



# ***ANALISIS PERFORMANSI MINI FREEZER YANG DILENGKAPI DENGAN FLUIDA PENYIMPAN DINGIN (THERMAL STORAGE)***

Triaji Pangripto Pramudantoro.

Jurusan Teknik Refrigerasi & Tata Udara

Politeknik Negeri Bandung

Jl. Gegerkalong Hilir, Ds Ciwaruga, Bandung, Telp dan Fax (022) 2013789 dan 2013788

E-mail: [triajipangripto@yahoo.co.id](mailto:triajipangripto@yahoo.co.id)

## **Abstrak**

*Freezer* sebagai alat penyimpan produk makanan/minuman beku banyak dijumpai penggunaannya di super market dan toko-toko, tetapi tidak demikian halnya dengan warung-warung kecil dan penjaja eceran. Untuk itu diperlukan *freezer* dengan dimensi kecil yang mempunyai sistim fluida penyimpan dingin (*thermal storage*) sehingga dapat diletakkan di warung kecil atau dibawa oleh penjaja eceran. Pada penelitian ini dibuat *mini freezer* dengan fluida penyimpan dingin yang menggunakan R-12 sebagai refrigeran primer dan *propylene-glycol* (konsentrasi 40%) sebagai refrigeran sekunder. Pengujian dilakukan terhadap *mini freezer* dengan fluida penyimpan dingin dan *mini freezer* tanpa fluida penyimpan dingin selanjutnya dibandingkan performansi diantara keduanya. Setelah dilakukan analisis, pada kondisi awal, waktu pencapaian temperatur *setting* ( $-23^{\circ}\text{C}$ ) untuk *freezer* dengan fluida penyimpan dingin lebih lama (menit ke-380) dibandingkan *freezer* tanpa fluida penyimpan dingin (menit ke-300). Hal ini disebabkan adanya penambahan *brine* sebagai beban pendinginan. *Mini freezer* dengan fluida penyimpan dingin mempunyai periode hidup-mati yang lebih panjang (370 menit) dari pada *mini freezer* tanpa fluida penyimpan dingin (70 menit) dengan perbandingan 5,3:1. Total waktu (Konsumsi daya) yang digunakan untuk proses pendinginan lebih besar *mini freezer* tanpa fluida penyimpan dingin (212 menit) dibandingkan dengan *mini freezer* dengan fluida penyimpan dingin (190 menit). Pemakaian *brine/secondary refrigerant* yang dipasang sekeliling kabin *freezer* dapat mempertahankan temperatur produk pada  $-19.2^{\circ}\text{C}$ , maksimum  $-18^{\circ}\text{C}$  dan minimum  $-20.4^{\circ}\text{C}$ . Rata-rata COP dari sistim *mini freezer* tanpa fluida penyimpan

dingin adalah 2,62 sedangkan sistim *mini freezer* menggunakan fluida penyimpan dingin adalah 3,16.

Kata kunci: *mini freezer*, *thermal storage*, *propylene-glycol*.

## **1. PENDAHULUAN**

### **Latar Belakang**

*Freezer* (penyimpan produk beku) banyak dijumpai penggunaannya di super market dan toko atau penjual makanan beku, seperti penjual es krim. Umur penyimpanan produk beku umumnya lama, bahkan bisa sampai satu tahun atau lebih. Temperatur kerja kabin *freezer* sangat rendah, tergantung pada umur penyimpanan produk yang diinginkan, untuk produk yang akan disimpan dalam jangka waktu beberapa minggu temperaturnya harus sekitar  $-18^{\circ}\text{C}$  sampai  $-23^{\circ}\text{C}$ , sedangkan untuk penyimpanan sampai satu tahun atau lebih temperatur produk harus mencapai  $-29^{\circ}\text{C}$  atau lebih rendah. Sistem refrigerasi *freezer* umumnya menggunakan sistem refrigerasi kompresi uap, dengan menggunakan energi listrik sebagai sumber penggerakannya. Dalam sistem refrigerasi kompresi uap pendinginan terjadi karena adanya penarikan kalor oleh refrigeran yang menguap di evaporator. Temperatur penguapan (evaporasi) di evaporator berpengaruh pada besarnya energi listrik yang diperlukan, semakin rendah temperatur evaporasi energi listrik persatuan kalor yang di ambil dari kabin akan semakin besar. Temperatur kabin yang rendah pada *freezer* memerlukan temperatur penguapan refrigeran yang rendah, sehingga energi yang diperlukan oleh *freezer* relatif besar artinya kompresor yang digunakan kapasitasnya besar.



Harga kompresor berbanding lurus dengan kapasitasnya, semakin besar kapasitas kompresor semakin tinggi harganya. Penghematan biaya pada Sistem *freezer* bisa dilakukan dengan sistem fluida penyimpan dingin (*thermal storage*), dimana kompresor yang digunakan kapasitasnya bisa lebih rendah dibandingkan dengan sistem yang biasa/konvensional. Dengan daya listrik yang dibutuhkan kompresor kecil maka bisa digunakan oleh pedagang yang mempunyai daya listrik terpasang dari Perusahaan listrik (PLN) yang rendah (di bawah 900 W). dengan melakukan penelitian ini maka akan diperoleh mesin *mini freezer* berukuran kecil dilengkapi dengan system fluida penyimpan dingin propilen glikol, yang digunakan untuk penyimpanan es krim atau produk beku yang lainnya, bisa digunakan untuk kegiatan Praktikum mahasiswa atau sebagai alat peraga untuk mata kuliah refrigerasi.

Penggunaan kapasitas kompresor yang kecil, *mini freezer* bisa digunakan oleh toko eceran yang mempunyai daya listrik (PLN) terpasang rendah dan dengan adanya fluida penyimpan dingin, system diharapkan bisa digunakan tanpa *energize* dalam rentang waktu yang relatif lebih lama (lebih hemat energy)

## 2. METODOLOGI

Rancang bangun *mini freezer* ini meliputi tiga tahap pekerjaan utama, yaitu perhitungan beban pendinginan, pemilihan/instalasi komponen sistem refrigerasi dan uji performansi dari sistim tersebut. Perhitungan beban pendinginan difokuskan pada temperatur kabin agar tercapai  $-18^{\circ}\text{C}$ . Bagian pemilihan/instalasi komponen sistem refrigerasi difokuskan pada pemilihan komponen-komponen yang bisa menghasilkan temperatur sesuai dengan rancangan. Selanjutnya dilakukan pengujian pada *mini freezer* dengan fluida penyimpan dingin dan *mini freezer* tanpa fluida penyimpan dingin untuk mendapatkan performansi dari keduanya. Mesin *mini freezer* yang dibuat memiliki daya kompresor sebesar 1/6HP dengan menggunakan refrigeran R12.

Besaran yang diukur pada penelitian ini adalah :

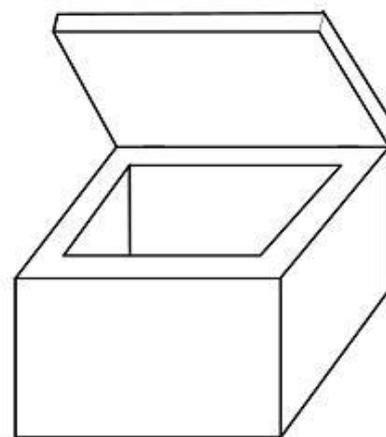
- Temperatur: kabin, *brine*, produk (*ice cream*)
- Tekanan: *suction*, *discharge*

Pengujian dilakukan dengan selang waktu 10 menit, dengan kombinasi kabin tanpa produk dan kabin diisi produk.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Konstruksi *Mini Freezer*

Prototipe *mini freezer* dengan system fluida penyimpan dingin dan sistem konvensional mempunyai volume kabin yang sesuai dengan kebutuhan pasar/warung kecil yaitu sebesar 35-50 liter. Dinding luar *mini freezer* terbuat dari plat besi, dinding dalam yang menampung refrigeran sekunder terbuat dari plat *stainless steel* SUS 316 (*food grade*). Pipa evaporator terbuat dari pipa tembaga berdiameter  $3/8\text{inch}$ , dan kompresor yang digunakan berkapasitas 1/6HP.



Gambar 3.1 Skema *mini freezer*

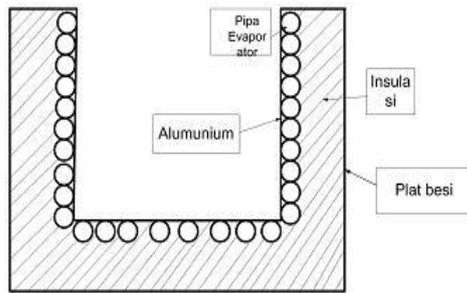
Alat ini mempunyai kabin dengan temperatur sebesar  $-18^{\circ}\text{C}$ . Berikut tabel kondisi perancangan *mini freezer* secara umum :

Tabel 3.1 Kondisi Perancangan

No.	Kondisi	Besar / Jenis
1	Refrigeran	R-12
2	Temperatur Kondensasi	$40^{\circ}\text{C}$
3	Temperatur Evaporasi	$-28^{\circ}\text{C}$
5	Temperatur <i>Ice Cream</i> masuk	$-18^{\circ}\text{C}$
6	Temperatur Kabin	$-20^{\circ}\text{C}$
7	Massa <i>Ice Cream</i>	40 kg
8	Volume <i>Mini Freezer</i>	48 liter
9	Chilling Time <i>Ice Cream</i>	8 Jam

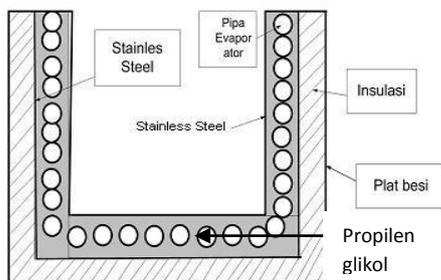
### 3.2 Perakitan Sistem

Konstruksi penampang dinding *freezer* sistem konvensional ditunjukkan pada gambar 3.2 sedangkan yang menggunakan penyimpan dingin ditunjukkan pada gambar 3.3.



Gambar 3.2 Penampang dinding freezer konvensional

Freezer dengan system fluida penyimpanan dingin dilengkapi lubang untuk memasukan dan mengeluarkan refrigeran sekunder. Insulasi dinding terbuat dari bahan *poly-urethan*



Gambar 3.3 Penampang dinding freezer dengan fluida penyimpanan dingin

### 3.3 Hasil Uji-coba dan Pembahasan

#### 3.3.1. Pengujian *mini freezer* tanpa fluida penyimpanan dingin (konvensional) dengan Refrigeran Primer R-12

Pengujian dilakukan pada *mini freezer* tanpa fluida penyimpanan dingin dalam kondisi tidak berisi produk dan saat berisi produk. Refrigeran primer yang digunakan R-12. Besaran yang diukur adalah: Tekanan, (*discharge* dan *suction*), temperatur (lingkungan, *discharge*, refrigeran masuk alat ekspansi, keluar evaporator, kabin, dan produk), arus listrik, tegangan listrik, dan daya listrik.

Prosedur pengambilan data adalah sebagai berikut :

1. Mencatat tekanan dan temperatur awal sebelum sistem dijalankan.
2. Mencatat tekanan dan temperatur pada saat sistem dijalankan.
3. Melakukan pengukuran setiap 10 menit sekali.

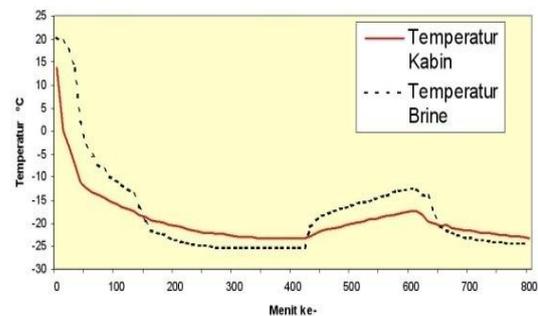
#### 3.3.2. Pengujian *mini freezer* system fluida penyimpanan dingin dengan refrigeran primer R12

Pengujian untuk *mini freezer* system fluida penyimpanan dingin dilakukan dengan refrigeran primer R12, kabin berisi produk dan tanpa produk, besaran yang diukur sama seperti pada freezer konvensional tetapi ditambah dengan pengukuran temperatur *brine* pada kondisi:

1. Saat system dijalankan dari kondisi awal (temperatur kabin sama dengan lingkungan).
2. Saat system fluida penyimpanan dingin sudah menyimpan kapasitas pendinginan dan kompresor dimatikan.

Prosedur pengambilan data sama dengan pengambilan data freezer konvensional.

#### 3.3.3 Temperatur *Brine*

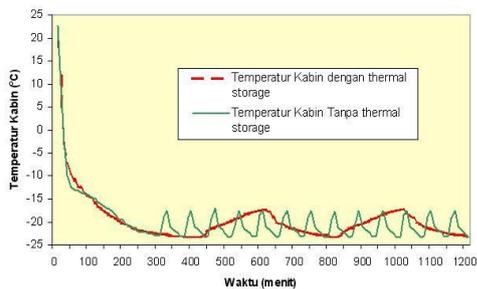


Gambar 3.4. Grafik temperatur kabin dan *brine* terhadap waktu pada freezer dengan fluida penyimpanan dingin

Temperatur di dalam kabin dan temperatur *brine* pada freezer dengan fluida penyimpanan dingin ditunjukkan gambar 3.4. Kurva pada gambar tersebut terlihat berpotongan pada beberapa titik secara periodik. Pada menit-menit awal, kurva temperatur *brine* berada di atas kurva temperatur kabin, berikutnya kurva temperatur *brine* berada di bawah kurva temperatur kabin. Demikian seterusnya secara bergantian. Ini disebabkan konstruksi pipa evaporator yang terendam pada cairan *brine*, sedangkan cairan *brine* menempel pada dinding kabin, sehingga pada saat proses pendinginan terjadi, evaporator mendinginkan *brine* lebih dulu dibandingkan kabin (lihat gambar 3.3). Dengan demikian temperatur *brine* akan lebih rendah dari temperatur kabin. Pada saat mesin mati (proses pendinginan berhenti), maka pengaruh lingkungan luar akan mempengaruhi *brine* lebih dulu, sehingga temperatur *brine* akan lebih tinggi dari temperatur kabin.



### 3.3.4 Pencapaian Temperatur *Setting*



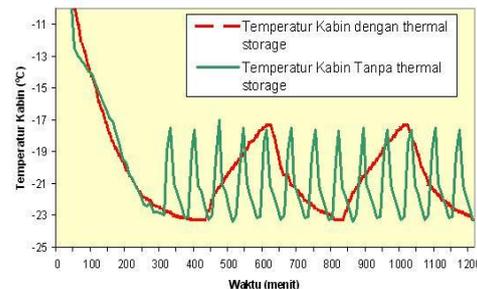
Gambar 3.5 Grafik temperatur Kabin pada *Mini Freezer* tanpa produk

Perbandingan temperatur kabin pada *freezer* tanpa fluida penyimpan dingin dan *freezer* dengan fluida penyimpan dingin ditunjukkan gambar 3.5. Dengan menggunakan *setting thermostat* yang sama  $-23^{\circ}\text{C}$ , terlihat bahwa untuk *freezer* tanpa fluida penyimpan dingin mencapai temperatur *setting* pada menit ke-300, sedangkan untuk *freezer* dengan fluida penyimpan dingin mencapai temperatur *setting* pada menit ke-380. Hal ini dapat dijelaskan bahwa pada saat awal evaporator pada *freezer* tanpa fluida penyimpan dingin mempunyai beban pendinginan yang lebih kecil dibandingkan *freezer* dengan fluida penyimpan dingin. Pada saat proses pendinginan berlangsung, *freezer* tanpa fluida penyimpan dingin hanya mendinginkan kabin, sedangkan *freezer* dengan fluida penyimpan dingin selain mendinginkan kabin juga mendinginkan *brine* (refrigeran sekunder) yang ada di dalam *freezer* tersebut.

### 3.3.5 Periode *Cut-in* dan *Cut-out*

*Freezer* tanpa fluida penyimpan dingin ketika temperatur kabin  $-23^{\circ}\text{C}$  sistem akan mati (menit ke-300), proses pendinginan akan terhenti sehingga temperatur kabin akan naik seperti ditunjukkan pada gambar 3.6. Sistem akan bekerja kembali ketika temperatur kabin  $-17^{\circ}\text{C}$  (30 menit kemudian) dan akan mati ketika temperatur kabin kembali menjadi  $-23^{\circ}\text{C}$  (40 menit kemudian). Demikian proses tersebut berulang dengan periode waktu sekitar 70 menit. Untuk *freezer* dengan fluida penyimpan dingin ketika temperatur kabin  $-23^{\circ}\text{C}$  sistem akan mati (menit ke-420), proses pendinginan akan terhenti, tetapi temperatur *brine*  $-25.3^{\circ}\text{C}$  (di bawah temperatur kabin), sehingga temperatur kabin akan lebih terjaga dari pengaruh luar dan naik secara perlahan dengan kurva yang lebih landai dibandingkan kurva temperatur kabin untuk *freezer* tanpa fluida penyimpan dingin. Sistem akan bekerja kembali ketika temperatur kabin  $-17^{\circ}\text{C}$  (180 menit

kemudian), sedangkan pada saat tersebut temperatur *brine*  $-12,6^{\circ}\text{C}$  (di atas temperatur kabin). Temperatur kabin akan turun dengan kurva yang lebih landai juga dan akan mati ketika temperatur kabin kembali menjadi  $-23^{\circ}\text{C}$  (190 menit kemudian). Demikian proses tersebut berulang dengan periode waktu sekitar 370 menit.



Gambar 3.6 Grafik Temperatur Kabin pada *Mini Freezer* tanpa produk

Bila ditinjau dari waktu periode siklus pendinginan, satu periode waktu siklus pendinginan pada *freezer* dengan fluida penyimpan dingin sebanding dengan 5.3 kali periode waktu siklus pendinginan (370:70) pada *freezer* tanpa fluida penyimpan dingin.

Dengan demikian *freezer* tanpa fluida penyimpan dingin akan hidup-mati 5 kali lebih sering dari *freezer* dengan fluida penyimpan dingin. Pada saat proses menghidupkan mesin pendingin, arus *start* akan jauh lebih besar dari arus normal, sehingga dapat diperkirakan *freezer* tanpa fluida penyimpan dingin akan menggunakan daya listrik total yang lebih banyak dibandingkan *freezer* dengan fluida penyimpan dingin.

Demikian juga bila ditinjau dari temperatur kabin, satu kali periode waktu yang dapat dipertahankan pada *freezer* dengan fluida penyimpan dingin sebanding dengan 6 kali periode waktu yang dapat dipertahankan (180:30) pada *freezer* tanpa fluida penyimpan dingin, sehingga bila ada produk di dalam kabin, maka *freezer* dengan fluida penyimpan dingin akan lebih mampu menjaga kondisi temperatur produk lebih lama dibandingkan *freezer* tanpa fluida penyimpan dingin terhadap perubahan temperatur lingkungan di sekitarnya ataupun bila kondisi jala-jala listrik tidak stabil.

Bila ditinjau dari temperatur kabin, satu periode waktu mesin beroperasi untuk selang waktu yang sama dapat dilihat pada gambar di atas, bahwa pada *freezer* dengan fluida penyimpan dingin membutuhkan waktu operasi sebesar 190 menit, sedangkan waktu operasi mesin untuk *freezer* tanpa fluida penyimpan dingin membutuhkan waktu 212 menit (40 menit x 5,3). Dengan demikian dapat

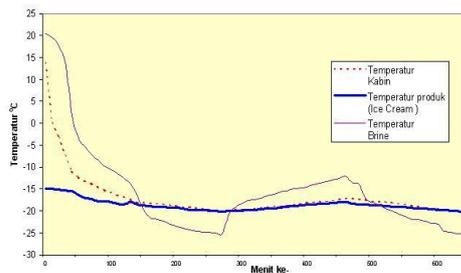


membuktikan bahwa waktu yang dibutuhkan untuk mendinginkan kabin *freezer* dengan fluida penyimpanan dingin relatif lebih singkat, sehingga konsumsi daya listrik relatif lebih hemat.

### 3.3.6 Temperatur Produk

Saat awal temperatur kabin dan temperatur *brine* berada di atas temperatur produk seperti yang terlihat dari gambar 3.7. Pada menit ke-150 ketiga temperatur mempunyai temperatur relatif sama. Selanjutnya Temperatur produk akan relatif sama dengan temperatur kabin sedangkan temperatur *brine* akan terus turun sampai temperatur kabin tercapai. Temperatur produk terlihat relatif stabil dengan rata-rata  $-19.2^{\circ}\text{C}$ , maksimum  $-18^{\circ}\text{C}$  dan minimum  $-20.4^{\circ}\text{C}$ . Seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa hal ini disebabkan konstruksi *freezer* yang sedemikian rupa sehingga dinding kabin dikelilingi cairan *brine*. Demikian pula pipa evaporator terendam pada cairan *brine*, sedangkan cairan *brine* menempel pada dinding kabin, sehingga pada saat proses pendinginan terjadi, evaporator mendinginkan *brine* lebih dulu dibandingkan kabin (lihat gambar 3.3). Ini mengakibatkan temperatur *brine* akan lebih rendah dari temperatur kabin.

Pada saat mesin mati (proses pendinginan berhenti), maka pengaruh lingkungan luar akan mempengaruhi *brine* lebih dulu, sehingga temperatur *brine* akan lebih tinggi dari temperatur kabin. Dengan demikian temperatur di dalam kabin akan dapat dipertahankan.

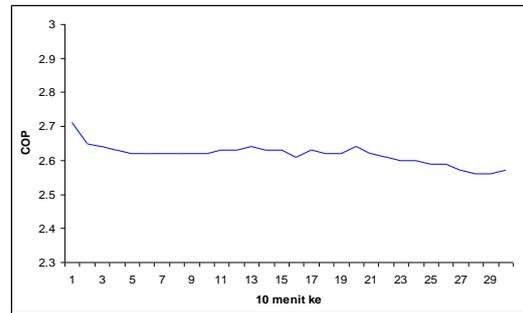


Gambar 3.7 Grafik Temperatur terhadap Waktu pada Mini Freezer dengan fluida penyimpanan dingin dengan berisi produk

### 3.3.7 COP Sistem tanpa fluida penyimpanan dingin

Unjuk kerja dari *mini freezer* tanpa fluida penyimpanan dingin dapat dilihat pada gambar 3.8.

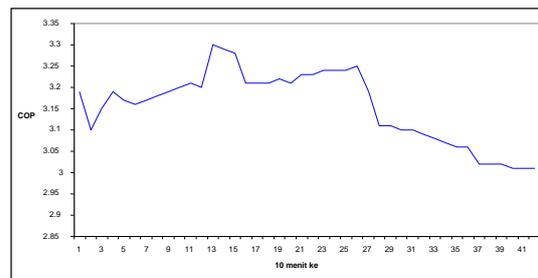
Rata-rata COP dari sistem tersebut adalah 2,62.



Gambar 3.8 Grafik COP terhadap Waktu pada Mini Freezer tanpa fluida penyimpanan dingin

### 3.3.8 COP system yang menggunakan fluida penyimpanan dingin

Unjuk kerja dari *mini freezer* menggunakan fluida penyimpanan dingin dapat dilihat pada gambar 3.9. Rata-rata COP dari sistem tersebut adalah 3,16.



Gambar 3.9 Grafik COP terhadap Waktu pada Mini Freezer dengan fluida penyimpanan dingin

### 3.3.9 Foto Proses Pembuatan Mini Freezer



Gambar 3.10 Pembuatan kabin bagian dalam mini freezer



Gambar 3.11 Pemasangan tangki penampung fluida penyimpan dingin *mini freezer*



Gambar 3.12 Proses uji coba *mini freezer* yang dilengkapi dengan fluida penyimpan dingin



Gambar 3.13 *mini freezer* yang dilengkapi fluida penyimpan dingin setelah selesai dibuat

## 4. KESIMPULAN

### 4.1 Kesimpulan

Dari hasil pengambilan data dan analisis yang sudah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa:

- Pada kondisi awal, waktu pencapaian temperatur *setting* ( $-23^{\circ}\text{C}$ ) untuk *freezer* dengan fluida penyimpan dingin lebih lama (menit ke-380) dibandingkan *freezer* tanpa fluida penyimpan dingin (menit ke-300) hal ini disebabkan adanya penambahan *brine* sebagai beban pendinginan.
- *Freezer* dengan fluida penyimpan dingin mempunyai perioda hidup-mati yang lebih panjang (370 menit) daripada *freezer* tanpa fluida penyimpan dingin (70 menit) dengan perbandingan 5,3:1.
- Pemakaian arus mula pada system fluida penyimpan dingin semakin jarang yang berarti lebih hemat konsumsi daya listriknya.
- Total waktu (Konsumsi daya) yang digunakan untuk proses pendinginan lebih besar *freezer* tanpa fluida penyimpan dingin (212 menit) dibandingkan dengan *freezer* dengan fluida penyimpan dingin (190 menit).
- Pemakaian *brine* yang dipasang sekeliling kabin *freezer* dapat mempertahankan temperatur produk pada  $-19,2^{\circ}\text{C}$ , maksimum  $-18^{\circ}\text{C}$  dan minimum  $-20,4^{\circ}\text{C}$ .

### 4.2 Saran

Penelitian *freezer* dengan fluida penyimpan dingin ini sebaiknya dikembangkan pada pemakaian *brine* dengan konsentrasi yang bervariasi, sehingga diharapkan memperoleh temperatur *brine* yang sesuai dengan pemakaian tertentu.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Althouse, Andrew D., et all, Modern Refrigeration and Air Conditioning, The Goodheart-Willcox Company, Inc., Illinois, 1992.
2. Dossat, Roy J., *Principle of Refrigeration*, Second Edition, John Wiley & Sons, New York, 1981
3. *ASHRAE Handbook of Fundamental*, American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Atlanta 2001.



4. *ASHRAE Handbook of Refrigeration*, American Society of Heating, Refrigerating, and Air

Conditioning Engineers, Atlanta 2002