

ANALISA PERHITUNGAN BEBAN KALOR DAN PEMILIHAN KOMPRESOR DALAM PERANCANGAN AIR BLAST FREEZER UNTUK MEMBEKUKAN ADONAN ROTI DENGAN KAPASITAS 250 KG/JAM

Erwin Dermawan¹, Syawaluddin², Muhammad Reza Abrori², Nelfiyanti³,
Anwar Ilmar Ramadhan²

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta

²Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta

³Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta

E-mail: anwar.ilmar@ftumj.ac.id

Abstrak. Mesin *Air Blast Freezer (ABF)* adalah salah satu alat pembeku makanan dalam dunia refrigerasi. Dalam perancangan *Air Blast Freezer* ini, tahapan yang paling menentukan adalah saat perhitungan beban kalor yang akan menjadi acuan bagi perancang dalam pemilihan kompresor. PT. Mayekawa Indonesia dalam hal ini untuk memenuhi permintaan pelanggan untuk 2 unit ruangan ABF dengan kebutuhan membekukan adonan roti berkapasitas 250 kg/jam di tiap ruangan melakukan perhitungan beban kalor ABF dengan asumsi total beban kalor sebesar 41,5 kW dan menggunakan kompresor 62WBHE 900rpm sebagai penopangnya. Sehingga saat ini terdapat 2 kompresor tipe 62WBHE 900rpm yang berjalan, dan 2 unit kompresor yang sama direncanakan untuk proyek 2 ABF selanjutnya. Kondisi aktual yang didapatkan dengan cara observasi dan analisa perhitungan serta pemilihan kompresor, beban kalor ternyata hanya 37,81 kW, dan cukup apabila hanya menggunakan kompresor 42WBHE 900rpm yang ukurannya lebih kecil dan kebutuhan dayanya juga lebih kecil.

Kata Kunci: *Mesin Air Blast Freezer, Adonan Roti, kompresor*

PENDAHULUAN

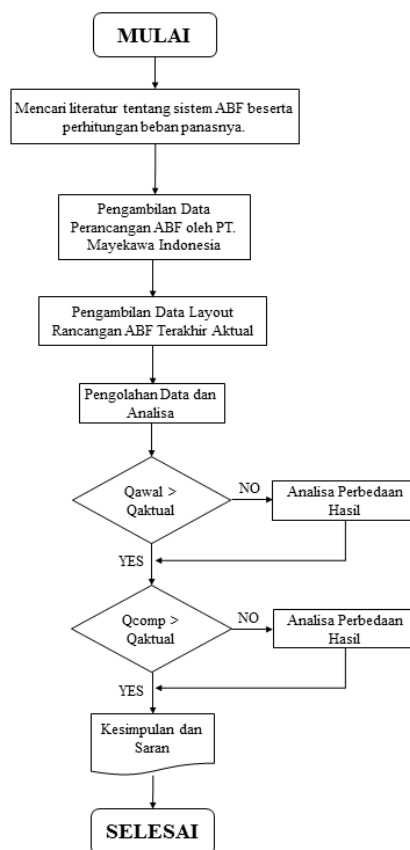
Di industri pangan, telah dikembangkan metode pembekuan untuk mempercepat proses pembekuan yang memungkinkan produk membeku dalam waktu yang pendek. Pembekuan cepat akan menghasilkan kristal es berukuran kecil sehingga akan meminimalkan kerusakan tekstur bahan yang dibekukan. Selain itu, proses pembekuan cepat juga menyebabkan terjadinya kejutan dingin (*freeze shock*) pada mikroorganisme dan tidak terjadi tahap adaptasi mikroorganisme dengan perubahan suhu sehingga mengurangi resiko pertumbuhan mikroorganisme selama proses pembekuan berlangsung. Di antara teknik pembekuan cepat yang dipakai industri adalah Air Blast Freezer (ABF).

Dimulai dari kapasitas dan ketersediaan ruang yang dibutuhkan customer, pihak PT. Mayekawa Indonesia melakukan perancangan untuk memenuhi kebutuhan customer. Dalam pemilihan kompresor, PT. Mayekawa Indonesia menggunakan software buatan sendiri yaitu MycomW versi 2016.

Dalam proyek ABF kali ini PT. Mayekawa diminta untuk mampu membekukan 250kg adonan roti dalam 1 jam dengan jumlah ruang ABF yang diminta sebanyak 2 ruangan. Didapati masing-masing ruangan memiliki beban kalor sebesar 41,5 kW dengan target temperatur ruangan -35°C . Setiap ruangan ABF ditopang oleh kompresor 62WBHE dengan refrigerant ammonia. Namun beban kalor yang didapat tersebut bukanlah kondisi akhir dari dimensi dan perencanaan ruangan ABF yang actual di lapangan. Dari masalah tersebut, ingin menganalisis ulang perhitungan beban dan pemilihan kompresor yang dilakukan PT. Mayekawa Indonesia, dengan tambahan ada 2 ruangan ABF serupa dengan yang telah dibuat saat ini.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Diagram alur penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

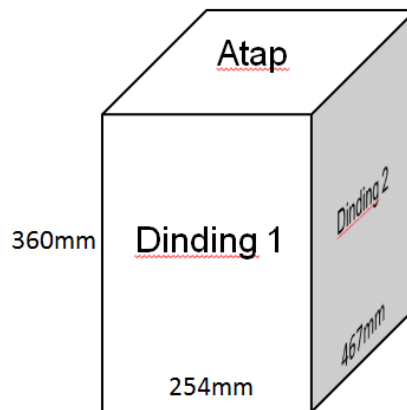
Perhitungan Beban Kalor Ruang ABF

Beban Kalor dari Luar Ruang Melalui Dinding

Dengan menggunakan persamaan (1).

$$q_{transmisi} = U.A.(t_o - t_r) \text{ [kcal/h]} \quad (1)$$
$$= (k/d). A.(t_o - t_r) \text{ [kcal/h]}$$

Maka, dapat dihitung beban kalor yang melalui masing-masing dinding ruangan yang diisolasi dengan bahan polyurethane yang memiliki nilai $k=0,018 \text{ kcal/m.h.}^\circ\text{C}$.



Gambar 2. Skema Dimensi Ruang ABF Aktual

Dengan ketebalan dinding insulasi 150mm untuk tiap sisi kecuali lantai yang tebalnya 250 mm, maka:

a. $q_{transmisi}$ Atap

$$= (0,018/0,15).(2,54 \times 4,67).(25 - (-35)) \text{ [kcal/h]}$$
$$= 85,4 \text{ [kcal/h]}$$

b. $q_{transmisi}$ Lantai

$$= (0,018/0,25).(2,54 \times 4,67).(15 - (-35)) \text{ [kcal/h]}$$
$$= 42,7 \text{ [kcal/h]}$$

c. $q_{transmisi}$ Dinding 1

$$= (0,018/0,15).(2,54 \times 3,6).(25 - (-35)) \text{ [kcal/h]}$$
$$= 65,8 \text{ [kcal/h]}$$

d. $q_{transmisi}$ Dinding 2

$$= (0,018/0,15).(4,67 \times 3,6).(-35 - (-35)) \text{ [kcal/h]}$$
$$= 121,0 \text{ [kcal/h]}$$

e. $q_{transmisi}$ Dinding 3

$$= (0,018/0,15).(2,54 \times 3,6).(25 - (-35)) \text{ [kcal/h]}$$

$$= 65,8 \text{ [kcal/h]}$$

f. $q_{transmisi}$ Dinding 3

$$= 0,018/0,15).(4,67 \times 3,6).(-35 - (-35)) \text{ [kcal/h]}$$

$$= 0,0 \text{ [kcal/h]} \text{ (karena sisi ini berdempetan dengan 1 ABF lainnya)}$$

Jadi, total $q_{transmisi}$ adalah 380,9 kcal/h.

Beban Infiltrasi

Dengan menggunakan Tabel 1 berikut ini:

Tabel 1. Entalpi dan Massa Jenis Udara Berdasarkan Suhu

TEMP.	ENTHALPY	DENSITY
°C	kcal/kg	kg/m ³
-45	-10.788	0.6455
-40	-9.566	0.6598
-35	-8.331	0.6741
-30	-7.073	0.6884
-25	-5.778	0.7000
-20	-4.432	0.7173
-15	-3.000	0.7300
-10	-1.452	0.7471
-5	0.35	0.7624
0	2.261	0.7781
5	4.45	0.7945
10	7.009	0.8117
15	10.057	0.8300
20	13.745	0.4980
25	18.269	0.8717
30	23.882	0.8962
35	30.913	0.9241

Karena menggunakan satuan akhir pada perhitungan ini maka akan menggunakan persamaan (2):

$$q_{inf} = \rho_{u,r} \times V_{cs}(h - h_{r,n}) \quad (2) \text{ [kcal/h]}$$

Dengan menggunakan Tabel 1 dengan asumsi yang sama yaitu temperature luar ruangan 25°C dan temperature ruangan ABF -35°C, maka akan didapat beban infiltrasi:

$$q_{inf} = 0,6741 \text{ [m}^3/\text{kg]} \times (2,54 \times 4,67 \times 3,6) \text{ [m}^3] \times (18,269 - (-8,331)) \text{ [kcal/kg]} \times 1,5 \text{ kali buka dalam 1 jam} = 765,7 \text{ kcal/h}$$

Beban Kalor dari Produk

Beban kalor pada proses pembekuan roti didapat melalui 3 tahap yaitu:

a. Kalor Adonan Roti yang diambil yaitu dimulai dari suhu awal inti produk dengan

asumsi 22C sesuai unjuk kerja pada design sheet sampai menuju titik beku produk -4C, maka:

$$\begin{aligned}
 q_{\text{pembekuan1}} &= m_{\text{adonan roti}} \cdot C_{p \text{ adonan roti}} \cdot (\Delta T_{\text{adonan roti}}) \text{ [kcal/h]} \\
 &= 250 \text{ [kg/h]} \cdot 0,68 \text{ [kcal/(kg}\cdot\text{C)]} \cdot (22 - (-4)) \text{ [C]} \\
 &= 4420 \text{ [kcal/h]}
 \end{aligned}$$

b. Pembuangan kalor laten di titik beku, maka:

$$\begin{aligned}
 q_{\text{pembekuan2}} &= m_{\text{adonan roti}} \cdot q_{\text{adonan roti}} \text{ [kcal/h]} \\
 &= 250 \text{ [kg/h]} \cdot 40 \text{ [kcal/kg]} \\
 &= 10000 \text{ [kcal/h]}
 \end{aligned}$$

c. Pembekuan Adonan Roti hingga suhu yang dikehendaki pada inti adonan roti di angka -18C, maka:

$$\begin{aligned}
 q_{\text{pembekuan3}} &= m_{\text{adonan roti}} \cdot C_{p \text{ adonan roti}} \cdot (\Delta T_{\text{adonan roti}}) \text{ [kcal/h]} \\
 &= 250 \text{ [kg/h]} \cdot 0,43 \text{ [kcal/(kg)} \cdot \text{C)]} \cdot (-4 - (-18)) \text{ [C]} \\
 &= 1505 \text{ [kcal/h]}
 \end{aligned}$$

Jadi, total q_{produk} adalah 15925 kcal/h.

Beban Kalor dari Rak dan Papan Alas Rak

Dengan menggunakan rumus yang sama dengan perhitungan beban produk maka didapatkan:

$$\begin{aligned}
 \text{a. } q_{\text{rak}} &= m_{\text{rak}} \cdot C_{p \text{ rak}} \cdot (\Delta T_{\text{rak}}) \times \text{jumlah [kcal/h]} \\
 &= 15 \text{ [kg/h]} \cdot 0,11 \text{ [kcal/(kg} \cdot \text{ }^\circ\text{C)]} \cdot (25 - (-30)) \text{ [}^\circ\text{C]} \times 12 \\
 &= 1089,0 \text{ [kcal/h]}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b. } q_{\text{papan alas}} &= m_{\text{papan alas}} \cdot C_{p \text{ papan alas}} \cdot (\Delta T_{\text{papan alas}}) \times \text{jumlah [kcal/h]} \\
 &= 1.2 \text{ [kg/h]} \cdot 0,11 \text{ [kcal/(kg} \cdot \text{ }^\circ\text{C)]} \cdot (25 - (-30)) \text{ [}^\circ\text{C]} \times 240 \\
 &= 1742,4 \text{ [kcal/h]}
 \end{aligned}$$

Jadi, total $q_{\text{rak dan papan alas}}$ adalah 2831,4 kcal/h.

Beban Kalor dari Kipas

Dengan asumsi beban kalor tiap kipas sebesar 2,2 kW dengan jumlah kipas sebanyak 4 buah, maka $q_{\text{kipas}} = 8,8 \text{ kW} = 7568 \text{ kcal/h}$

Beban Kalor dari Operator

Tabel 2. Entalpi dan Massa Jenis Udara Berdasarkan Suhu

Temp (C)	Heat For 1 Men	
-50	485	kcal/h
-40	435	kcal/h
-30	385	kcal/h

Berdasarkan Tabel 2, didapatkan secara interpolasi laju kalor orang di ruangan bersuhu -35C sebesar 405 kcal/h. Jika, diasumsikan lama orang atau operator dalam memasukkan dan

mengeluarkan produk dalam satu jam hanya 12 menit atau 0,2 jam sesuai unjuk kerja dari customer maka:

$$q_{\text{operator}} = 405 \text{ kcal/h} \times 0,2 = 81 \text{ kcal/h}$$

Beban Kalor dari Lampu

Seperti yang telah diketahui bahwa lampu yang dipakai berkekuatan 45,9 Watt yang berjumlah 2 buah di setiap ruangan ABF. Dengan begitu didapatkan.

$$q_{\text{lampu}} = 45,9 \text{ Watt} \times 2 = 91,8 \text{ W} = 79,12 \text{ kcal/h}$$

Beban Kalor dari Pemanas Lantai

Pemanas lantai yang digunakan memiliki beban kalor sebesar 187 W dengan jumlah total 4 buah.

Dengan begitu didapatkan:

$$q_{\text{pemanas lantai}} = 187 \text{ Watt} \times 4 = 748 \text{ W} = 643,28 \text{ kcal/h}$$

Dengan begitu, kita dapat mengetahui total jumlah beban kalor di dalam ruangan ABF adalah sebesar 28395,9 kcal/h. Dengan safety factor 15%, maka perancangan ini menggunakan beban sebesar:

$$28274,9 \text{ kcal/h} \times 1,15 = 32516,16 \text{ kcal/h} \text{ atau sama dengan } 37,81 \text{ kW.}$$

Berikut Tabel hasil perbandingan perhitungan beban kalor.

Tabel 3. Perbandingan Hasil Perhitungan Beban Kalor

Perbandingan Perhitungan	Hasil Perhitungan Awal	Hasil Perhitungan Kondisi Aktual
Beban dari Luar Ruangan melalui dinding (kcal/h)	677.0	380.9
Beban infiltrasi (kcal/h)	1532.8	765.7
Beban kalor dari produk (kcal/h)	15925	15925
Beban kalor dari rak dan papan alas rak (kcal/h)	4801.5	2831.4
Beban kalor dari kipas (kcal/h)	7740	7568
Beban kalor dari operator (kcal/h)	82	81
Beban kalor dari lampu (kcal/h)	85.9	79.12
Beban kalor dari pemanas lantai (kcal/h)	180.6	643,28
Total (kcal/h)	31024.8	28274.9
Safety Factor 15% (kcal/h)	35678.5	32516.16
Beban Kalor dalam KW	41.5	37.81

Pengecekan Nilai Kapasitas Kompresor dengan Perangkat Lunak Mycom Versi 2016

Hasil pengecekan nilai kapasitas kompresor dengan menggunakan program Mycom versi 2016 dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Daftar Tipe Kompresor Beserta Nilai Kapasitasnya

Tipe Kompresor	Kapasitas (kW)	Absorbed Power	COP
62WA 1200rpm	31.6	21.7	1.46
42WBHE 900rpm	43.2	29.6	1.46
42WBHE 1000rpm	48.0	33.0	1.45
42WBHE 1100rpm	52.7	36.5	1.44
42WBHE 1200rpm	57.4	39.9	1.44
62WBHE 900rpm	58.2	38.9	1.50
62WBHE 1000rpm	64.5	43.3	1.49
62WBHE 1100rpm	70.8	47.8	1.48
62WBHE 1200rpm	77.0	52.3	1.47

SIMPULAN

Hasil perhitungan beban kalor ABF sesuai dengan kondisi terakhir didapatkan 37,81 kW per ruangan atau 10% lebih rendah dibandingkan dengan hasil perhitungan awal yang mencapai 41.5 kW. Beban kalor yang paling berpengaruh berasal dari produk, sekitar 56% dari total nilai beban kalor. Secara umum, faktor yang menyebabkan perbedaan hasil perhitungan beban kalor aktual yang lebih kecil dibandingkan dengan perhitungan awal adalah dimensi ruangan aktual lebih kecil dari asumsi di awal perhitungan, tebal insulasi ABF aktual lebih tebal dari asumsi di awal perhitungan, jumlah kipas pendingin lebih sedikit yaitu hanya 4 buah, perbedaan penggunaan nilai kalor jenis yang dipakai pada perhitungan rak, dimana aktual rak yang berbahan stainless steel memiliki nilai kalor jenis 0,11 kcal/kg°C, sedangkan pada perhitungan awal memakai nilai kalor jenis 0,22~0,23 kcal/kg°C. Dua buah kompresor 62WBHE dengan total kapasitas 116,4 kW dan nilai efisiensi 50% saat ini melebihi beban kalor total ruangan ABF yang hanya sebesar 75,62 kW bahkan mampu memenuhi kapasitas 1 ruangan ABF yang sama seperti sebelumnya dengan beban kalor 37,81 kW.

DAFTAR PUSTAKA

- Murtono, A. Patrice N.I. Kalangi & Frangky E. Kaparang. 2015. *Analisis beban pendingin cold storage*. Sulawesi Utara: PT. Sari Tuna Makmur Aertembaga Bitung
- Anonim, 2016, PT. Mayekawa Indonesia, Indonesia
- Anonim, 2009, *Specific Heat Set*
- Anonim, *Siklus Refrigerasi*, Jakarta.
- Anonim, *Teknik Refrigerasi dan Tata Udara*, Politeknik Negeri Bandung, Bandung
- Aris As'ari, Mohammad, *Refrigeration Calculation Load*. Sulawesi Utara. SMK Negeri 1

Cirebon, Cirebon

Indonesia, Food Review, 2007, *Teknik Pembekuan Pangan*, Indonesia

Nofrizal.2008. *Perancangan Thermal dan Elektrikal*. Jakarta: Fakultas Teknik Univeristas Indonesia

Rahmat, Rais, Muhammad, 2015, *Perancangan Cold Storage Untuk Produk Reagen*, Bekasi.

Syamsuar, Ariefin & Sumardi, *Analisis Beban Pendinginan Sistem Tata Udara (STU) ruang Auditorium Lantai III Gedung Utama Politeknik Negeri Lhoksumawe*, Lhoksumawe.

<https://greatminds2.wordpress.com/2012/11/03/pembeku> (diakses pada tanggal 20 Oktober 2016)

<http://www.fao.org/docrep/003/r1076e/R1076E04.htm> (diakses pada tanggal 20 Oktober 2016)