$

$$Q_{total} = 3,1 \text{ kW} + 0,31 \text{ kW}$$

$$Q_{total} = 3,41 \text{ kW}$$

3.2.1.8 Beban Pendinginan untuk Kebutuhan Pemilihan Mesin

Untuk mendapatkan mesin yang sesuai dengan kebutuhan, dapat dicari dengan rumus sebagai berikut:

$$Q_{equipment} = \frac{24 \text{ jam}}{\text{Jam Operasi}} \cdot (Q_{total})$$

$$Q_{equipment} = \frac{24 \text{ jam}}{18 \text{ jam}} \cdot (3,41 \text{ kW})$$

$$Q_{equipment} = 4,2 \text{ kW}$$

3.2.2 Pemilihan Refrigeration Unit

3.2.2.1 Pemilihan Condensing Unit

Dari hasil beban pendinginan untuk kebutuhan pemilihan mesin di dapat, yaitu 4.2 kW. Langkah selanjutnya adalah melakukan seleksi *condensing unit* menggunakan perangkat lunak atau katalog yang diberikan oleh pabrikan kompresor. Disini penulis menggunakan katalog dikeluarkan oleh pabrikan kompresor Emerson. Kemudian memilih jenis *condensing unit* yang akan ditentukan dan memilih jenis kompresor yang akan digunakan. Disini penulis akan menggunakan 2 buah *condensing unit*, dimana 1 *condensing unit* akan menangani 60% dari beban total yaitu 2,52 kW. Setelah itu parameter yang harus dimasukan kedalam perangkat lunak adalah sebagai berikut:

Tabel 3.7 Tabel Parameter Penentuan Condensing Unit

No	Parameter	Besaran
1	Temperature Evaporasi/ Evaporating Temperature	-31 °C
2	Temperature Lingkungan/ Ambient Temperature	35 °C
3	Beban Pendinginan/ Cooling Load 60% dari total	2,52 kW
4	Jenis Refrigeran	R404A
5	Spesifikasi Listrik	1 Phase/220 V/ 50 Hz

Disini penulis akan menggunakan kompresor jenis *scroll* dengan pertimbangan kompresor jenis ini mempunyai efisiensi yang tinggi dan mudah dalam perawatan dibanding jenis kompresor lainnya. Selain itu *condensing type* ini memang didesain untuk luar ruangan, karena telah dilengkapi dengan pelindung.

Didapat *Condensing Unit* yang didapatkan untuk kebutuhan *cooling load* 4,42 kW adalah 2 unit tipe ZXL025BE-PFJ dengan kapasitas 2 x 2,54 kW = 5,08 kW, spesifikasinya sebagai berikut:

Tabel 3. 8 Tabel Parameter Condensing Unit

No	Parameter	Besaran
1	Kapasitas Pendinginan pada te -31°C, ta 35°C	2,54 kW
2	Total Konsumsi daya	2,11 kW
3	COP	1,2

3.2.2.2 Pemilihan Evaporator

Sama halnya dengan **condensing unit**, evaporator yang digunakan adalah 2 unit. Pemilihan evaporator juga dapat dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak atau katalog dari pabrikan. Disini penulis menggunakan perangkat lunak dari pabrikan evaporator Greenhalgh. Perangkat lunak yang digunakan adalah ‘*Greenpro version 1.3.2*’ Adapun parameter yang harus diketahui terlebih dahulu adalah sebagai berikut:

Tabel 3. 9 Parameter Pemilihan Evaporator

No	Parameter	Besaran
1	Temperatur evaporasi/ Evaporating temperature	-31°C
2	Temperatur Ruangan	-25°C
3	Beban Pendinginan/ cooling load	2,52 kW
4	Jenis Refrigeran	R404a
5	Jumlah kipas	minimum 2
6	Jarak Antar Sirip	minimum 6 mm
7	Jenis Defrost	Elektrik
8	Spesifikasi Listrik	1 phase/ 220 V/ 50 Hz

Disini penulis akan menggunakan evaporator dengan minimum 2 kipas untukantisipasi jika ada kerusakan salah satu kipas, masih ada yang bisa beroperasi.

Dari perangkat lunak didapat evaporator yang didapatkan untuk kebutuhan *cooling load* 4.2 kW adalah 2 unit evaporator tipe E2-034-L dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 3. 10 Parameter Evaporator

No	Parameter	Besaran
1	Kapasitas Pendinginan pada te -31°C, tr -25°C	2,62 kW
2	Konsumsi daya	0,136 kW
3	Jarak Lemparan Angin	15 m
4	kipas	2 x φ300 mm
5	Spesifikasi Listrik	1 phase/ 220 V/ 50 Hz

3.2.2.3 Pemilihan Katup Ekspansi

Jenis ekspansi yang digunakan dalam perancangan ini adalah jenis *Thermostatic expansion valve* (TXV). Pemilihannya pun didapatkan dengan menggunakan perangkat lunak atau menggunakan katalog. Penulis menggunakan merek Danfoss dalam perancangan ini. Perangkat lunak yang digunakan adalah “*cool selector 2*”. Adapun parameter yang harus diketahui terlebih dahulu adalah sebagai berikut:

Tabel 3. 11 Tabel Parameter Pemilihan TXV

No	Parameter	Besaran
1	Temperatur evaporasi/ <i>Evaporating temperature</i>	-31°C
2	Temperatur Kondensasi/ <i>Condensing Temperature</i>	45°C
3	Beban Pendinginan/ <i>cooling load</i>	2,52 kW
4	Jenis Refrigeran	R404a

Disini penulis akan menggunakan 2 buah ekspansi tipe T2 karena kapasitasnya relatif kecil.

Dari perangkat lunak didapat TXV yang didapatkan untuk kebutuhan *cooling load* 4.2 kW adalah 2 unit TXV type TES 2 dengan *orifice* No. 04

3.2.2.4 Kebutuhan Daya dan Konsumsi Daya per hari

Dari data-data diatas maka didapatkan kebutuhan daya yang diperlukan untuk mengoperasikan *cold storage* tersebut adalah seperti pada tabel berikut:

Tabel 3. 12 Tabel Kebutuhan Daya *Cold Storage*

No	Item	Phasa	Tegangan V	Qty	daya satuan [kW]	daya total [kW]
1	Condensing Unit	1 Ph	220	2	2,11	4,22
2	Evaporator	1 Ph	220	2	0,14	0,27
3	Heater Defrost	1 Ph	220	2	2,20	4,40
4	Heater Drain	1 Ph	220	2	0,08	0,15
5	Heater Pintu	1 Ph	220	1	0,18	0,18
6	ventilator	1 Ph	220	1	0,04	0,04
7	Lampu	1 Ph	220	1	0,07	0,07

Karena Kompresor, *Fan* evaporator bekerja bergantian dengan *heater defrost* maka untuk perhitungan kebutuhan dayanya diambil yang tertinggi yaitu dengan total kebutuhan daya 4.93 kW.

Tabel 3. 13 Tabel Konsumsi Daya per jam *Cold Storage* dalam 1 hari

No	Item	Phasa	Tegangan V	Qty	[kW]	Total [kW]	jam	kWh
1	Condensing Unit	1 ph	220	2	2,11	4,22	18	75,96
2	Evaporator	1 Ph	220	2	0,14	0,272	22	5,984
3	Heater Defrost	1 Ph	220	2	2,20	4,40	2	8,8
4	Heater Drain	1 Ph	220	2	0,08	0,15	24	3,6
5	Heater Pintu	1 Ph	220	1	0,18	0,18	24	4,32
6	ventilator	1 Ph	220	1	0,04	0,04	24	0,864
7	Lampu	1 Ph	220	1	0,07	0,07	4	0,288
						Totalm kwh		99,82

3.2.3 Pemilihan Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Sistem yang akan digunakan pembangkit listrik tenaga surya ini adalah menggunakan sistem *hybrid* dengan pertimbangan biaya yang sangat besar dan lahan yang luas jika menggunakan sistem *off-grid* tanpa bantuan

catu daya lain. Definisi Sistem PLTS dengan teknologi *hybrid* adalah dimana sumber listrik yang dihasilkan oleh panel surya dapat digabungkan dengan sumber listrik dari PLN. Dengan demikian secara berganti kedua sistem ini akan saling membackup ketika terjadi kekurangan daya listrik atau pemadaman.

Berdasarkan pada luasan atap yang memungkinkan dapat digunakan untuk menyimpan solar panel. Luasan atap dari *cold storage* adalah 6 m x 3 m = 18 m², dengan luasan tersebut jumlah panel surya yang dapat dipasangkan ke atap *cold storage* adalah 16 buah solar panel dengan luasan total adalah 8,211 m x 3,402 m = 27,93 m². Dengan kapasitas panel surya adalah 16 x 340 Wp = 5.440 Wp atau 5,4 kWp, sehingga ditetapkan kapasitas panel surya sistem *hybrid* ini adalah 5 kWp.

3.2.3.1 Pemilihan Solar Panel

Untuk kebutuhan kapasitas *solar panel* 5 kWp, *solar panel* yang digunakan adalah type MM 340 C2 berkapasitas 340 Wp per panelnya. Sehingga dibutuhkan 16 panel.

Selain itu kita harus mengetahui parameter *Peak Sun Hour* (PSH), yaitu parameter untuk menyatakan perbandingan lamanya penyinaran matahari maksimum (dalam jam) per hari terhadap standar intensitas radiasi matahari yang nilainya 1 kW/m², satuan dari PSH adalah jam (*hour*). Istilah PSH mengacu pada radiasi matahari pada lokasi tertentu yang akan diterima jika matahari bersinar dengan nilai maksimum dalam jangka waktu tertentu, yang dinyatakan dengan jam.

Pada dasarnya intensitas radiasi matahari yang diterima permukaan tidaklah konstan melainkan meningkat dipagi hari, mencapai puncak disiang hari, kemudian turun hingga matahari terbenam.

Untuk mendapatkan PSH, yang diperlukan adalah data radiasi, berikut data radiasi menurut [website https://globalsolaratlas.info](https://globalsolaratlas.info)

Tabel 3. 14 Photovoltaic Power Output/Day

Kota	Photovoltaic Power Output/Day
Jakarta	4.701 kWh/m ² /day
Tangerang	4.640 kWh/m ² /day
Bekasi	4.780 kWh/m ² /day
Depok	4.712 kWh/m ² /day
Bogor	4.638 kWh/m ² /day
Bandung	4.912 kWh/m ² /day
Surabaya	5.453 kWh/m ² /day
Bali	4.392 kWh/m ² /day

$$T_m (PSH) = \frac{Q_m (kW - hr/m^2 / day)}{1 kW/m^2}$$

$$T_m (PSH) = \frac{4,78}{1} = 4,78 \text{ hour}$$

Tabel 3. 15 Desain faktor penurunan

k1	Derating due to manufacturer
k2	Derating due to dirt
k3	Derating due to temperature
k4	Derating due to modules in series and paralel
k5	Derating due to DC cable connecting from solar array to inverter
k6	Derating due to Inverter power loss for grid connected

$$k_{total} = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6$$

$$k_{total} = 0,96 \cdot 0,96 \cdot 0,90 \cdot 0,95 \cdot 0,97 \cdot 0,95$$

$$k_{total} = 0,73$$

Jadi dengan mempertimbangkan faktor penurunan dan *peak sun hour*, energi yang dihasilkan oleh *solar panel* 5kWp adalah:

$$q = K \cdot PSH \cdot P$$

$$q = 0,73 \cdot 4,78 \cdot 5 \text{ kWp}$$

$$q = 17,45 \text{ Kwh}$$

Jumlah Modul N seri

$$N = \frac{V}{V_{rated}}$$

$$N = \frac{275}{38,8} = 7,09 \sim 8$$

Jumlah Modul n Paralel

$$n = \frac{5}{8 \times 0,34 \text{ kW}} = 1,84 \sim 2$$

Total Modul Surya adalah 8 seri, 2 paralel adalah 16 Panel

3.2.3.2 Pemilihan Baterai

Energi yang dibutuhkan dalam sistem *hybrid* adalah 17,45 kWh, sehingga baterai yang digunakan lebih besar dari kebutuhan tersebut yaitu menggunakan tipe ARK 20.4L dengan kapasitas energi 20,48 kwh dengan *usable capacity* 18,43 kWh.

3.2.3.3 Pemilihan Inverter

Inverter yang digunakan berkapasitas 5 kW, dengan tipe SPF 5000 ES.

4. HASIL PERANCANGAN

4.1 Rancangan Ruang Cold Storage

Hasil dari perancangan yang telah dilakukan untuk ruangan *cold storage* dan tempat penyimpanan mesin adalah seperti pada tabel :

Tabel 4. 1 Spesifikasi Ruang Panel Cold Storage

No.	Bagian	Spesifikasi
1	Ruangan Cold storage dan Mesin	ukuran p 6 (m) x 1.3 (m) x 1.2.8 (m)
a	Panel Insulasi (mm)	100
	- Bahan Isi	Polyurethane Foam
	- Density/ kerapatan (kg/m ³)	43 -45
	- Metal Pelapis/ skin	Prepainted Galvanized Iron
	- Kelas Kadar Zinc	Z275
	- Tensile Strength	G300
	- Konduktifitas Thermal (watt/m.K)	0,0022
b	Pre Fabricated Frame	
	- Bahan	Plat Besi
	- Ketebalan (mm)	2,3
	- Lapisan	Powder Coating

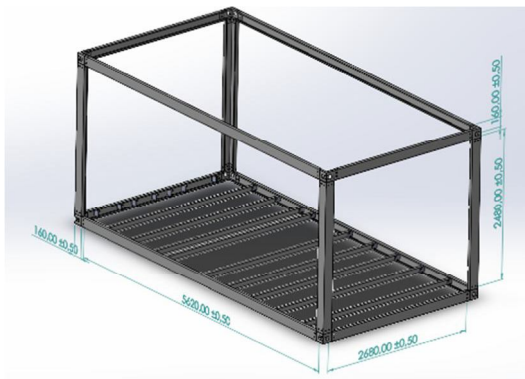
Panel insulasi yang digunakan bersifat modular dengan lebar 1150 mm dengan ketinggian dapat disesuaikan dengan kebutuhan. Dan tiap sambungan bagian dalam diberi penahan uap (*vapour barrier*) untuk mencegah dari kebocoran, dan pada sambungan bagian luar diberi *silicon*.

Penggunaan spesifikasi kadar *zinc* Z275 adalah untuk ketahanan terhadap karat, karena unit ini akan langsung terkena udara luar.

Untuk *frame* menggunakan *frame* untuk produk *fast installing prefab house* dari China. Sehingga mudah untuk dibongkar pasang. Dapat dilihat pada gambar 4.1 dan 4.2

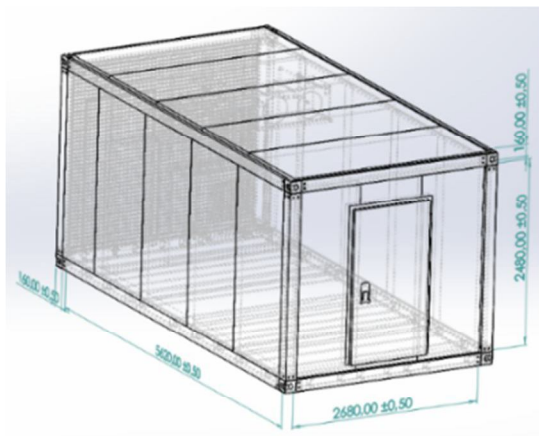
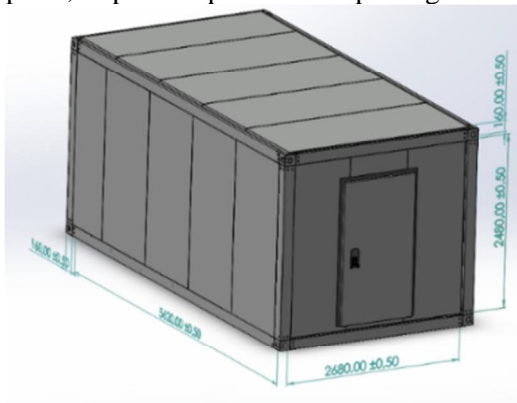


Gambar 4. 1 *Frame Fast Installing Prefab House*



Gambar 4. 2 Desain Rangka

Setelah *frame* terpasang *sandwich panel* dapat dipasang untuk bagian dinding, atap dan lantai dan dilanjutkan dengan pemasangan pintu, seperti dapat terlihat pada gambar 4.3



Gambar 4. 3 Bangunan *cold storage* lengkap dengan *Frame*, *sandwich panel* dan *Pintu*

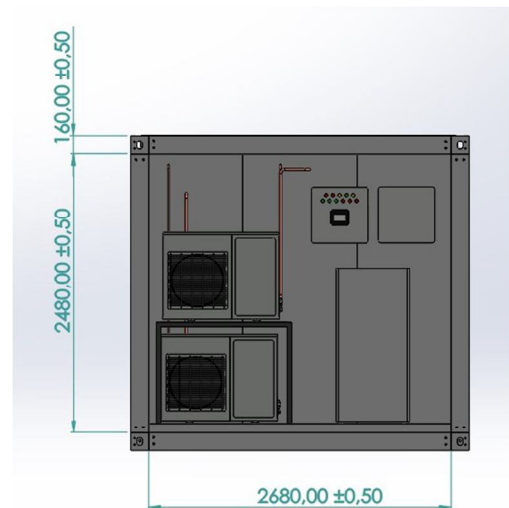
4.2 Rancangan Mesin Refrigerasi

Mesin refrigerasi hasil perancangan memiliki spesifikasi seperti pada tabel 4.2

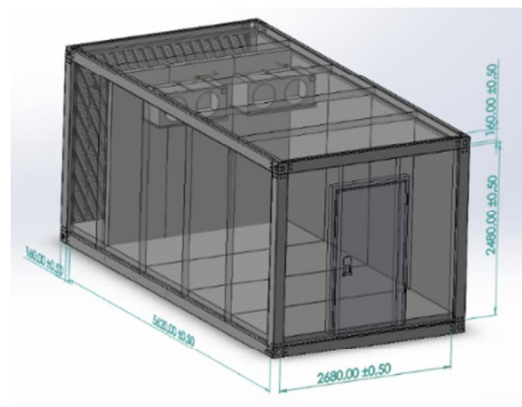
Tabel 4. 2 Spesifikasi Mesin Refrigerasi

No.	Bagian	Spesifikasi
1	Condensing Unit 2 Unit	
	Type	ZXL025BE-PFJ
	- Merek	Copeland/ Emerson
	- Kapasitas Motor (HP)	2,5
	- Kapasitas Pendinginan pada te -31 °C, te 35 °C (kw)	2,54
	- Konsumsi Daya (kw)	2,11
	- COP	1,2
	- Temperatur Lingkungan (°C)	35
	- Type Kondenser	Aircooled
	- Spesifikasi Listrik (Phase/V/Hz)	1/220/50
	- Dimensi p (m) x l (m) x t (m)	1029 x 424 x 840
- Refrigeran	R404A	
2	Evaporator 2 Unit	
	Type	E2-034-L
	- Merek	Greenhalgh
	- Kapasitas Pendinginan pada te -31 °C, tr -25 °C (kw)	2,62
	- Konsumsi Daya (kw)	0,136
	- Jarak kemparan Angin (m)	15
	- Kipas jumlah fan/ diameter	2/ 300
	- Spesifikasi Listrik (Phase/V/Hz)	1/230/50
	- Dimensi p (m) x l (m) x t (m)	1045 x 455 x 434
	- Refrigeran	R404A

Penempatan mesin refrigerasi maupun evaporator dapat kita lihat pada gambar 4.4 dan gambar 4.5 dibawah ini



Gambar 4. 4 Penempatan *Condensing Unit*, *Control Panel*, *Inverter* dan *Baterai*



Gambar 4. 5 Penempatan Evaporator

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Pada pembahasan didalam skripsi ini, penulis dapat menyimpulkan bahwa:

1. Beban pendinginan untuk *cold storage* portabel ukuran 5,5 m x 3 m x 2,65 m kapasitas produk 10 ton adalah 4,2 kW
2. Didapatkan *condensing unit* dengan kapasitas pendinginan 2 x 2,54 kW pada kondisi temperatur evaporasi - 31 °C dan temperatur lingkungan 45 °C Dan didapatkan evaporator dengan kapasitas pendinginan 2 x 2,62 kW pada kondisi temperatur evaporasi - 31 °C dan temperatur ruangan -25 °C
3. Total daya listrik yang dibutuhkan oleh mesin pendingin adalah 4,93 kW dan energi listrik yang dibutuhkan dalam 1 hari adalah 99,82 kW
4. Berdasarkan luasan atap, solar panel yang digunakan berjumlah 16 panel dengan daya 5,4 kWp dengan energi yang didapatkan dalam satu hari adalah 17,45 kWh,
5. Jika dalam 24 jam energi listrik yang dibutuhkan oleh cold storage adalah 99,82 kWh maka dengan kapasitas baterai 18,43 kWh akan dapat menangani cold storage dalam waktu 4,4 jam
6. Dari daya panel surya yang digunakan didapatkan kapasitas inverter 5 kW dan dari data energi yang dapat dihasilkan oleh panel surya didapatkan kapasitas baterai 20,48 kWh
7. COP aktual yang didapatkan adalah 1,2, COP carnot yang didapatkan 3,186, sehingga efisiensi refrigerasi yang didapatkan adalah 37,66%

5.2 Saran

Adapun saran untuk pengembangan skripsi ini lebih lanjut adalah:

1. Penghematan yang didapatkan dari *cold storage* dengan sistem *hybrid PLN* - PLTS kurang optimum dilihat dari hasil penghematan yang didapatkan, disarankan menggunakan sistem *hybrid generator* disel - PLTS untuk daerah yang memang belum terdapat/ kurang pasokan listrik dari PLN.
2. Berdasarkan luasan atap *cold storage* dan maksimum panel surya yang dapat dipasang pada atap tersebut, disarankan aplikasi dan perhitungan cold storage dapat disesuaikan, sehingga didapat rancangan cold storage yang optimum.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Pratama, Oki. 2020. *Konversi Perairan Sebagai Upaya menjaga Potensi Kelautan dan Perikanan Indonesia*. Diambil dari : <https://kkp.go.id/djprl/artikel/21045-konservasi-perairan-sebagai-upaya-menjaga-potensi-kelautan-dan-perikanan-indonesia> (14 Agustus 2021).
- Anonim 2016. *NARASI TUNGGAL: Ayo Makan Ikan! Karena Ikan Itu Enak dan Mencerdaskan*. Diambil dari : <https://www.bappenas.go.id/id/berita-dan-siaran-pers/narasi-tunggal-ayo-makan-ikan-karena-ikan-itu-enak-dan-mencerdaskan/> (14 Agustus 2021).
- ASHRAE Terminology. *cold storage*. Diambil dari : <https://xp20.ashrae.org/terminology/index.php?term=cold%20storage> (14 Agustus 2021).
- ASHRAE Handbook. 2018. *Refrigeration SI Version* Atlanta: the American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers.
- Dossat, Roy J. 1981. *Principle of Refrigeration, SI Version, Second Edition*. Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- Sipayung, Raidinata A. 2019. *Rancang Bangun Solar Cold Storage dengan Kapasitas 10 Kilogram*. Jurnal Dinamis, Volume.7, No.3 September 2019.
- Anonim 2019. *Prinsip Kerja dari PLTS dengan System Hybrid*. Diambil dari : <https://www.wedosolarindonesia.com/produk/rooftop-solar-system/hybrid-solar-home-system/> (9 Agustus 2021).
- Mitrakusuma, Windy 2017. *Refrigeration Cooling Load*. Diambil dari : <https://windyhm.files.wordpress.com/2017/03/refrigerationcoolingload.pdf> (15 Agustus 2021).