



## Perancangan Ruang Pendingin Karkas Ayam *Broiler* Memanfaatkan Sumber Energi Hibrida

Rahmat Hafiz<sup>1\*</sup>, Haris<sup>2</sup>, Nota Effiandi<sup>3</sup>, Rivanol Chadry<sup>4</sup>, Feri Saputra<sup>5</sup>  
<sup>1,2,3,4,5</sup>Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Padang  
<sup>1\*</sup> rahmathafiz@pnp.ac.id

### Abstract

Small-scale broiler farming in Indonesia often suffers losses due to high production costs. In addition to rising feed prices, these losses are frequently caused by chickens that are ready for harvest being unsold in the market due to a decline in purchasing power. One solution that farmers can implement is to slaughter the chickens at the appropriate harvest time and store the carcasses in cooling rooms to sell them when market prices increase. This study aims to design and specify cooling storage equipment to store broiler carcasses using a combination of commercial and solar energy sources. The research begins by determining the cooling load of the system, specifying refrigeration components, evaluating solar energy potential at the location, and designing the required electrical system. Solar energy potential was calculated based on meteorological data obtained from an online database and processed using the PvSyst 7.2 application. Based on the analysis, the cooling storage requires 4.69 kW of power to reach optimal temperature within 6 hours, with a COPR value of 2.2. Meanwhile, the solar energy potential at the installation site is 4.44 kWh/m<sup>2</sup>/day, enabling the solar power system (PLTS) to generate an estimated annual energy output of 1802 kWh with a Performance Ratio (PR) of 65.07% and a Solar Fraction (SF) of 91.85%.

Keywords: carcasses, cold storage, hybrid, solar energy, refrigeration

### Abstrak

Peternakan ayam pedaging skala kecil di Indonesia sering mengalami kerugian akibat tingginya biaya produksi. Selain akibat kenaikan harga pakan hal tersebut juga sering disebabkan oleh ayam yang sudah memasuki masa panen tidak laku terjual di pasaran akibat penurunan daya beli. Salah satu solusi yang dapat dilakukan peternak adalah dengan cara melakukan pemotongan sesuai masa panen dan menyimpan karkas ke dalam ruang pendinginan untuk dijual pada saat harga jual mengalami kenaikan. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan sebuah rancangan dan spesifikasi peralatan ruang pendingin untuk menyimpan karkas ayam pedaging memanfaatkan kombinasi sumber energi komersil dan energi surya. Penelitian dimulai dengan menentukan besar beban pendinginan sistem, spesifikasi komponen refrigerasi, besar potensi energi matahari pada lokasi dan rangkaian sistem kelistrikan yang diperlukan. Potensi energi matahari dihitung berdasarkan data meteorologi yang didapatkan dari *online database* dan diolah menggunakan aplikasi PvSyst 7.2. Berdasarkan hasil analisis, daya yang dibutuhkan ruang pendingin untuk mencapai temperatur optimal dalam waktu 6 jam adalah 4,69 kW dengan nilai COPR sebesar 2,2. Sedangkan potensi energi matahari pada lokasi pemasangan adalah 4,44 kWh/m<sup>2</sup>/hari, sehingga sistem PLTS diperkirakan mampu menghasilkan energi tahunan mencapai 1802 kWh dengan Rasio Performa (PR) 65,07%, dan Fraksi Surya (SF) 91,85%.

Kata kunci: ruang pendingin, *hybrid*, karkas, surya, refrigerasi

## 1. Pendahuluan

Manusia dapat memenuhi kebutuhan protein yang digunakan dalam proses metabolisme tubuh yang berasal dari tumbuhan maupun hewan [1]. Ayam *Broiler* atau dikenal juga dengan ayam niaga pedaging merupakan salah satu sumber protein yang dapat dikonsumsi oleh berbagai lapisan masyarakat sehingga menjadi salah satu kebutuhan pokok di Indonesia. Saat harga jual ayam turun dan harga pakan mengalami kenaikan menyebabkan ongkos produksi meningkat karena harus memperpanjang masa panen yang dapat menyebabkan peternak mengalami kerugian. Jika proses pemotongan dilakukan sesuai jadwal ayam beresiko tidak laku terjual dan mengalami kerusakan akibat pertumbuhan mikroba pembusuk serta berdampak pada penurunan kualitas kandungan gizi yang terkandung [2]. Penerapan sistem rantai dingin pada daging atau karkas menjadi sangat penting dalam perdagangan daging global di zaman moderen karena proses distribusi daging relatif kompleks dan panjang [3]. Pendinginan dapat menghambat pertumbuhan bakteri karena temperatur dingin akan menurunkan energi kinetik semua molekul dalam suatu sistem [4]. Sehingga penggunaan ruang pendingin sangat disarankan untuk menangani daging/karkas ayam pedaging pasca panen.

Penggunaan ruang berpendingin untuk karkas ayam pedaging saat ini hanya terdapat pada peternakan dengan skala industri (padat modal) sedangkan pada peternak skala kecil (populasi <10.000 ekor) sangat jarang dan relatif terbatas. Hal tersebut disebabkan biaya investasi dan operasional yang masih tinggi terutama biaya listrik yang digunakan. Indonesia merupakan negara dengan potensi energi surya yang cukup besar [5], sehingga pemanfaatan teknologi *solar cooling storage* (ruang pendingin surya) dalam penanganan ternak yang telah memasuki masa panen diharapkan mampu menghemat ongkos produksi. Meskipun pemanfaatan energi surya sebagai sumber energi untuk proses refrigerasi pada ruang pendingin surya secara penuh akan memiliki biaya operasional yang rendah, namun untuk biaya investasi peralatan akan cenderung lebih tinggi. Hal tersebut cenderung berkebalikan dengan pemanfaatan sumber energi komersil/listrik PLN sebagai sumber energi ruang pendingin yang memiliki biaya operasional yang lebih tinggi dan biaya investasi yang lebih rendah [6].

Dari beberapa penelitian terdahulu telah dilakukan penelitian mengenai pemanfaatan ruang pendingin sebagai media penyimpanan karkas [3, 7] dengan ukuran ruang pendingin surya skala kecil dan prototipe skala laboratorium [6]. Oleh sebab itu dalam penelitian ini akan dilakukan perancangan ruang pendingin *hybrid* yang merupakan kombinasi penggunaan energi surya (PLTS) dan komersil (PLN) sebagai sumber listrik yang menyuplai daya pada sistem refrigerasi ruang pendingin untuk penyimpanan karkas dengan kapasitas 1000 kg (1 ton). Hal tersebut diharapkan dapat membantu menekan biaya

operasional dan biaya investasi peralatan yang dikeluarkan oleh peternak. Luaran dari penelitian yang dilakukan adalah berupa rancangan gambar dan skematik serta spesifikasi alat-alat yang digunakan agar dapat dijadikan acuan dalam penelitian terkait di masa yang akan datang.

Siklus refrigerasi adalah siklus kerja yang mentransfer kalor dari media bertemperatur rendah ke media bertemperatur lebih tinggi dengan menggunakan kerja dari luar sistem [8]. Prinsip refrigerasi (*heat pump*) memiliki perbedaan dari siklus mesin kalor (*heat engine*) karena *heat pump* berfungsi untuk memindahkan kalor pada suatu media menggunakan input kerja sedangkan *heat engine* berfungsi untuk mengubah energi termal menjadi kerja [9]. Siklus refrigerasi yang sering digunakan sebagai *cooling storage* adalah siklus kompresi uap (*vapor compression refrigeration cycle*) dan siklus absorpsi (*absorption refrigeration cycle*). Sebuah siklus refrigerasi kompresi uap saat beroperasi terdiri atas komponen utama berupa kompresor, kondensor, alat ekspansi dan evaporator.

Sebelum melakukan analisis dan menentukan besar beban pendinginan serta spesifikasi peralatan yang diperlukan pada sebuah ruang pendingin, terlebih dahulu dilakukan pengumpulan data berupa *physical properties* yang dimiliki oleh karkas ayam pedaging seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. *Physical properties* yang dimiliki karkas ayam pedaging

Parameter	Ukuran	Refer.
Massa Spesifik	$6,75 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$	[10]
Temperatur Pembekuan	$-2,8^\circ\text{C}$ (274,7 K)	[9]
Panas Spesifik di atas Titik Beku	3,32 kJ/kg.K	[9]
Panas Spesifik di bawah Titik Beku	1,77 kJ/kg.K	[9]
Panas Laten	247 kJ/kg	[9]
Temperatur produk sebelum penyimpanan	$25^\circ\text{C}$ (298 K)	
Lama waktu penyimpanan	9 Bulan	

Pada penelitian ini sistem refrigerasi akan disuplai oleh dua model sumber listrik (*hybrid*), yaitu listrik komersil dan listrik panel surya (PLTS). Sumber listrik komersil digunakan untuk menyuplai sistem pada saat beban puncak seperti saat awal ruangan akan digunakan hingga mencapai temperatur yang diinginkan. Sedangkan PLTS akan menyuplai saat ruangan telah mencapai temperatur optimal dan menjaga temperatur ruangan tetap stabil. Hal tersebut bertujuan untuk menekan biaya investasi peralatan panel surya yang cukup mahal serta cenderung linier dengan besar beban yang akan disuplai.

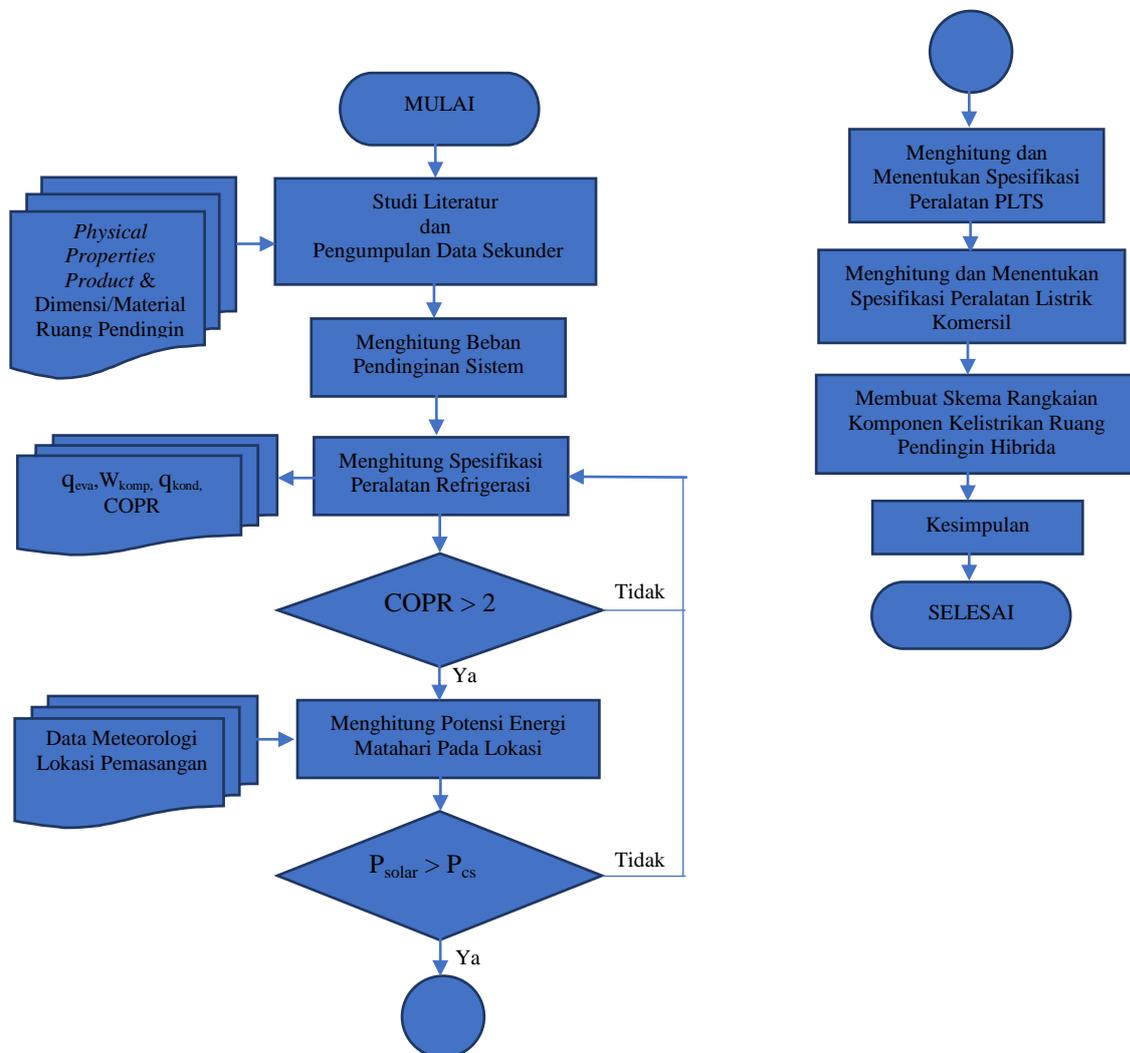
Sistem kerja PLTS dibedakan menjadi dua macam sistem. Sistem *on grid* yang dapat bekerja secara paralel dengan jaringan listrik komersil (PLN). Sistem *off grid* bekerja secara terpisah dari jaringan listrik

komersil sehingga membutuhkan media penyimpanan berupa baterai [11]. Masing-masing sistem memiliki kelebihan dan kekurangan dan memiliki skema rangkaian peralatan elektronik yang relatif berbeda. Pada penelitian ini sistem yang digunakan adalah sistem *off grid*, hal tersebut bertujuan agar saat suplai cahaya matahari berkurang atau listrik padam suplai daya ruang pendingin tetap terjamin.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini diawali dengan melakukan studi literatur dan pengumpulan data sekunder yang berasal dari artikel penelitian-penelitian terdahulu. Setelah itu ditentukan kapasitas ruang pendingin dan menghitung besar beban pendinginan yang dimiliki sistem. Jumlah beban pendinginan yang dimiliki sistem digunakan untuk menentukan spesifikasi peralatan sistem refrigerasi yang diperlukan.

mempermudah analisis, data meteorologi lokasi pemasangan yang digunakan bersumber dari *online database* meteonorm 8.0 (1997-2017) [12]. Data tersebut diolah menggunakan aplikasi PVsyst 7.2 sehingga dapat digunakan untuk menentukan spesifikasi peralatan-peralatan PLTS. Besar potensi daya energi matahari ( $P_{solar}$ ) pada lokasi pemasangan harus lebih besar dibandingkan kebutuhan daya ruang pendingin ( $P_{cs}$ ). Dari hasil perhitungan spesifikasi sistem refrigerasi dan besar potensi energi matahari yang diperoleh, maka dapat ditentukan spesifikasi komponen dan peralatan pembangkit listrik surya serta komponen kelistrikan komersil yang dibutuhkan untuk membuat sebuah ruang pendingin *hybrid*. Tahapan penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Nilai COPR yang didapatkan harus besar dari dua ( $COPR > 2$ ) untuk memastikan sistem refrigerasi layak digunakan. Setelah itu dilakukan perhitungan besar potensi energi menggunakan data meteorologi berdasarkan titik lokasi pemasangan. Untuk

### 3. Hasil dan Pembahasan

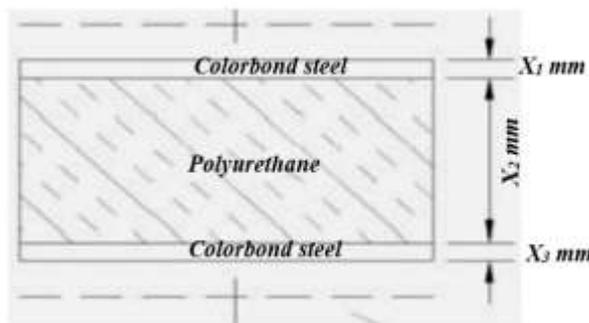
Berdasarkan sifat fisik dari karkas ayam yang akan dibekukan maka dimensi ruang pendingin dapat dihitung menggunakan Persamaan (1) berikut.

$$v_p \times m_p = V_r \quad (1)$$

Volume ruang minimum ( $V_r$ ) dapat diketahui dari besar nilai massa spesifik produk ( $v_p$ ) dikalikan dengan massa produk ( $m_p$ ) yang akan didinginkan.

Setelah volume ruang minimum diketahui maka dapat ditentukan jenis material dinding ruang pendingin. Penentuan material dinding ruangan yang akan digunakan merupakan tahap yang cukup penting dalam merancang sebuah ruang pendingin. Material yang digunakan harus memiliki kemampuan isolasi termal yang baik. Hal tersebut bertujuan untuk memperkecil kemungkinan infiltrasi panas dari lingkungan ke dalam ruang pendingin sehingga temperatur ruangan relatif stabil.

Jenis material yang biasa digunakan sebagai dinding pada sebuah ruang pendingin adalah jenis *polyurethane* dengan ketebalan mencapai 100 mm dengan kedua sisi permukaan dilapisi oleh material logam atau sejenis komposit dengan ketebalan 0,5 mm – 1 mm [7]. Penggunaan *polyurethane* cukup direkomendasikan karena memiliki sifat isolator yang baik dan konduktifitas termal yang rendah. Material logam/komposit pada sisi dinding luar dan dalam ruangan harus terbuat dari material yang memiliki ketahanan korosi yang baik dan tidak bereaksi secara kimia dengan produk yang akan dibekukan. Jenis material yang sering digunakan adalah baja *stainless steel*, *colorbond steel* dll. Adapun skema bentuk penampang dinding ruang pendingin dapat dilihat pada Gambar 1 dan nilai konduktifitas termal material terlihat pada Tabel 2.



Gambar 1. Penampang ruang pendingin [7]

Tabel 2. Konduktifitas termal material dinding

Konduktivitas Termal	Ukuran	Refer.
<i>Polyurethane</i>	0,0224 W/m <sup>2</sup> .K	[7]
<i>Colorbond steel</i>	31,2 W/m <sup>2</sup> .K	[7]

Proses penelitian dilanjutkan dengan menentukan besar beban pendinginan (*cooling load*) yang dimiliki oleh ruang pendingin. Beban pendinginan pada sebuah ruang pendinginan berasal dari dua faktor

yaitu beban pendinginan faktor dalam dan beban pendinginan faktor luar [13]. Beban faktor luar merupakan jumlah energi panas yang meresap kedalam ruang pendinginan akibat dari perbedaan temperatur antara sisi luar dan sisi dalam ruangan seperti perambatan panas pada dinding dan aliran udara pada saat keluar-masuk ruang pendingin. Untuk menentukan jumlah energi panas yang merambat melalui dinding ruangan maka dapat digunakan Persamaan (2) dan Persamaan (3).

$$Q_t = A \times U \times \Delta T \quad (2)$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \sum \frac{x_i}{k_i} + \frac{1}{h_2}} \quad (3)$$

$Q_t$ : Beban pendinginan dinding (kJ); A: Luas permukaan dinding (m<sup>2</sup>); U: Faktor rugi-rugi panas (W/m<sup>2</sup>.K);  $\Delta T$ : Perbedaan temperatur ruangan dan lingkungan (K).  $h_{1,2}$ : Koefisien konveksi udara (30 W/m<sup>2</sup>.K);  $x_i$ : Tebal tiap lapisan dinding (m);  $x_{1,3}$ : 0,001 m;  $x_2$ : 0,1 m;  $k_i$ : Konduktifitas termal material dinding (W/m<sup>2</sup>.K).

Mengingat aktifitas dalam ruang pendingin yang dilakukan oleh pekerja hanya pada saat memasukkan dan mengeluarkan produk dari dalam ruangan. Beban faktor luar yang disebabkan oleh infiltrasi akibat frekwensi proses keluar-masuk ruangan pendingin dan udara yang masuk melalui celah pintu dalam penelitian ini diabaikan.

Beban faktor pendinginan dalam merupakan energi panas yang berasal dari produk, peralatan elektronik seperti lampu dan *fan blower* pada evaporator. Namun karena aktifitas manusia dan efek panas yang dihasilkan lampu dan komponen elektronik lain relatif kecil, maka pada penelitian ini beban faktor dalam yang dihitung hanya energi panas yang dihasilkan oleh produk. Adapun persamaan untuk menghitung beban pendinginan faktor dalam terlihat pada Persamaan (4).

$$Q_d = Q_{p1} + Q_{p2} \quad (4)$$

$$Q_{p1} = m_p \times C_{p1} \times \Delta T_1$$

$$Q_{p2} = m_p \times C_{p2} \times \Delta T_2$$

$Q_d$ : Total beban pendinginan produk (kJ);  $Q_{p1}$ : Beban pendinginan yang dihasilkan dari temperatur awal/ $T_0$  hingga titik beku produk/ $T_1$  (kJ);  $Q_{p2}$ : Beban pendinginan produk saat temperatur beku/ $T_1$  hingga titik pendinginan/ $T_2$  (kJ);  $m_p$ : Massa produk (1000 kg);  $C_{p1}$ : Panas spesifik di atas titik beku (kJ/kg.K);  $C_{p2}$ : Panas spesifik di bawah titik beku (kJ/kg.K);  $\Delta T_1$  = Selisih temperatur awal dengan temperatur beku (K);  $\Delta T_2$  = Selisih temperatur beku dengan temperatur pendinginan (K).

Dengan menjumlahkan faktor beban pendinginan luar dan beban pendinginan dalam maka jumlah beban pendinginan yang dihasilkan ruangan dapat ditentukan. Daging ayam pasca proses pemotongan (karkas) harus segera dimasukkan kedalam ruang pendingin dan mencapai temperatur penyimpanan ideal untuk mengurangi resiko kontaminasi serta menghambat pertumbuhan mikroba pembusukan, untuk itu ruang pendinginan dirancang harus mampu mencapai temperatur optimal (-18°C) dalam waktu maksimal 6 jam setelah karkas dimasukkan ke dalam ruang penyimpanan. Penyimpanan karkas pada temperatur -18°C dan mencapai temperatur tersebut dalam 6 jam setelah pemotongan dapat meningkatkan jangka waktu atau daya simpan hingga mencapai 6-9 bulan [14]. Sehingga untuk menghitung laju energi yang dibutuhkan sistem refrigerasi dalam mencapai temperatur optimal dapat dihitung menggunakan Persamaan (5).

$$q_p = \frac{Q_d}{\Delta t} \quad (5)$$

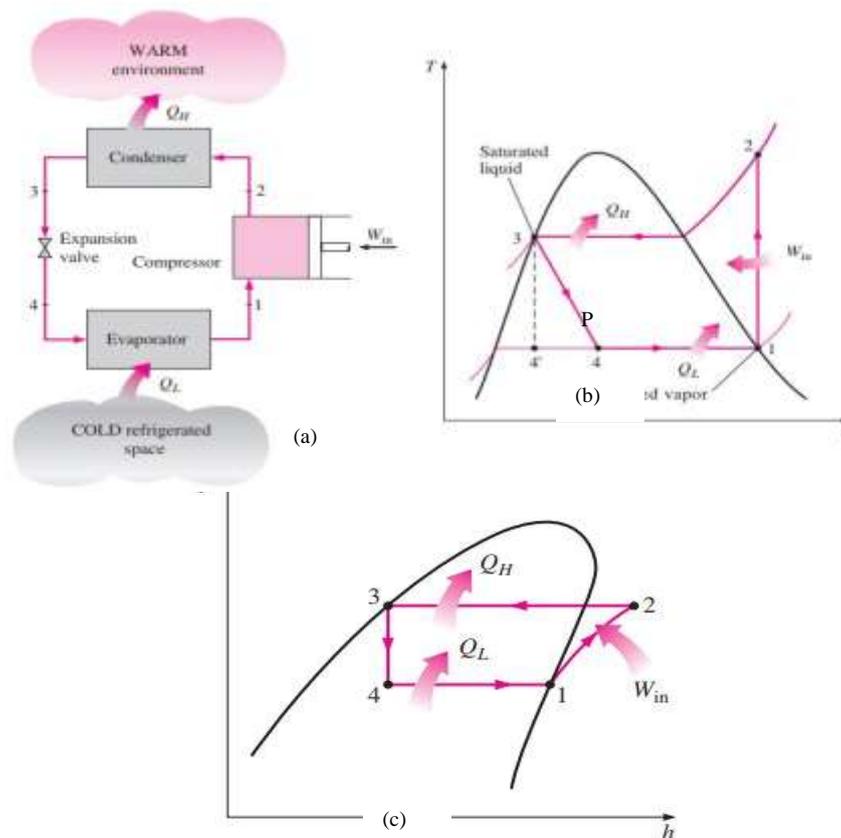
$q_p$ : Laju pendinginan refrigerasi (kW);  $Q_d$ : Total beban pendinginan produk (kJ);  $\Delta t$ : Durasi untuk mencapai temperatur pendinginan optimal (3600 detik x 6).

pendinginan produk. Karena udara yang berada pada ruangan saat awal pendinginan juga memiliki potensi energi yang harus diserap oleh sistem refrigerasi, sehingga besar laju penyerapan energi yang dimiliki udara dalam ruangan dapat dihitung menggunakan Persamaan (6).

$$q_a = \dot{m}_{da} [ (h_{a1} - h_{a2}) - (W_1 - W_2) h_{w2} ] \quad (6)$$

$q_a$ : Laju energi faktor udara ruang (kW);  $\dot{m}_{da}$ : Laju massa udara kering (0,1 kg/s);  $h_{a1}$ : enthalphy udara input (51,34 kJ/kg);  $h_{a2}$ : enthalphy udara output (-16,2 kJ/kg);  $W_1$ : rasio kelembaban udara input (0,010 gr/kg dry air);  $W_2$ : rasio kelembaban udara input (0,00077 gr/kg dry air);  $h_{w2}$ : enthalphy spesifik pada tekanan atmosfer (-370,02 kJ/kg) [9].

Setelah didapatkan besar laju energi yang berasal dari faktor beban pendinginan dan udara dalam ruangan maka besar kerja refrigerasi ( $q_{eva}$ ) dan spesifikasi peralatan yang diperlukan untuk mendinginkan produk dapat ditentukan. Dalam melakukan analisis terhadap masing komponen-komponen pada siklus kompresi uap dapat menggunakan pendekatan skema dan diagram seperti terlihat Gambar 2.



Gambar 2. (a) Skema siklus kompresi uap (b) T-s diagram (c) P-h Diagram [9]

Namun untuk menghitung suatu ruang pendingin, tidak cukup hanya berdasarkan besar laju energi yang berasal dari total beban

Refrigeran merupakan bahan pendingin berupa fluida yang digunakan untuk menyerap kalor melalui perubahan perubahan fase cair ke gas (titik 4-1) dan membuang kalor melalui perubahan fase gas ke cair /pengembunan (titik 2-3). Jenis refrigeran yang digunakan dalam penelitian ini adalah R134-a. Untuk menyederhanakan perhitungan dalam menentukan

spesifikasi komponen yang akan digunakan dalam ruang pendingin yang beroperasi pada temperatur -18°C. Sehingga temperatur kerja refrigeran pada evaporator diasumsikan dengan nilai 2 x Temperatur ruang pendingin (T<sub>2</sub>) yaitu -36°C dan temperatur kerja refrigeran pada kondensor adalah 45°C. Kondisi dan sifat refrigeran dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. *Properties* R134-a pada sistem pendingin [8]

Point Diagram	Temp °C	Press MPa	Specific Enthalpy (h) kJ/kg	Specific Entropy (s) kJ/kg.K	Phase
1	-36	0,06	228,39	0,963	Saturated Vapor
3	46	1,20	117,32	0,423	Saturated Liquid
4	-36	0,06	117,32	0,490	Liquid Vapor Mix.
2	61	1,20	279,40	0,963	Super heated Vapor
<i>Isotermal</i>	<i>Isobaric</i>	<i>Isoenthalpic</i>	<i>Isoentropic.</i>		
1,4	2,3	1,4	3,4	1,2	

Berdasarkan data *properties* refrigeran R134-a pada Tabel 3 di atas, refrigeran pada evaporator menyerap kalor dari udara dan menyebabkan perubahan fase *output* menjadi uap jenuh (*saturated vapour*) pada temperatur konstan -36°C dan tekanan 0,06 MPa. Dengan menggunakan beban pendinginan (q<sub>eva</sub>) dan R134-a *properties* maka dapat dihitung laju massa fluida refrigerasi (m<sub>r</sub>) dengan Persamaan (7):

$$\dot{m}_r = q_{eva} / (h_1 - h_4) \quad (7)$$

Pada kompresor, refrigeran mengalami pemanasan dan terjadi peningkatan tekanan mencapai 1,2 MPa dan temperatur 61°C dengan fase *superheated vapor*. Proses terjadi secara *isentropic* sehingga besar kerja kompresor (W<sub>komp</sub>) yang dibutuhkan dapat dihitung menggunakan Persamaan (8).

$$W_{komp} = \dot{m}_r \times (h_2 - h_1) \quad (8)$$

Pada Kondensor, fluida yang berada fase *superheated vapor* mengalami pengembunan dalam kondisi tekanan konstan dan diharapkan mampu mengalami penurunan temperatur hingga 45°C dan mengalami perubahan fase menjadi *saturated liquid*. Besaran laju energi atau panas yang dibuang ke lingkungan pada kondesor (q<sub>kond</sub>) dapat dihitung menggunakan Persamaan (9).

$$q_{kond} = \dot{m}_r \times (h_2 - h_3) \quad (9)$$

Pada katup ekspansi proses yang terjadi pada fluida refrigeran adalah penurunan tekanan hingga kembali mencapai 0,06 MPa pada temperatur -36°C, sehingga fluida berubah fase menjadi *campuran liquid-vapour* dengan nilai kualitas 0,6. Siklus tersebut dilakukan secara berulang (*reversible*) selama pengoperasian.

Berdasarkan analisis menggunakan Persamaan (7) – (9) dapat dihitung kinerja pendinginan atau koefisien prestasi dari sistem refrigerasi (*Coefficient of Performance Refrigeration*), COPR merupakan perbandingan jumlah energi yang diserap oleh evaporator terhadap besar kerja yang diperlukan oleh kompresor. Semakin tinggi nilai COPR maka kinerja refrigerasi dinilai semakin baik, nilai COPR normal berada pada rentang 2 hingga 5 [15]. Untuk menghitung nilai COPR dapat menggunakan Persamaan (10):

$$COPR = q_{eva} / W_{komp} \quad (10)$$

Menggunakan persamaan (1) – (10) maka spesifikasi dan kapasitas ruang pendingin yang digunakan sebagai penyimpanan karkas ayam pedaging kapasitas satu ton dapat dilihat pada Tabel 4. berikut ini.

Tabel 4. *Spesifikasi ruang pendinginan karkas ayam kapasitas satu ton*

No.	Item	Spesifikasi
1	Volume Ruang Pendingin	(V <sub>r</sub> ) 6,75 m <sup>3</sup> (ukuran minimal)
	Dimensi ruang yang digunakan	(p x l x t) (2,5 x 2 x 1,5) m <sup>3</sup>
2	Beban Pendinginan Luar	
	Beban Infiltrasi Dinding	(Q <sub>i</sub> ) 248,95 kJ
3	Beban Pendinginan Dalam	
	Beban Pendinginan Produk	(Q <sub>d</sub> ) 129.112 kJ
4	Laju Energi Faktor Udara Ruang	(q <sub>a</sub> ) 4,21 kW
5	Laju Pendinginan Refrigerasi	(q <sub>p</sub> ) 5,99 kW
6	Laju Penyerapan Evaporator	(q <sub>eva</sub> ) 10,20 kW
7	Laju Massa Fluida	(m <sub>r</sub> ) 0,09 kg/s
8	Besar Kerja Kompresor	(W <sub>komp</sub> ) 4,69 kW
9	Laju Pembuangan Panas Kondensor	(q <sub>kond</sub> ) 14,89 kW
10	Koefisien Prestasi Sistem Refrigerasi	(COPR) 2,2

Setelah dilakukan analisis dan perhitungan menggunakan Persamaan (1) – (10) didapatkan spesifikasi ruangan seperti terlihat pada Tabel 4. Nilai COPR yang dihasilkan adalah 2,2. Hal tersebut menyatakan bahwa sistem refrigerasi yang dirancang layak digunakan sebagai ruang pendingin. Besar kerja kompresor ( $W_{komp}$ ) sebesar 4,21 kW dijadikan acuan dalam menentukan spesifikasi komponen kelistrikan yang akan digunakan sebagai catu daya ruang pendinginan untuk mencapai temperatur yang diinginkan. Kerja kompresor tersebut merupakan beban puncak yang diperlukan saat mendinginkan ruangan dari temperatur awal ( $T_0$ ) hingga mencapai Temperatur optimal/akhir ( $T_2$ ). Catu daya yang digunakan pada proses tersebut merupakan sumber energi listrik komersial (PLN). Saat menggunakan jaringan PLN maka jaringan listrik yang digunakan adalah aliran 3-Phase dan dilengkapi dengan *Automatic Transfer Switch* (ATS) yang berfungsi untuk memindahkan jaringan suplai daya dari jaringan PLN ke jaringan listrik dari PLTS saat temperatur ruang pendinginan mencapai temperatur optimal. Hal tersebut bertujuan untuk menjaga temperatur ruangan

tetap stabil secara efisien. Beban pendinginan yang dimiliki ruang pendinginan saat temperatur ruang pendingin setelah mencapai optimal merupakan infiltrasi panas yang merambat melalui dinding ruangan ( $Q_t$ ) yaitu sebesar 248,95 kJ atau daya sebesar 70 watt. Selain itu PLTS juga harus menyuplai beberapa komponen tambahan seperti kipas pada evaporator dan kondensor serta lampu penerangan ruangan, sehingga total beban yang harus di suplai adalah sebesar 180 watt.

Untuk menentukan potensi energi cahaya matahari atau data meteorologi pada lokasi pemasangan dan spesifikasi peralatan PLTS pada penelitian ini digunakan data yang bersumber dari *online database* Meteororm 8.0 (1996-2017) dan diolah menggunakan aplikasi PVsyst 7.2 [12]. Lokasi yang ditetapkan adalah sekitar Kota Payakumbuh yang menjadi sentra peternakan ayam pedaging di wilayah Sumatra Barat. Data potensi energi matahari dan spesifikasi komponen peralatan PLTS yang dapat dilihat pada Gambar 3. berikut ini.

	Global horizontal irradiation	Horizontal diffuse irradiation	Temperature	Wind Velocity	Linke turbidity	Relative humidity
	kWh/m <sup>2</sup> /day	kWh/m <sup>2</sup> /day	°C	m/s	[ ]	%
January	4.26	2.27	24.5	1.00	3.789	82.5
February	4.59	2.99	24.8	0.99	4.751	81.0
March	4.73	2.66	25.0	0.89	4.337	80.9
April	4.66	2.34	24.7	0.89	3.745	84.0
May	4.78	2.22	25.5	0.90	3.758	81.3
June	4.43	2.22	24.8	1.00	3.885	82.1
July	4.54	2.28	24.7	1.00	3.833	81.3
August	4.53	2.47	24.8	1.19	4.527	80.9
September	4.48	2.48	24.3	1.09	5.336	83.1
October	4.35	2.69	24.7	0.89	5.700	82.1
November	4.18	2.26	24.1	0.89	3.990	85.5
December	3.71	2.01	24.4	1.00	3.543	83.9
<b>Year</b>	<b>4.44</b>	<b>2.40</b>	<b>24.7</b>	<b>1.0</b>	<b>4.267</b>	<b>82.4</b>

(a)

PV Array		Batteries	
<b>PV module</b>	Generic	<b>Battery</b>	Generic
Manufacturer		Manufacturer	
Model	Poly-180 Wp 36 cells	Model	Battery module Li-Ion, 13V 100 Ah
(Original PVsyst database)		Technology	Lithium-Ion, LFP
Unit Nom. Power	180 Wp	Nb. of units	3 in parallel x 2 in series
Number of PV modules	9 units	Discharging min. SOC	20.0 %
Nominal (STC)	1440 Wp	Stored energy	6.3 kWh
Modules	3 Strings x 3 in series	<b>Battery Pack Characteristics</b>	
<b>At operating cond. (50°C)</b>		Voltage	26 V
Pmpp	1297 Wp	Nominal Capacity	309 Ah (C10)
U <sub>mpp</sub>	49 V	Temperature	Fixed 20 °C
I <sub>mpp</sub>	26 A		
<b>Controller</b>		<b>Battery Management control</b>	
Universal controller		Threshold commands as	SOC calculation
Technology	MPPT converter	Charging	SOC = 0.00 / 0.75
Temp. coeff.	-5.0 mV/°C/Elem.	Discharging	SOC = 0.20 / 0.45
<b>Converter</b>			
Maxi and EURO efficiencies	97.0 / 95.0 %		
<b>Total PV power</b>			
Nominal (STC)	1.44 kWp		
Total	9 modules		
Module area	8.9 m <sup>2</sup>		
Cell area	4.2 m <sup>2</sup>		

(b)

Gambar 3. (a) Data meteorologi lokasi pemasangan PLTS [15]  
 (b) Spesifikasi peralatan PLTS

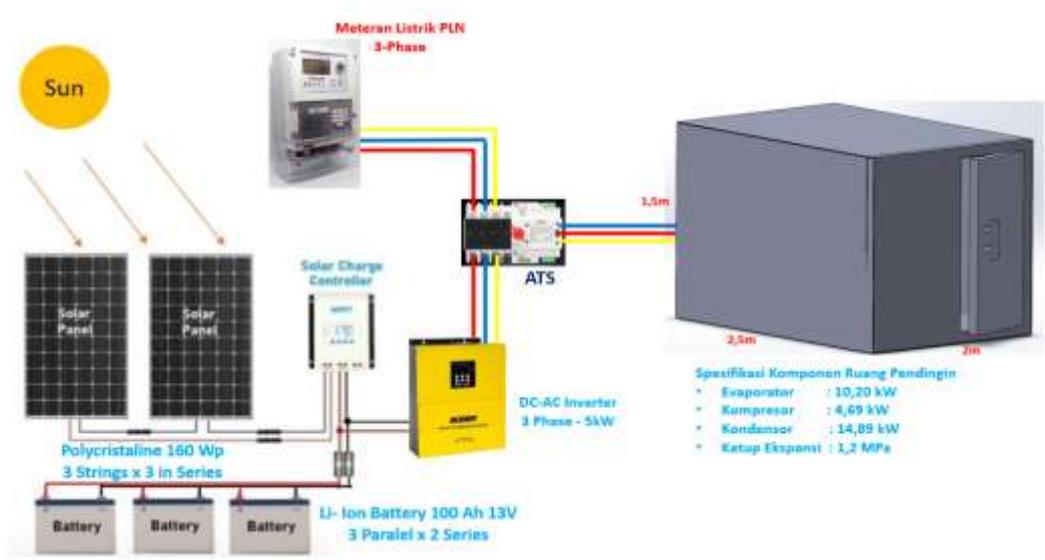
Selanjutnya dilakukan analisis dan pengolahan data menggunakan aplikasi PvSyst 7.2 dan didapatkan nilai kebutuhan energi harian untuk menyuplai ruang pendingin sebesar 4,3 kWh serta besar potensi energi harian rata-rata sepanjang tahun adalah 4,44 kWh/m<sup>2</sup>/hari. Sehingga Sistem PLTS membutuhkan sembilan modul panel surya berkapasitas total 1,44 kWp (160 Wp/panel), sistem ini diperkirakan mampu menghasilkan energi tahunan sebesar 1802 kWh (4,26 kWh/hari). *Performance Ratio* (PR) yang dimiliki sistem adalah sebesar 65,07% dan *Solar Fraction* (SF) 91,85%. Rasio Performa atau PR menunjukkan seberapa baik sistem panel surya mengubah energi matahari yang diterimanya menjadi listrik yang dapat digunakan. Rasio ini dihitung dengan membandingkan energi listrik aktual yang dihasilkan oleh sistem dengan energi yang dihasilkan dalam kondisi optimal (dengan mempertimbangkan faktor iradiasi matahari yang tersedia). Sehingga nilai PR masih bisa ditingkatkan menggunakan teknik tertentu untuk mendapatkan performa sistem yang optimal. SF atau fraksi surya mengukur seberapa besar persentase kebutuhan energi pengguna yang dapat dipenuhi oleh energi surya yang dihasilkan oleh sistem tersebut. Dalam hal ini kebutuhan energi harian dapat dipenuhi oleh sumber daya matahari tanpa banyak mengandalkan sumber daya tambahan. Semakin tinggi nilai SF, semakin besar bagian energi yang disuplai oleh sumber daya energi matahari, sehingga mengurangi ketergantungan pada sumber energi tambahan atau cadangan.

Namun, salah satu tantangan utama sistem ini adalah manajemen energi berlebih sebesar 296 kWh per tahun yang diperkirakan tidak dapat dimanfaatkan akibat keterbatasan kapasitas penyimpanan baterai. Sistem penyimpanan energi dirancang menggunakan teknologi *Lithium-ion* (LFP) dengan kapasitas total 6,3 kWh (13V, 100Ah/unit) dengan konfigurasi 3-unit paralel dan 4-unit seri baterai. Modul tersebut dirancang untuk mengakomodasi kebutuhan harian. Meski demikian, terdapat beberapa kehilangan energi

yang signifikan dalam proses penyimpanan, seperti efisiensi pengisian dan akibat proses pengosongan sebesar 2,58%, serta *self-discharge* sebesar 0,32%. Hal ini menunjukkan bahwa kapasitas penyimpanan baterai dan efisiensinya menjadi faktor kritis yang perlu ditingkatkan untuk mengurangi energi yang terbuang di masa yang akan datang.

Unit PLTS dilengkapi dengan pengontrol *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) yang mampu memaksimalkan penyerapan energi dari iradiasi matahari dengan efisiensi maksimum sebesar 97%. Penggunaan pengontrol MPPT bertujuan untuk meminimalkan kehilangan energi selama proses konversi listrik dari panel surya ke baterai. Selain itu efisiensi termal sistem panel surya juga dapat memengaruhi performa modul hingga mengalami penurunan akibat suhu lingkungan yang meningkat dan menghasilkan kehilangan energi sekitar 9,86% dari total energi yang dihasilkan.

Secara keseluruhan, hasil analisis rancangan menunjukkan bahwa sistem PLTS mampu memenuhi kebutuhan energi ruang pendingin secara signifikan, dengan efisiensi konversi yang cukup baik. Namun, untuk meningkatkan performa, perlu adanya optimasi pada kapasitas penyimpanan baterai dan pengurangan kehilangan energi pada tahap penyimpanan. Penambahan kapasitas penyimpanan baterai atau penggunaan teknologi baterai yang lebih canggih dapat menjadi solusi jangka panjang untuk mengatasi tantangan ini. Dengan demikian, sistem pendingin surya ini memiliki potensi besar untuk diterapkan di lokasi serupa dengan kebutuhan energi yang stabil dan akses terhadap sinar matahari yang konsisten sepanjang tahun. Berdasarkan hasil analisis perhitungan secara teknis untuk menentukan spesifikasi peralatan ruang pendingin dan PLTS yang akan digunakan sebagai media penyimpanan daging (karkas) ayam pedaging kapasitas satu ton dapat dilihat skema yang terdapat pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Skema dan spesifikasi ruang pendingin hibrida untuk karkas ayam pedaging kapasitas satu ton

#### 4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merancang sistem ruang pendingin hibrida untuk penyimpanan karkas ayam pedaging dengan kapasitas satu ton, yang mengombinasikan energi surya (PLTS) dan listrik komersial (PLN). Sistem ini dirancang untuk memenuhi kebutuhan peternakan skala kecil menghindari kerugian dengan cara mendinginkan karkas ayam pada sebuah ruang pendingin. Pada sistem ini telah dirancang ruang pendingin berukuran 2,5m x 2m x 1,5m dengan nilai COPR 2,2 dan menggunakan sembilan modul panel surya berkapasitas total 1,44 kWp serta 6-unit baterai kapasitas 13V-100Ah/unit. Lokasi pemasangan memiliki potensi energi matahari sebesar 4,44 kWh/m<sup>2</sup>/hari, sehingga sistem diperkirakan mampu menghasilkan energi tahunan sebesar 1802 kWh dengan Rasio Performa (PR) sebesar 65,07% dan Fraksi Surya (SF) mencapai 91,85%.

#### Daftar Rujukan

- [1]. Khotimah DF, Faizah UN, Sayekti T, editors.. 2021. Protein sebagai zat penyusun dalam tubuh manusia: tinjauan sumber protein menuju sel. *Proceeding of Integrative Science Education Semina*, 1, pp.127-133.
- [2]. Risnajati D. 2010. Pengaruh lama penyimpanan dalam lemari es terhadap pH, daya ikat air, dan susut masak karkas broiler yang dikemas plastik polyethylen. *Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Peternakan*, 13 (6), pp.309-315.
- [3]. Sabil S, Sari I. 2021. Proses Produksi Karkas Ayam pada Sistem Rantai Dingin. *Jurnal Peternakan Lokal*, 3 (2), pp.48-53.
- [4]. Pestariati. 2008. Pengaruh Lama Penyimpanan Daging Ayam pada Suhu Refrigerator terhadap Jumlah Total Kuman, Salmonella sp, Kadar Protein dan Derajat Keasaman. Surabaya : Program Pascasarjana Universitas Airlangga, Surabaya.
- [5]. Bachtiar M. 2006. Prosedur perancangan sistem pembangkit listrik tenaga surya untuk perumahan. *Jurnal SMARTek*, 4 (3), pp.176 - 182.
- [6]. Lubis S, Siregar MA, Damanik WS. 2022. Uji Eksperimental Kemampuan Lemari Pembeku Terhadap Beban Pendingin Menggunakan Energi Matahari. *Jurnal Media Mesin*, 23(1), pp.52-57.
- [7]. Fajarani RM, Handoyo Y, Rahmanto RH. 2019. Analisis Beban Pendinginan Pada Cold Storage Untuk Penyimpanan Daging. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 7 (1), pp.12-22.
- [8]. Afshar O, Saidur R, Hasanuzzaman M, Jameel M., 2012. A review of thermodynamics and heat transfer in solar refrigeration system. *Renewable Sustainable Energy Reviews*, 16(8), pp. 5639-5648.
- [9]. Cengel YA, Boles MA, Kanoğlu M., 2011. Thermodynamics: an engineering approach: McGraw-hill New York.
- [10]. Supriyanto, Budiharti U. 2008. Rekayasa Chiller untuk Membekukan Karkas Ayam. *Jurnal Enjiniring Pertanian*, 6 (1), pp.33-40.
- [11]. Asrul J, Hendri Z, Putri DD. 2024. Rancang Bangun Trainer Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dengan Metoda Off Grid dan On Grid Sebagai Media Perkuliahan Sistem Pembangkit. *Jurnal Ilmiah Poli Rekayasa*, 19 (1), pp.41-45.
- [12]. Meteonorm 8.0 [Internet]. 2017. Tersedia di : [https://www.pvsyst.com/help-pvsyst7/meteo\\_source\\_meteonorm.htm](https://www.pvsyst.com/help-pvsyst7/meteo_source_meteonorm.htm). [Accessed 10 Agustus 2024].
- [13]. Vaughn M., 2023. 2022-2023 ASHRAE Research Report. *ASHRAE Journal*, 65 (10).
- [14]. Berapa Lama Ayam Bertahan di Freezer? Ini Faktanya. 2022 Tersedia di : <https://bpdfood.co.id/berapa-lama-ayam-bertahan-di-freezer-ini-faktanya/>
- [15]. Wang SK, Wang SK. 2000, Handbook of air conditioning and refrigeration. Second Edition. New York San Francisco Washington, D.C : McGraw-Hill.