

PERANCANGAN COLD SHOWCASE VERTIKAL BERKAPASITAS 100L DENGAN MENGGUNAKAN 2 LAPIS KACA

Budi, Billy¹⁾, Anggraini, Ekadewi²⁾, Amelia³⁾

Program Studi Teknik Mesin Universitas Kristen Petra^{1,2)}

Jl. Siwalankerto 121-131, Surabaya 60236, Indonesia^{1,2)}

Phone: 0062-31-8439040, Fax: 0062-31-8417658^{1,2)}

E-mail : billybudijwaja03@gmail.com¹⁾, ekadewi@petra.ac.id²⁾, amelia@petra.ac.id³⁾

Abstrak. *Cold showcase merupakan lemari pendingin yang digunakan untuk menyimpan dan menampilkan kue. Pada cold showcase menggunakan sistem pendingin yaitu siklus kompresi uap ideal. Temperatur ruangan pada cold showcase adalah 7°C dan temperatur pada evaporator adalah -5°C.*

Cold showcase dirancang dengan dimensi 100 cm x 40 cm x 35 cm. Mesin pendingin terdiri dari kompresor merk Sikelan tipe ADW110 berkapasitas pendinginan 3/8 pk, pipa kapiler berdiameter 0,31 mm dengan panjang 3 m dan menggunakan material tembaga, evaporator dengan dimensi 40 cm x 30 cm x 10 cm dan menggunakan pipa aluminium berdiameter ¼ inch, kondensor diletakkan pada showcase hangat untuk heat recovery. Refrigerant pada mesin pendingin menggunakan R134a. Kaca pada dinding cold showcase dibuat dengan prinsip double pane window agar tidak terjadi pengembunan.

Hasil uji coba cold showcase menunjukkan bahwa temperatur rata-rata ruangan cold showcase setelah dinyalakan 40 menit adalah 7,8°C pada tray atas dan 1,8°C pada tray bawah. Pada cold showcase yang menggunakan 2 lapis kaca tidak terjadi pengembunan dibandingkan ketika menggunakan 1 lapis kaca.

Kata Kunci: *Cold showcase; mesin pendingin; double pane window*

1. Pendahuluan

Tingkat permintaan manusia terhadap makanan semakin meningkat terutama pada makanan berjenis kue tart, puding, dan makanan ringan lainnya yang membutuhkan pendinginan agar *buttercream* pada makanan-makanan tersebut tidak meleleh. Lemari pendingin merupakan salah satu solusi terhadap masalah tersebut. Fungsi dari lemari pendingin adalah menyimpan berbagai jenis kue dan makanan ringan lainnya dalam kondisi dingin, serta menjaga temperatur dan *relative humidity* didalam lemari tersebut. Selain itu lemari pendingin memiliki kaca agar kue tersebut dapat dilihat secara langsung oleh pembeli sehingga lemari tersebut disebut dengan nama *cold showcase* (Pearson, 2001).

Cold showcase sendiri menggunakan sistem pendingin layaknya lemari pendingin pada umumnya, yaitu terdapat komponen utama berupa kompresor, kondensor, katup ekspansi dan evaporator. Udara dingin yang dihembuskan dari evaporator berada pada bagian bawah rak. Bentuk *cold showcase* yang umum yaitu memanjang kesamping, hal ini memakan banyak tempat pada sebuah toko pada pusat perbelanjaan sehingga biaya sewa tempatnya menjadi mahal. Maka diperlukan sebuah *cold showcase* vertikal yang lebih ramping agar tidak memakan banyak tempat.

Pada sistem pendingin *cold showcase* memerlukan *refrigerant* sebagai media untuk menyerap dan membuang panas agar dapat mendinginkan ruangan *showcase* tersebut. *Refrigerant* yang sering digunakan adalah jenis R22, R134a, R410a dan R32. *Refrigerant* tersebut juga memberikan dampak yang buruk bagi lingkungan, yaitu menyebabkan *global warming* dan lapisan ozon menipis hingga berlubang. Hal ini dilihat dari seberapa besar angka *Ozone Depletion Potential* dan *Global Warming Potential* pada Tabel 1.

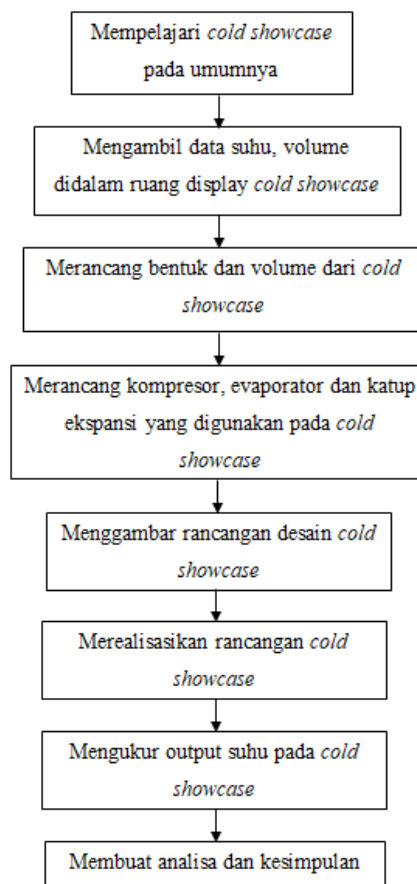
Tabel 1. Angka ODP dan GWP beberapa *refrigerant*

Refrigerant	ODP	GWP
R22	0,055	1810
R134a	0	1430
R401a	0,033	1182

Tujuan dari penelitian ini adalah dapat membuat sebuah *cold showcase* vertikal agar dapat mengurangi biaya sewa tempat peletakan *cold showcase*. Selain itu perlunya dilakukan pencegahan munculnya embun pada dinding kaca *cold showcase* agar kue atau makanan ringan lainnya yang dipamerkan pada *cold showcase* dapat terlihat dengan jelas. *Refrigerant* pada sistem pendingin *cold showcase* perlu menggunakan *refrigerant* yang ramah lingkungan untuk mengurangi pengaruh *global warming* dan penipisan lapisan ozon.

2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini.

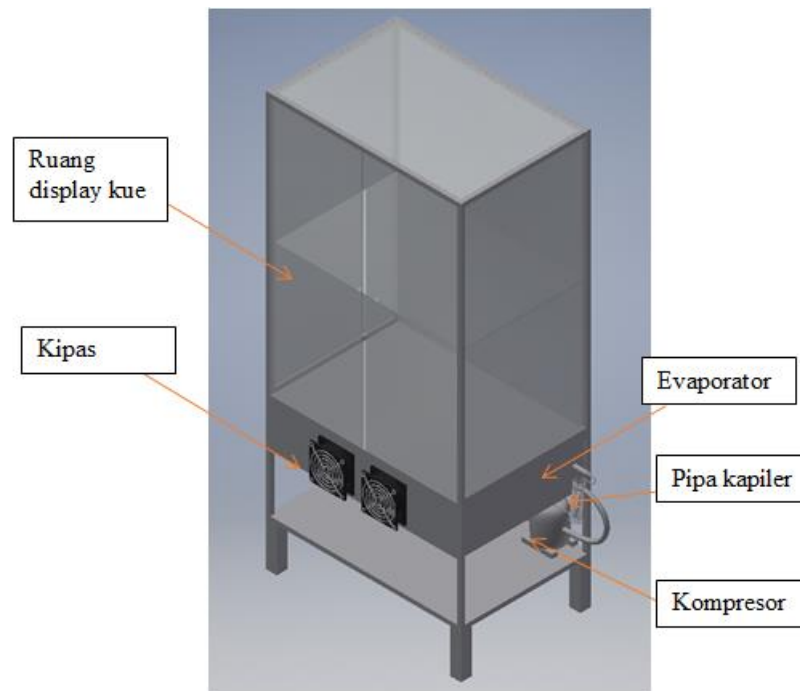


Gambar 1. Diagram Alir Metode Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Desain *Cold Showcase*

Pada Gambar 2 merupakan rancangan desain *cold showcase*. Pada rancangan tersebut terdapat evaporator, kompresor, katup ekspansi. *Cold showcase* ini dirancang untuk menampung 2 buah cake berdiameter 20 cm dan 4 buah potongan cake dengan panjang 10 cm, maka dirancang suatu ruangan *cold showcase* dengan dimensi 45 cm x 30 cm x 65 cm.



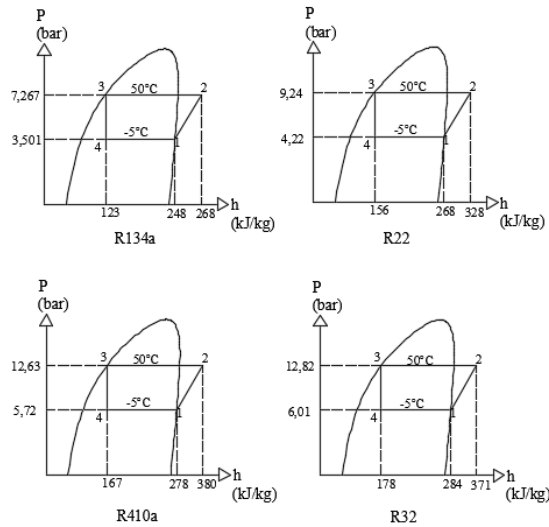
Gambar 2. Desain Cold Showcase

3.2 Penentuan Jenis Refrigerant

Ada berbagai jenis *refrigerant* yang digunakan untuk industri dan untuk keperluan *commercial* saat ini. Pemilihan *refrigerant* untuk mesin *cold showcase* berdasarkan faktor keamanan terhadap lingkungan dan kemampuannya untuk berubah fase pada tekanan kerja *cold showcase*. *Refrigerant* yang sering digunakan untuk mesin pendingin *commercial* adalah R-22, R-134a, R-32 dan R-410a karena *refrigerant* tersebut memiliki *cooling capacity* yang cukup besar. Tetapi pada tahun 2014 penggunaan R-22 mulai dilarang karena memiliki angka ODP dan GWP yang cukup besar sedangkan R-134a memiliki angka ODP dan GWP yang relatif lebih kecil. Sedangkan R-32 dan R-410a pada tahun 2014 pemakaian mulai dianjurkan untuk sistem pendingin AC karena memiliki *cooling capacity* yang paling besar dan tekanan *refrigerant* yang besar jika dibandingkan dengan R-22 dan R-134a. Tetapi apabila sistem pendingin menggunakan *refrigerant* R-32 dan R-410a memerlukan pipa tembaga yang besar agar kuat menahan tekanan *refrigerant* yang besar. Hal ini menyebabkan sistem pendingin memerlukan ruang yang lebih besar karena menggunakan pipa yang lebih besar. Maka dari itu *refrigerant* yang dipilih untuk mesin *cold showcase* adalah R-134a karena memiliki *cooling capacity* yang cukup besar, memiliki angka ODP dan GWP yang relatif kecil dan juga tekanan *refrigerant* yang rendah.

3.3 Beban Pendinginan Dari Produk

Beban pendinginan pada *cold showcase* adalah jumlah kalor yang diserap dari produk ke *refrigerant* ditambah jumlah kalor yang diserap dinding kaca ke *refrigerant* kemudian dibuang ke udara sekitar. Produk yang ingin didinginkan adalah 2 buah *cake* berdiameter 20 cm dengan berat satu *cake* sekitar 1,5 kg dan 4 buah potongan *cake* sepanjang 10 cm dengan berat satu potongan sekitar 300 gram. Produk tersebut didinginkan dari suhu 27°C menjadi 7°C dalam waktu 20 menit. Berikut perhitungan besar kalor yang dilepas dari produk dan dinding. Massa total *cake* adalah 3 kg dan massa total potongan *cake* adalah 1,2 kg, sedangkan kalor jenis *cake* adalah 2613 J/kg.°C, maka beban kalor keseluruhan dari produk adalah 182,91 Watt.



Gambar 3. Perbandingan P-h Diagram 4 Refrigerant

3.4 Beban Pendinginan Dari Dinding

Pada perhitungan beban kalor dari dinding, bagian luar dinding menggunakan konveksi alami sedangkan untuk bagian dalam dingin menggunakan konveksi paksa yang berasal dari kipas. Berdasarkan pengukuran kipas yang digunakan memiliki kecepatan udara sebesar 2,4 m/s atau laju aliran massa udaranya sebesar 0,028 kg/s.. Kecepatan udara didalam ruangan *showcase* sebesar 0,5 m/s atau laju aliran massa udaranya sebesar 0,002 kg/s. Temperatur udara pada ruangan *cold showcase* yang diinginkan adalah 7°C dari temperatur udara sekitar 22°C.

Beberapa perhitungan yang harus dilakukan untuk menghitung beban kalor dari dinding adalah, menghitung *Rayleigh number* dan *Reynold number*, menghitung *Nusselt number*, menghitung jala-jala termal, dan yang terakhir menghitung beban kalor dari dinding. Pada setiap langkah perhitungan perlu dibagi antara dinding horizontal dengan dinding vertikal karena memiliki perbedaan persamaan.

Beban pendinginan dari dinding vertikal sebesar 146,22 Watt, dari dinding horisontal sebesar 15,6 Watt sehingga beban pendinginan total dari dinding sebesar 161,82 Watt. Apabila beban kalor keseluruhan dari produk ditambah dengan beban pendingin total dari dinding, maka didapatkan beban pendinginan keseluruhan pada *cold showcase* adalah 344,736 Watt.

3.5 Penentuan Jumlah Kipas

Berdasarkan perhitungan laju aliran massa udara yang diperlukan, dapat ditentukan jumlah kipas untuk ruangan *showcase* dengan cara membandingkan laju aliran massa udara yang diperlukan dengan laju aliran massa dari 1 buah kipas. Laju aliran massa udara yang diperlukan sebesar 0,068 kg/s. Laju aliran massa udara dari 1 buah kipas sebesar 0,028 kg/s. Maka jumlah kipas yang diperlukan adalah 2,4 buah kipas atau dibulatkan menjadi 3 buah kipas.

3.6 Penentuan Kompresor

Jenis kompresor yang digunakan untuk pembuatan *cold showcase* adalah kompresor jenis *hermetic* dengan merk Sikelan. Kompresor tersebut perlu menanggung beban dari evaporator sebesar 344,736 Watt dan dapat bekerja di temperatur tinggi.

Berdasarkan data *sheet* manufaktur kompresor Sikelan, tipe kompresor yang dipilih adalah tipe GQR11TZ. Kompresor tersebut dipilih karena memiliki *cooling capacity* yang paling mendekati perhitungan beban pendingin, yaitu sebesar 702 Watt. Kompresor tersebut memiliki *flow rate* sebesar 0,2397 kg/s.

Pada saat pembelian kompresor, tipe yang dibeli adalah kompresor Sikelan tipe ADW110 dengan kapasitas 3/8 pk. Hal ini dikarenakan kompresor Sikelan tipe GQR11TZ tidak ada dipasaran dan kompresor yang memiliki spesifikasi paling mirip adalah tipe ADW110.

3.7 Perancangan Desain Evaporator dan Panjang Pipa Evaporator

Pada mesin *cold showcase* ini desain evaporator yang akan digunakan ditunjukkan pada Gambar 5.

Pada perhitungan panjang pipa evaporator diperlukan perhitungan *overall heat transfer coefficient* terlebih dahulu. *Overall heat transfer coefficient* dapat dihitung sebagai berikut.

$$U_i \cdot A_{c \text{ inside}} = \frac{1}{\frac{1}{h_{2p} \cdot A_{c \text{ inside pipe}}} + \frac{\ln(ro/ri)}{2\pi kL} + \frac{1}{h_o \cdot A_{c \text{ outside pipe}}}}$$

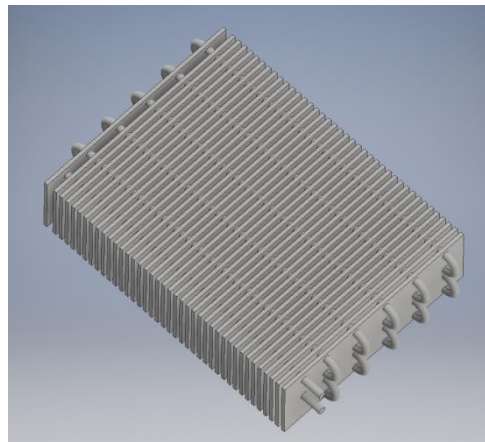
$$U_i \times 2\pi r_i L = \frac{1}{\frac{1}{h_{2p} \cdot A_{c \text{ inside pipe}}} + \frac{\ln(ro/ri)}{2\pi kL} + \frac{1}{h_o \cdot A_{c \text{ outside pipe}}}}$$

$$U_i = \frac{2\pi r_i L}{\frac{2\pi r_i L}{h_{2p} \cdot 2\pi r_i L} + \frac{\ln(ro/ri) \times 2\pi r_i L}{2\pi kL} + \frac{2\pi r_i L}{h_o \cdot 2\pi r_o L}}$$

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{h_{2p}} + \frac{\ln(ro/ri) \times r_i}{k} + \frac{r_i}{h_o \cdot r_o}}$$

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{28,5432} + \frac{\ln(0,00375/0,00315) \times r_i}{401} + \frac{0,00315}{72,311 \times 0,00375}}$$

$$= 153,252 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$



Gambar 4. Rancangan Desain Evaporator

Perhitungan panjang pipa pada evaporator menggunakan persamaan *heat exchanger*. *Heat exchanger* pada evaporator dianalisa dengan menggunakan metode NTU. Tipe *heat exchanger* yang digunakan adalah *shell and tube* : 20 tube passes.

$$A_s = \frac{NTU \times C_{min}}{U_i}$$

$$= \frac{0,587 \times 0,0318}{153,252}$$

$$= 0,1219 \text{ m}^2$$

$$L = \frac{A_s}{\pi D}$$

$$= \frac{0,1219}{\pi \times 0,075}$$

$$= 5,174 \text{ m}$$

3.8 Hasil Uji Coba Showcase

Pada *cold showcase* yang telah dirancang dan direalisasikan, dilakukan uji coba temperatur pada ruangan *display* dan pengamatan embun pada dinding *showcase*. Hasil uji coba temperatur tersebut ditunjukkan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Hasil Pengujian *Showcase*

Waktu (Menit ke-)	Titik 1		Titik 2		Titik 3		Titik 4		Titik 5		Titik 6		Temperatur evap (°C)		Massa tisu (gram)	
	Db (°C)	Wb (°C)	Db (°C)	Wb (°C)	Db (°C)	Wb (°C)	Db (°C)	Wb (°C)	Db (°C)	Wb (°C)	Db (°C)	Wb (°C)	inlet	outlet	1 lapis kaca	2 lapis kaca
0	22,4	19,3	22,3	19,4	22,1	19,2	21,5	20,4	22	19,8	21,8	19,9	18,8	18,9	2	1
5	21,4	19	21,6	19	21,5	18,9	19,2	18,5	19,3	18,4	19,1	18,3	14,1	16,4		
10	17,2	15,2	17,4	15,5	17	15,3	14,7	12,5	15	12,3	14,8	12,3	8,5	10,6		
15	14,1	11,7	14,3	11,8	14,2	11,7	10,8	8,9	10,9	9	10,7	8,8	6	8,3		
20	12,5	10,2	12,6	10	12,5	10,1	9,2	7,8	9,4	8	9,3	7,9	4,5	6,7		
25	10,3	9,5	10,2	9,6	10,3	9,6	7,1	6	7,2	5,9	7,1	6	1,2	2,9		
30	8,9	7,5	9	7,7	9	7,7	5,5	3,9	5,4	3,9	5,6	3,8	1	2,1		
35	8,5	5,2	8,7	5,4	8,6	5,3	3,8	2,1	3,7	2,2	3,7	2,1	-0,8	1,5		
40	7,8	4,8	7,7	4,8	7,9	5	1,8	0,8	1,9	1	1,8	0,8	-1,1	0,8		

4. Kesimpulan

Cold showcase memiliki dimensi 100 cm x 45 cm x 30 cm atau memiliki kapasitas 100L. *Cold showcase* memerlukan daya refrigerasi sebesar 344,736 Watt untuk menjaga ruangan *showcase* bertemperatur 7°C dalam temperatur lingkungan 22°C . Komponen-komponen *cold showcase* terdiri dari :

- 1 unit kompresor merk Sikelan tipe ADW110 dengan kapasitas pendinginan 3/8 pk.
- 1 unit evaporator yang memiliki dimensi 40 cm x 30 cm x 10 cm dan pipa diameter ¼ inch dengan panjang 7 m.
- 1 unit pipa kapiler dengan diameter 0,31 mm dan panjang 3 m.
- Refrigerant R134a.

Berdasarkan perancangan dan hasil pengujian *cold showcase*, didapatkan bahwa temperatur rata-rata ruangan *cold showcase* adalah 1,8 °C pada tray atas dan 7,8 °C pada tray bawah dalam waktu 40 menit. Pada *showcase* dengan 1 lapis kaca pengembunan terjadi pada sisi bawah kaca, sedangkan pada 2 lapis kaca tidak terjadi pengembunan. Pada *cold showcase* 2 lapis kaca menggunakan prinsip *double pane window*.

5. Daftar Pustaka

1. Cengel, Yunus A. *Heat Transfer – A Practical Approach* (2nd ed). John Wileys & Sons, Inc. (2005).
2. Linde Group. *Refrigerant Enviroment Data, Ozone Depletion and Global Warming Potential*. [Online] from http://www.linde-gas.com/internet.global.lindegas.global/en/images/Refrigerants%20environmental%20GWPs17_111483.pdf. (n.d). [Acessed on 6 Oktober 2017].
3. Pearson, Andy. *Refrigeration Applications*. Germany: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers. (2001).
4. Pratama, Christopher. *Perancangan Heater Showcase dengan Memanfaatkan Panas dari Kondensor*. (2018).