

PERENCANAAN PERHITUNGAN BEBAN PENDINGINAN RUANG FROZEN DENGAN KAPASITAS 100 TON PER HARI PADA PERGUDANGAN PENYIMPANAN BERPENDINGIN

Hari Purbatin¹, Agung Wahyudi Biantoro¹

¹ Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana Jakarta
Jl. Meruya Selatan No. 1, Kembangan, Jakarta Barat 11650, Indonesia

E-mail: purbatin.hari@gmail.com

Abstrak--PT. XYZ adalah perusahaan penyewaan pergudangan yang mempunyai pergudangan dengan multi suhu yang dirancang khusus untuk penyimpanan produk yang bervariasi dan membutuhkan suhu khusus. Didalam perancangan Cold storage dibutuhkan beberapa faktor, salah satunya adalah beban pendinginan yang digunakan untuk mengetahui kapasitas peralatan pendingin yang akan digunakan untuk cold storage tersebut. Pada tugas akhir ini, akan difokuskan bagaimana menghitung beban pendinginan untuk cold storage, nantinya dapat diketahui kondisi beban pendinginan yang disebabkan oleh jumlah produk yang akan disimpan dalam cold storage setiap harinya. Total beban pendinginan ruang Frozen di Cold Storage adalah 243222,57 W. Total beban pendinginan tersebut dengan kondisi suhu perencaan ruang frozen adalah -25°C , dimensi 16875 m^3 dan produk daging sapi yang disimpan 100 ton/hari.

Kata kunci : cold storage, air blast freezer, beban pendingin,

Abstract--PT. XYZ is a warehousing company that has multi-temperature warehouses specifically designed for the storage of products that vary and require special temperatures. In the design of cold storage, several factors are needed, one of which is the cooling load used to determine the capacity of the cooling equipment that will be used for the cold storage. In this final project, it will be focused on how to calculate the cooling load for cold storage, later it can be seen the condition of the cooling load caused by the number of products that will be stored in cold storage every day. The total cooling load in the Frozen room in Cold Storage is 243222.57 W. The total cooling load is -25°C , with dimensions of 16875 m^3 and beef products stored 100 tons/day.

1. PENDAHULUAN

Cold storage adalah ruangan untuk menyimpan suatu produk yang memerlukan suhu dingin. Fungsi dari cold storage sendiri adalah sebagai tempat penyimpanan produk baik itu makanan maupun barang-barang tertentu yang membutuhkan suhu khusus. Selain sebagai ruang penyimpanan, cold storage dapat digunakan untuk pembekuan makanan. Tujuan dari penyimpanan makanan dalam keadaan beku adalah untuk pengawetan. Proses pembekuan makanan pada suhu dibawah titik beku air akan menghambat pertumbuhan mikrobiologi yang akan merusak komposisi makanan.

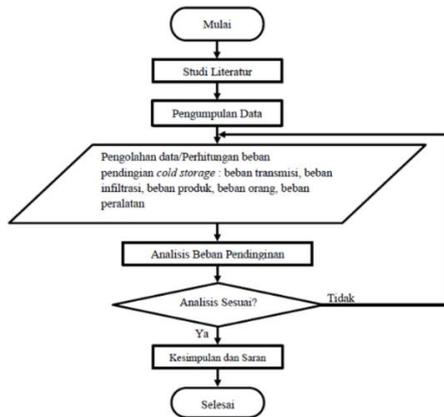
PT. XYZ adalah perusahaan penyewaan pergudangan yang mempunyai pergudangan dengan multi suhu yang dirancang khusus untuk penyimpanan produk yang bervariasi dan membutuhkan suhu khusus. Gudang XYZ terletak di Kawasan Industri di area Bekasi tersebut mengoperasikan gudang berpendingin dengan suhu beku, dingin, dan normal yang terkait dengan penyimpanan. Didalam perancangan Cold storage dibutuhkan beberapa faktor, salah satunya adalah beban pendinginan yang digunakan untuk mengetahui kapasitas

peralatan pendingin yang akan digunakan untuk cold storage tersebut. Beban pendinginan untuk cold storage dengan kapasitas yang sama sangat bervariasi, hal ini disebabkan oleh : desain bangunan, perbedaan suhu dalam dan luar ruangan. Penelitian ini difokuskan pada perhitungan beban pendinginan untuk ruang Frozen pada cold storage, produk yang disimpan di dalam ruang frozen adalah daging sapi dengan kapasitas 100 ton/hari. Hasil penelitian ini nantinya dapat mengetahui kondisi beban pendinginan yang disebabkan oleh jumlah produk yang akan disimpan dalam cold storage setiap harinya.

2. METODOLOGI

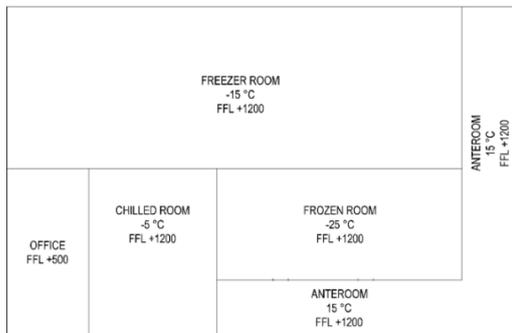
Penelitian ini adalah perhitungan beban pendinginan pada perencanaan pembangunan gudang cold storage di PT. XYZ. Penelitian dimulai dengan melakukan studi literatur dengan mempelajari teori dan pengumpulan data - data yang terkait dengan penulisan penelitian ini. Studi literatur adalah pengumpulan teori dari buku maupun dari penelitian terdahulu atau sumber lainnya yang nantinya digunakan dalam penelitian. Terkait data - data yang terkait

dengan penelitian ini, data-data tersebut diperoleh dari pihak perencana PT. XYZ terkait desain struktural bangunan cold storage. Setelah memperoleh data dan bahan yang cukup, maka dilakukan perhitungan beban pendinginan dari data yang sudah dikumpulkan tersebut. Beban pendingin yang akan dihitung adalah beban transmisi, beban infiltrasi, beban pekerja, beban produk, beban peralatan. Setelah selesai menghitung semua beban pendinginan, selanjutnya adalah menganalisis beban-beban pendinginan tersebut..

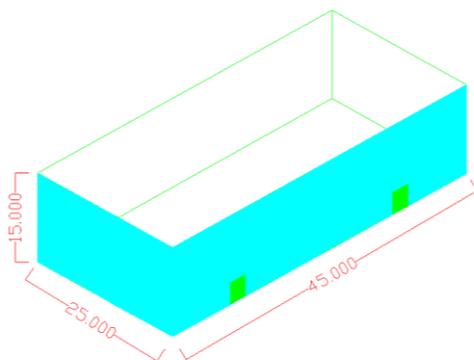


Gambar 1. Diagram Alir

2.1. Data Cold Storage



Gambar 2. Lokasi Ruang Frozen



Gambar 3. Dimensi Ruang Frozen

Tabel 1. Data Perancangan Cold Storage

Parameter	Spesifikasi
Dimensi ruangan (P x L x T)	16875 m ³
Kapasitas penyimpanan	5500 Ton
Suhu ruangan (rancangan)	-25 °C
Suhu evaporator	-35 °C
Kelembaban relatif	90 %
Suhu kondensor	40 °C
Produk yang didinginkan	Daging sapi
Jumlah produk /hari	100 Ton
suhu produk sebelum masuk ruang Frozen	-10 °C
Waktu pengoperasian	24 jam
Jumlah pekerja	10 orang
Lampu	20 Watt

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Beban pendinginan pada cold storage dihitung untuk mengetahui kapasitas mesin pendingin yang akan digunakan untuk cold storage. Beban pendinginan pada cold storage terdiri dari :

1. Beban Transmisi
2. Beban Infiltrasi
3. Beban produk
4. Beban Orang
5. Beban peralatan

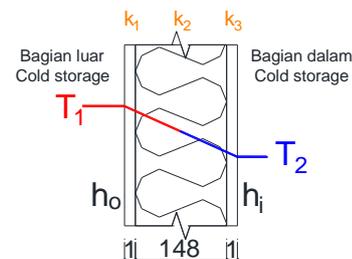
3.1. Beban Transmisi

Perbedaan temperatur di dalam ruangan dan di luar ruangan dapat mengakibatkan beban pendinginan melalui dinding bangunan. Setiap bahan bangunan yang digunakan sebagai selubung, mempunyai nilai termal konduktivitas. Besarnya beban pendinginan dipengaruhi oleh luas isolasi, ketebalan isolasi dan temperatur luar ruangan.

Tabel 2. Luas Dinding, Atap dan Lantai

Keterangan	Luas m ²	Suhu luar ruangan, T ₁ °C	Suhu dalam ruangan T ₂ °C
Atap	1125	30	- 25
Dinding Utara	675	- 15	- 25
Dinding Barat	375	- 5	- 25
Dinding Selatan	675	15	- 25
Dinding Timur	375	15	- 25
lantai	1125	27	- 25

1. Beban Transmisi Atap



Gambar 4. Lapisan Insulasi Dinding Dan Atap

Tabel 3. Lapisan Insulasi Atap

Nama Bahan	Tebal, L m	Konduktivitas Termal, k W/m.K
Aluminium	0,001	45,3
Polyurethane	0,148	0,023
Aluminium	0,001	45,3

Koefisien perpindahan panas konveksi di peroleh dari tabel, maka beban transmisi atap dihitung dengan persamaan :

$$q = \frac{T_1 - T_2}{\frac{1}{h_o \cdot A} + \frac{L_1}{k_1 \cdot A} + \frac{L_2}{k_2 \cdot A} + \frac{L_3}{k_3 \cdot A} + \frac{1}{h_i \cdot A}} \quad (1)$$

$$q = \frac{(30 - (-25)) + 273}{\frac{1}{9,26 \times 1125} + \frac{0,001}{45,3 \times 1125} + \frac{0,148}{0,023 \times 1125} + \frac{0,001}{45,3 \times 1125} + \frac{1}{22,7 \times 1125}}$$

$$q_{Atap} = 56874,5W$$

2. Beban Transmisi Dinding

a. Dinding timur

$$q = \frac{(15 - (-25)) + 273}{\frac{1}{9,26 \times 375} + \frac{0,001}{45,3 \times 375} + \frac{0,148}{0,023 \times 375} + \frac{0,001}{45,3 \times 375} + \frac{1}{9,26 \times 375}}$$

$$q_{Dinding Timur} = 17581,42 W$$

b. Dinding selatan

$$q = \frac{(15 - (-25)) + 273}{\frac{1}{9,26 \times 675} + \frac{0,001}{45,3 \times 675} + \frac{0,148}{0,023 \times 675} + \frac{0,001}{45,3 \times 675} + \frac{1}{9,26 \times 675}}$$

$$q_{Dinding Selatan} = 31646,55 W$$

c. Dinding barat

$$q = \frac{(-5 - (-25)) + 273}{\frac{1}{9,26 \times 375} + \frac{0,001}{45,3 \times 375} + \frac{0,148}{0,023 \times 375} + \frac{0,001}{45,3 \times 375} + \frac{1}{9,26 \times 375}}$$

$$q_{Dinding Barat} = 16458,01 W$$

d. Dinding utara

$$q = \frac{(-15 - (-25)) + 273}{\frac{1}{9,26 \times 675} + \frac{0,001}{45,3 \times 675} + \frac{0,148}{0,023 \times 675} + \frac{0,001}{45,3 \times 675} + \frac{1}{9,26 \times 675}}$$

$$q_{Dinding Utara} = 28613,34 W$$

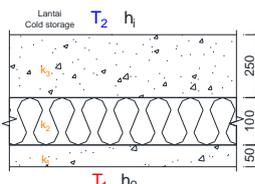
e. Total Beban Transmisi dinding

$$q = q_{Dinding Timur} + q_{Dinding Selatan} + q_{Dinding Barat} + q_{Dinding Utara}$$

$$q_D = 17581,42 + 31646,55 + 31646,55 + 28613,34$$

$$q_D = 94299,33 W$$

3. Beban Transmisi Lantai



Gambar 5. Lapisan Lantai Cold Storage

Tabel 4. Lapisan Insulasi Lantai

Nama Bahan	Tebal, L m	Konduktivitas termal, k W/m.K
Concrete	0,25	1,1
Polyurethane	0,1	0,023
Concrete	0,05	1,1

$$q_{Lantai} = \frac{(30 - (-25)) + 273}{\frac{1}{9,26 \times 1125} + \frac{0,25}{1,1 \times 1125} + \frac{0,1}{0,023 \times 1125} + \frac{0,05}{1,1 \times 1125} + \frac{1}{22,7 \times 1125}}$$

$$q_{Lantai} = 77558,95 W$$

6. Beban Transmisi total

$$q_T = q_A + q_D + q_L \quad (2)$$

$$q_T = 56874,5 + 94299,33 + 77558,95$$

$$q_T = 228732,784 W$$

3.2. Beban Infiltrasi

Pertukaran massa udara melalui pintu pada pengoperasian cold storage akan mengakibatkan beban pendinginan. Beban infiltrasi dipengaruhi oleh dimensi pintu, lama proses pintu menutup/melipat, lama pintu terbuka, faktor aliran udara melalui pintu dan faktor efektifitas bukaan pintu.

Tabel 5. Tabel Desain Pintu

Parameter	Spesifikasi
Dimensi pintu	
• Lebar	2,05 m
• Tinggi	2,1 m
Lama proses pintu menutup, θ_p	10 detik
Lama pintu terbuka, θ_o	3 jam

Tabel 6. Faktor Aliran Udara Melalui Pintu

Parameter	Nilai D_f
Untuk aliran udara dingin melalui pintu tanpa penghalang	1
Untuk perbedaan suhu lebih kecil dari 11 K	1,1
Untuk perbedaan suhu lebih besar dari 11 K	0,8

Sumber : ASHRAE Handbook 2018 : Refrigeration

Tabel 7. Faktor Efektivitas Bukaan Pintu

Paramameter	Nilai E
Untuk ruang freezer	0,85 - 0,95
Untuk ruang lainnya	0,9 - ,95
Untuk pintu dengan air curtain	0,7
Untuk pintu tanpa perangkat	0

Sumber : ASHRAE Handbook 2018 : Refrigeration

Beban infiltrasi dihitung dengan persamaan :

$$q_t = q \cdot D_t \cdot D_f \cdot (1 - E) \quad (3)$$

kalor infiltrasi sensibel dan laten dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$q = 0,557 \cdot W \cdot H^{1,5} \left(\frac{q_s}{A} \right) \cdot \left(\frac{1}{R_s} \right) \quad (4)$$

$$q = 0,557 \times 2,05 \times 2,1^{1,5} \times 23000 \times \frac{1}{0,6}$$

$$q = 133203,17 W$$

Faktor efektivitas bukaan pintu dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$D_t = \frac{(P \cdot \theta_p + 60 \cdot \theta_o)}{3600 \cdot \theta_d} \tag{5}$$

$$D_t = \frac{(2 \times 10) + (60 \times 3 \times 60)}{3600 \times 24}$$

$$D_t = 0,125$$

Sehingga didapatkan beban infiltrasi :

$$q_{Infiltrasi} = q \cdot D_t \cdot D_f \cdot (1 - E) \tag{6}$$

$$q_{Infiltrasi} = 133203,17 \times 0,125 \times 1 \times (1 - 0,9)$$

$$q_{Infiltrasi} = 1668,12 \text{ W}$$

3.3. Beban Produk

Data Produk yang akan disimpan pada ruang Frozen adalah sebagai berikut:

Tabel 8. Data Produk Yang Disimpan

Item	Spesifikasi
Jenis produk	Daging Sapi
Kapasitas ruang penyimpanan	5500 ton
Kapasitas harian	100 ton/hari
Suhu ruangan	-25 °C
Suhu produk sebelum masuk ruangan	-10 °C
Kalor spesifik setelah pembekuan, C _p	2,31 kJ/(kg.K)
Waktu pendinginan, n	12 jam

Beban produk dihitung dengan persamaan :

$$q_{Produk} = \frac{m \cdot C_p \cdot \Delta T}{3600 \cdot n} \tag{7}$$

Sehingga diperoleh beban produk :

$$q_{Produk} = \frac{100000 \times 2,31 \times ((-10 - (-25)) + 273)}{3600 \times 12}$$

$$q_{Produk} = 1540 \text{ W}$$

3.4. Beban Orang

Tabel 9. Daftar Jumlah Pekerja

Parameter	Spesifikasi
Jumlah pekerja	10 orang
Jam kerja	3 jam
Suhu ruang penyimpanan	-25 °C

Besar panas setara yang dihasilkan per orang dapat dihitung menggunakan persamaan

$$\text{Heat equivalent/person} = 272 - 6t \tag{8}$$

Sehingga diperoleh panas setara yang dihasilkan per orang:

$$\text{Heat equivalent/person} = 272 - 6(-25)$$

$$\text{Heat equivalent/person} = 422 \text{ W}$$

Besar beban pendinginan yang dihasilkan oleh pekerja dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$q_{Orang} = \frac{n \cdot \text{heat equivalent/person} \cdot T}{24} \tag{9}$$

Sehingga diperoleh beban orang :

$$q_{Orang} = \frac{10 \times 422 \times 3}{24} \tag{10}$$

$$q_{Orang} = 527,5 \text{ W}$$

3.5. Beban Peralatan

Peralatan yang digunakan di dalam cold storage dapat menghasilkan beban pendinginan, peralatan tersebut antara lain : lampu, fan evaporator, heater defrost, pallet shuttle.

Tabel 10. Daftar Peralatan

Peralatan	Jumlah	Daya W	Daya total W	Waktu operasi Jam
Heater defrost	4	900	3600	12
Fan evaporator	7	1900	13300	16
Lampu	20	20	400	3
Pallet shuttle	10	30	300	3

Besar beban pendinginan yang dihasilkan oleh pekerja dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$q_M = \frac{\text{daya alat} \times \text{lama pemakaian}}{24} \tag{11}$$

Sehingga diperoleh beban peralatan :

1. Heater defrost

$$q_H = \frac{3600 \times 12}{24}$$

$$q_H = 1800 \text{ W}$$

2. Fan evaporator

$$q_F = \frac{13300 \times 16}{24}$$

$$q_F = 8866,66 \text{ W}$$

3. Lampu

$$q_L = \frac{400 \times 3}{24}$$

$$q_L = 50 \text{ W}$$

4. Pallet shuttle

$$q_P = \frac{300 \times 3}{24}$$

$$q_P = 37,5 \text{ W}$$

5. Total beban peralatan

$$q = q_H + q_F + q_L + q_P$$

$$q = 1800 + 8866,66 + 50 + 37,5 = 10754,17 \text{ W}$$

3.6. Beban Pendinginan Total

Beban pendinginan total adalah jumlah dari seluruh komponen beban pendinginan. Total

beban pendinginan untuk Ruang Frozen adalah sebagai berikut :

Tabel 11. Hasil Perhitungan Beban Pendinginan Total

Sumber Beban Pendinginan	Jumlah beban Pendinginan W
1. Transmisi	
a. Atap	56.874,50
b. Dinding	
• Timur	17.581,42
• Selatan	31.646,56
• Barat	16.458,01
• Utara	28.613,34
c. Lantai	77.558,95
2. Infiltrasi	1.668,12
3. Produk	1.540,00
4. Orang	527,50
5. Peralatan	1.0754,17
Total Beban Pendinginan	243.222,57

3.7. Pembahasan Beban Pendinginan

Beban pendinginan digunakan untuk menentukan kapasitas mesin pendingin yang akan digunakan pada cold storage, semakin tinggi beban pendinginan akan semakin tinggi kapasitas mesin pendingin. Dari hasil perhitungan beban pendinginan terdapat nilai beban pendinginan yang tinggi yaitu beban transmisi. Nilai beban transmisi yang tinggi dipengaruhi oleh luas , perbedaan temperatur dan konduktivitas termal. Semakin luas bidangnya maka, beban transmisi akan semakin besar. Semakin tinggi perbedaan suhu ruang cold storage dengan suhu luar, maka nilai beban pendinginan akan semakin tinggi. Pada hasil perhitungan beban transmisi melalui dinding, terdapat perbedaan hasil perhitungan.

Perbedaan hasil perhitungan beban transmisi melalui dinding disebabkan oleh perbedaan suhu antara dinding bagian ruang frozen dengan dinding luar ruang frozen. Semakin besar nilai konduktivitas termal, maka beban pendinginan akan semakin besar. Bahan yang mempunyai nilai konduktivitas termal yang tinggi dapat mengalirkan panas melalui bahan tersebut sesuai dengan temperatur lingkungan

4. KESIMPULAN

Hasil dari analisis yang telah dilakukan maka didapat kesimpulan. Total beban pendinginan ruang *Frozen* di *Cold Storage* adalah 243.222,57 W. Total beban pendinginan tersebut dengan kondisi suhu perencanaan ruang frozen adalah -25 °C, dimensi 16875 m³ dan produk daging sapi yang disimpan 100 ton/hari. Beban transmisi menjadi salah satu faktor utama penyumbang beban pendinginan tertinggi yaitu 228.732,78 W. Beban transmisi pada ruang *Frozen* pengaruhi

oleh luasan permukaan selubung dan konduktivitas termal material insulasi selubung. Semakin tebal insulasi selubung, maka semakin besar hambatan kalor yang mengalir. Semakin kecil nilai konduktivitas termal, maka kalor yang mengalir akan semakin kecil.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. ASHRAE Handbook : Fundamentals. (2017). Atlanta.
- [2]. ASHRAE Handbook : Refrigeration. (2018). Atlanta
- [3]. ASHRAE, & Wang, S. (2015). Ashrae Handbook Of Air Conditioning And Refrigeration.
- [4]. Biantoro, A. W. (N.D.). Analisis Beban Pendinginan Ruang Gardu Traksi Stasiun Mrt Lebak Bulus Berdasarkan Standar Sni 6389-2011 Dan Ashrae 2019.
- [5]. Biantoro, A. W., & Permana, D. S. (2017). Analisis Audit Energi Untuk Pencapaian Efisiensi Energi Di Gedung Ab, Kabupaten Tangerang, Banten. In Jurnal Teknik Mesin (Jtm) (Vol. 06).
- [6]. Çengel, & Boles. (2015). Thermodynamics. New York.
- [7]. Cengel, Y. A. (2015). Heat And Mass Transfer. New York.
- [8]. Fajarani, R. M., Handoyo, Y., & Rahmanto, R. H. (2019). Analisis Beban Pendinginan Pada Cold Storage Untuk Penyimpanan Daging. In Jurnal Ilmiah Teknik Mesin (Vol. 7, Issue 1).
- [9]. Hadi Iswandari, R., & Wahyudi Biantoro, A. (2019). Simulasi Perancangan Cooling Box Kapasitas 12 Liter Menggunakan Termoelektrik. 4(1), 163–165.
- [10]. Nabil Arighi, I., Pembimbing Sutopo Purwono Fitri, D., & Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan, D. (N.D.). Cooling Management Sistem Refrigerasi Pada Cold Storage Bahan Makanan Dengan Variasi Beban Pendinginan.
- [11]. Siagian, S., Studi, P., Mesin, T., Jakarta, V., & Selatan, J. (2017). Perhitungan Beban Pendingin Pada Cold Storage Untuk Penyimpanan Ikan Tuna Pada Pt.X (Vol. 13, Issue 1).
- [12]. Wisely Ziliwu, B., Preston Siahaan, J., Kapal Politeknik Kelautan Dan Perikanan Dumai, P., Wan Amir No, J., Pangkalan Sesai, K., & Dumai Barat, K. (2020). Perhitungan Beban Pendinginan Pada Sistem Refrigerasi Air Blast Freezer (Calculation Of The Cooling Load In The Air Blast Freezer). Jurnal Teknologi Terapan |, 6(2).