

## 4. PERENCANAAN

### 4.1. Penentuan Siklus Pendingin

Dalam siklus refrigerasi, terdapat banyak macam siklus yang dapat digunakan. Namun siklus kompresi uap ideal yang paling banyak digunakan di bidang *refrigeration*. Selain itu, siklus kompresi uap juga memiliki komponen – komponen yang sederhana, tidak membutuhkan ruang yang besar, dan biaya yang akan dibutuhkan tergolong tidak terlalu mahal dibandingkan dengan siklus yang lainnya. Oleh karena itu, siklus pendingin yang digunakan adalah siklus pendingin kompresi uap.

### 4.2. Penentuan Temperatur Kerja Evaporator dan Kondensor

Media yang ingin didinginkan adalah kaldu dengan kapasitas 20 liter, dengan suhu 70°C menjadi 3°C. Dengan demikian, melalui data yang sudah ada dilapangan, untuk menentukan suhu *refrigerant* pada evaporator harus berbeda 15°C (masukan dari praktisi) dari hasil media yang didinginkan.

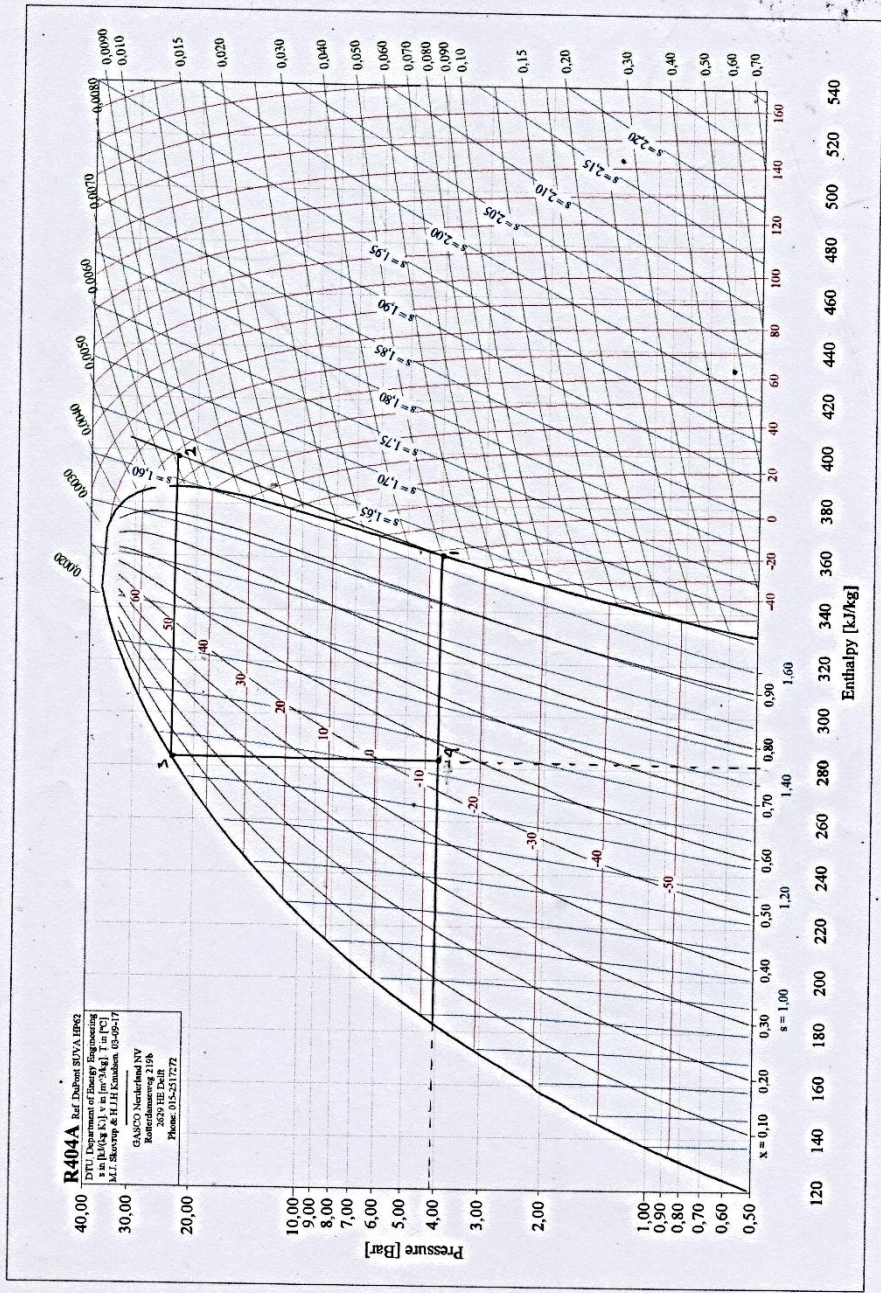
$$\text{suhu } \textit{refrigerant}_{\textit{evaporator}} = 3^{\circ}\text{C} - 15^{\circ}\text{C} = -12^{\circ}\text{C}$$

$$\text{suhu } \textit{refrigerant}_{\textit{kondensor}} = 35^{\circ}\text{C} + 15^{\circ}\text{C} = 50^{\circ}\text{C}$$

### 4.3. Penentuan Jenis Refrigerant

Jenis *refrigerant* yang umum digunakan di bidang *refrigeration* adalah jenis R-22 dan R-404A. Kandungan yang terdapat pada *refrigerant* jenis R-22 masih terkandung unsur *khlor* yang dapat merusak ozon bumi, sedangkan pada *refrigerant* jenis R-404A kandungannya lebih ramah lingkungan. Oleh karena itu, jenis *refrigerant* yang digunakan adalah R-404A.

Dari suhu *refrigerant* pada evaporator dan kondensor, maka data tersebut digambarkan ke dalam *P-h* diagram R404A untuk menemukan data – data lain yang dibutuhkan.



Gambar 4.1 Perencanaan Desain pada P-h Diagram R404A

Dari data  $P-h$  diagram diatas, maka diperoleh data sebagai berikut :

Tabel 4.1 Data  $P-h$  Diagram R404A

	Temperature (°C)	Tekanan (bar)	Fase	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg°C)
1	- 12 °C	4,1	Uap jenuh	359,58	1,614
2	58 °C	23,11	<i>Superheat</i>	379,32	1,614
3	50 °C	23,11	Cair jenuh	277,57	1,254
4	- 12 °C	4,1	<i>Mixture</i>	277,57	1,254

Dari data tabel diatas, maka dilakukan perhitungan untuk mencari kapasitas evaporator, kerja kompresor, dan kapasitas kondensor pada perhitungan dibawah ini :

#### 4.4. Perhitungan

##### 4.4.1. Menghitung Beban Blast Chiller pada Sistem

Air kaldu diletakkan dalam wadah yang diasumsikan terbuat dari bahan Aluminium dengan kapasitas 20 liter. Kemudian air kaldu didinginkan dari suhu 70 °C menjadi 3 °C. Data yang terkait dengan model adalah :

- Wadah kaldu menggunakan panci Aluminium merk OX – One kapasitas 20L, dengan spesifikasi :
  - $m = 4,8 \text{ kg}$
  - $C_p = 910 \text{ J/kg.C}$
  - Konduktivitas = 237 W/m.K

Dikarenakan kandungan air pada air kaldu ayam sangat banyak, maka untuk *heat specific* dari air kaldu ayam diasumsikan sama dengan *heat specific* air.

- $C_{p_{kaldu}} = 4186 \text{ J/kg.C}$
- $m_{kaldu} = 20 \text{ kg}$

maka kalor dari air kaldu dan wadah adalah :

$$\begin{aligned}
 Q_{kaldu} &= m \times C_p \times (T_1 - T_2) \\
 &= 20 \times 4186 \times (70 - 3) \\
 &= 5.609.240 \text{ Joule}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Q_{\text{wadah}} &= m \times C_p \times (T_1 - T_2) \\
&= 4,8 \times 910 \times (70 - 3) \\
&= 292.656 \text{ Joule}
\end{aligned}$$

Karena,  $Q_{\text{kaldu}} + Q_{\text{wadah kaldu}} = Q_{\text{udara}} = Q_{\text{ref @ evap}}$

Maka :

$$\begin{aligned}
Q_{\text{ref @ evap}} &= Q_{\text{kaldu}} + Q_{\text{wadah kaldu}} \\
&= 5.609.240 + 292.656 \\
&= 5.901.896 \text{ Joule}
\end{aligned}$$

#### 4.4.2. Menghitung Kapasitas Evaporator

Waktu untuk mendinginkan air kaldu dan wadah adalah 75 menit dan besar beban total *blast chiller* adalah 5.901.896 Joule.

Maka kapasitas evaporator :

$$\begin{aligned}
\dot{Q}_{\text{evap}} &= Q / t \\
&= 5.901.896 / 4500 \\
&= 1.311,5 \text{ W}
\end{aligned}$$

Dengan safety factor 30% (masukan dari praktisi), maka kapasitas evaporator adalah

$$\begin{aligned}
\dot{Q}_{\text{evap}} &= 1.311,5 + (30\% \times 1.311,5) \\
&= 1.705 \text{ W}
\end{aligned}$$

#### 4.4.3. Menghitung Laju Alir Massa Refrigerant

Untuk membuat *refrigerant* dapat mengalir melewati semua komponen, diperlukan kompresor. Laju aliran *refrigerant* ditentukan dari :

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}_{\text{evap}}}{h_1 - h_4}$$

menghitung laju alir massa pada sistem:

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}_{\text{evap}}}{(h_1 - h_4)}$$

$$\dot{m} = \frac{1,705}{(359,58 - 277,57)}$$

$$\dot{m} = 0,0208 \text{ kg/s}$$

#### 4.4.4. Menghitung Kapasitas Kondensor

Dari perhitungan beban beban *blast chiller*, maka besarnya kapasitas kondensor yang dibutuhkan dalam sistem adalah:

Diketahui :

$$h_2 = 379,32 \text{ (kJ/kg)}$$

$$h_3 = 277,57 \text{ (kJ/kg)}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{kondensor}} &= \dot{m} (h_2 - h_3) \\ &= 0,0208 \times (379,32 - 277,57) \\ &= 2,116 \text{ KW} \\ &= 2.116 \text{ W} \end{aligned}$$

Dengan safety factor 30% (masukkan dari praktisi), maka besarnya kapasitas kondensor adalah

$$\begin{aligned} Q_{\text{kondensor}} &= 2.116 + (30\% \times 2.116) \\ &= 2.751,3 \text{ W} \end{aligned}$$

### 4.5. Penentuan Komponen

#### 4.5.1. Evaporator

Dari perhitungan evaporator, maka dalam perencanaan ini besar kapasitas evaporator yang dibutuhkan sebesar 1.705 W. Terdapat berbagai macam tipe evaporator yang dapat dipilih untuk memenuhi kebutuhan *blast chiller* yang direncanakan. Evaporator jenis *Fan-coil* dipilih karena dianggap memiliki efisiensi lebih baik daripada evaporator jenis yang lain. Dengan bantuan kipas, diharapkan suhu dingin dari evaporator dihembuskan secara merata dan cepat di dalam ruang pendingin agar cepat mendinginkan air kaldu



Gambar 4.2 Evaporator Jenis *Fan-coil*  
 Sumber : [www.tokopendingin.com](http://www.tokopendingin.com)

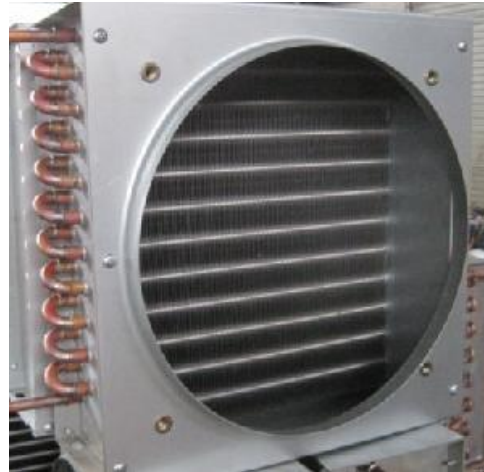
Sesuai dengan perhitungan kapasitas evaporator sebesar 1705 W, maka dipilihlah sebuah evaporator merk Muller tipe MLT019 dengan kapasitas pendinginan sebesar 1875 W. Spesifikasi evaporator dapat dilihat pada Gambar 4.3 berikut ini:

			MLT (Ø 350mm) Low Temp				
Model			MLT016	MLT019	MLT041	MLT045	MLT049
Capacity W	SC3 Cond**1	R404A	1610	1875	4116	4528	4893
		R507	1646	1944	4249	4642	5035
		R22	1529	1781	3910	4301	4649
	SC4 Cond**2	R404A	1253	1460	3204	3524	3809
		R507	1282	1513	3307	3613	3920
		R22	1190	1387	3044	3348	3619
Refrigerant Charge* kg <sup>3</sup>		R404A	1.38	1.58	2.72	3.17	4.07
		R507	1.45	1.65	2.84	3.31	4.25
		R22	1.54	1.76	3.02	3.52	4.51
No. of Coil Rows			3	3	3	3	4
Fan Data (350mm Dia) (230V/1/50Hz)		No. of Fans	1	1	2	2	2
		Air Flow m <sup>3</sup> /h	2520	2520	5040	5040	4950
		Air Throw m	8.1	8.1	11.6	11.6	11.0
		Total Power W	155	155	310	310	310
		Total Current A	0.65	0.65	1.3	1.3	1.3

Gambar 4.3 Spesifikasi Evaporator merk Muller  
 Sumber : [www.heatcraft.com](http://www.heatcraft.com)

#### 4.5.2. Kondensor

Jenis kondensor yang sering digunakan dalam *refrigeration* adalah kondensor dengan jenis *finned tubes*. Hal ini dikarenakan kondensor dengan jenis *finned tubes* memiliki efisiensi yang lebih baik dalam melepaskan panas dikarenakan permukaan sirip – siripnya yang membantu dalam melepaskan panas ke lingkungan sekitar.



Gambar 4.4 Kondensor Jenis *Finned Tubes*

Dari perhitungan evaporator di atas, maka dalam perencanaan ini dipilih sebuah *condensing unit* yang sesuai dengan kapasitas evaporator yaitu 1.705 W. Oleh karena itu, dipilihlah sebuah kondensor unit dengan merk Danfoss dengan tipe LCHC 034 GS A01 G dengan kapasitas pendinginan sebesar 1.900 W. Spesifikasi *condensing unit* dapat dilihat pada gambar berikut:

Type	Code no.	Voltage/~/ (50 Hz)		Fans	Evaporating temperature [°C]					Cooling capacity	
		Compressor	Fan		-45 [W]	-40 [W]	-35 [W]	-30 [W]	-25 [W]	-20 [W]	-15 [W]
LCHC 004 TL A01 G	114X1209	230V/1~	230V/1~	1	64	85	110	141	177	218	265
LCHC 006 FR A01 G	114X1217	230V/1~	230V/1~	1	91	128	171	219	273	332	397
LCHC 008 FR A01 G	114X1325	230V/1~	230V/1~	1	130	161	208	268	340	420	508
LCHC 007 NL A01 G	114X1329	230V/1~	230V/1~	1	126	175	234	302	380	497	563
LCHC 010 SC A01 G	114X1333	230V/1~	230V/1~	1	-	-	216	300	393	496	609
LCHC 012 SC A01 G	114X1441	230V/1~	230V/1~	1	129	220	320	429	547	672	804
LCHC 015 SC A01 G	114X1549	230V/1~	230V/1~	1	198	292	400	521	654	799	955
LCHC 018 SC A01 G	114X1557	230V/1~	230V/1~	1	232	349	475	610	751	899	1052
LCHC 021 SC A01 G	114X1565	230V/1~	230V/1~	1	291	405	535	680	840	1014	1202
LCHC 026 GS A01 G	114X1673	230V/1~	230V/1~	1	350	500	670	860	1070	1290	1525
LCHC 034 GS A01 G	114X1781	230V/1~	230V/1~	1	450	650	850	1100	1350	1625	1900

Gambar 4.5 Spesifikasi *Condensing Unit* merk Danfoss

Sumber : [www.danfoss.com](http://www.danfoss.com)

### 4.5.3. Kompresor

Berbagai macam jenis kompresor yang ada, dipilihlah sebuah kompresor dengan jenis *hermetic*. Dikarenakan harganya yang jauh lebih murah jika dibandingkan dengan kompresor jenis *scroll*.



Gambar 4.6 Kompresor Jenis *Hermetic*  
Sumber : [www.danfoss.com](http://www.danfoss.com)

Berdasarkan pemilihan *condensor unit* dan perhitungan kapasitas pendinginan sebesar 1.705 W, maka tipe kompresor yang dipilih adalah kompresor jenis *hermetic* merk Danfoss tipe GS34CLX 1,5 HP dengan spesifikasi :

ARI 540-99 (LBP1)		220V, 50Hz, fan cooling F <sub>2</sub>							
Evap. temp. in °C	-45	-40	-35	-30	-25	-23.3	-20	-15	-10
Capacity in W		521	748	1017	1333	1450	1703	2133	2630
Power cons. in W		758	925	1087	1251	1307	1423	1611	1821
Current cons. in A		4.35	4.94	5.60	6.32	6.58	7.11	7.96	8.88
COP in W/W		0.69	0.81	0.94	1.07	1.11	1.20	1.32	1.44

Gambar 4.7 Spesifikasi *Hermetic* Kompresor merk Danfoss  
Sumber : [www.danfoss.com](http://www.danfoss.com)

### 4.5.4. Expansion Valve

Dikarenakan beban pada *blast chiller* berubah – ubah, maka diperlukan sebuah perangkat katup ekspansi yang dapat mengontrol beban evaporator tersebut. Oleh karena itu, pemilihan perangkat katup ekspansi menggunakan jenis *thermostatic expansion valve* karena lebih baik dapat mengontrol tekanan sekaligus suhu pada *outlet* evaporator.



Gambar 4.8 Katup Ekspansi Jenis *Thermostatic*  
 Sumber : [www.danfoss.com](http://www.danfoss.com)

Dilihat dari perhitungan evaporator dan kondensor, maka dibutuhkan sebuah perangkat katup ekspansi dengan syarat:

- Tekanan kerja minimal 23,11 bar
- Suhu evaporator -12 °C
- *Refrigerant* yang digunakan R404A

Maka dipilihlah katup ekspansi merk Danfoss dengan tipe TES 2, no. produk : 068Z3407 dengan tekanan kerja 34 bar dan suhu kerja antara -40 °C hingga -5 °C. Spesifikasi komponen katup ekspansi dapat dilihat pada gambar berikut:

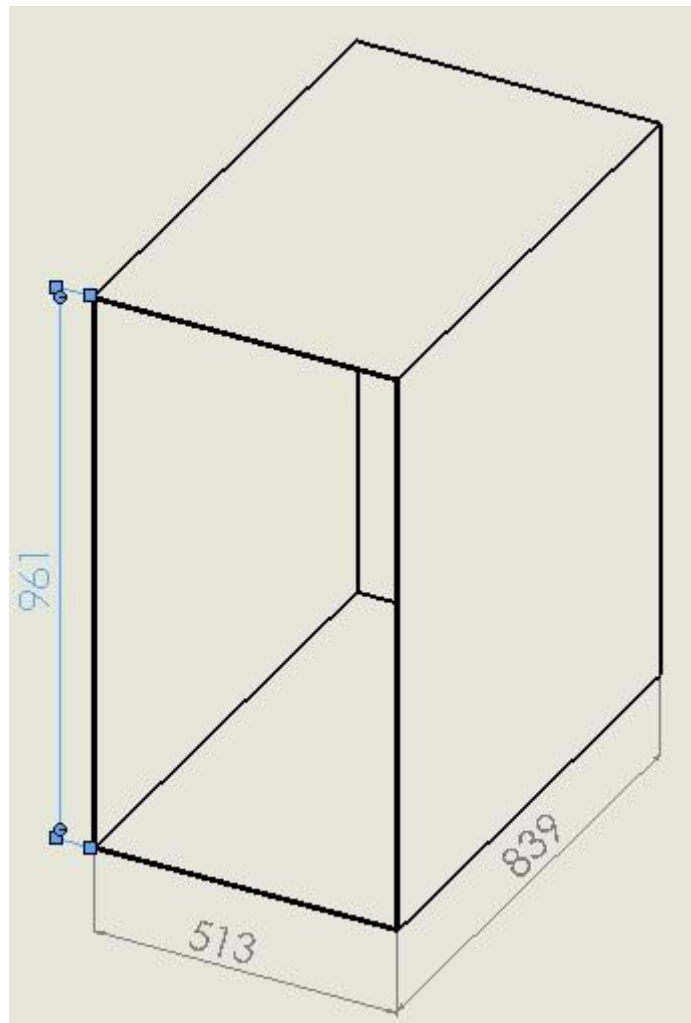
TYPE CODE	TES 2
WEIGHT	0.290 Kg
INLET SIZE	3/8 IN
MWP	34,0 bar
REFRIGERANT	R404A/R507
TEMP. RANGE	-40 - -5 °C

Gambar 4.6 Spesifikasi *Thermostatic Expansion Valve* merk Danfoss  
 Sumber : [www.danfoss.com](http://www.danfoss.com)

#### 4.6. Pendesainan Ruang Kabinet

Berdasarkan perangkat – perangkat yang sudah dipilih, maka pendesainan ruang kabinet harus disesuaikan dengan perangkat agar ruang kabinet dapat

terisolasi dengan benar. Maka ruang kabinet yang akan didesain ditunjukkan pada Gambar 4.7.



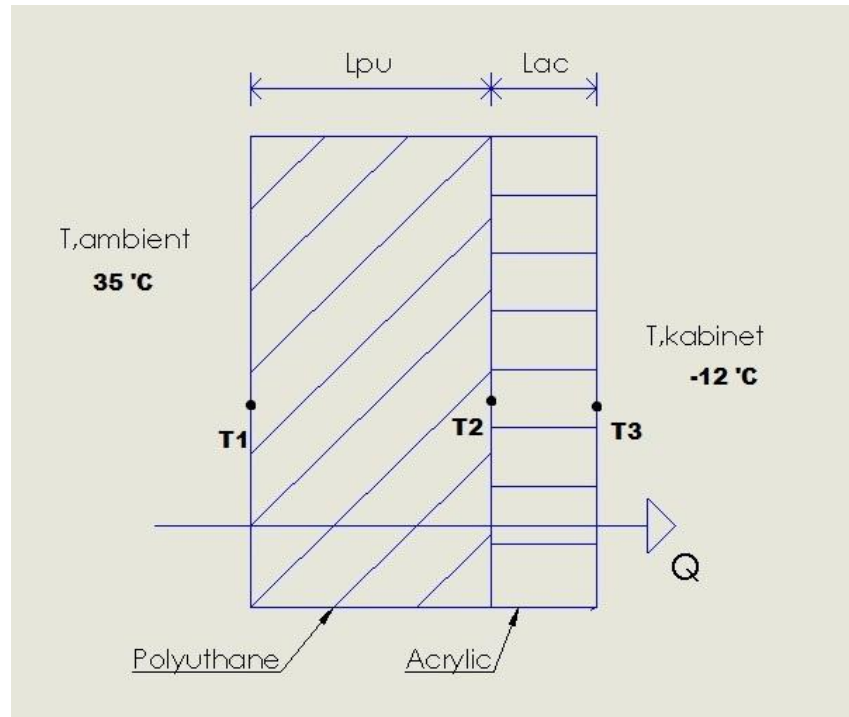
Gambar 4.10 Desain Ruang Kabinet dalam Satuan mm

Ukuran untuk ruang kabinet adalah panjang 900mm, lebar 500mm, dan tinggi 1200mm. Dengan asumsi bahwa ukuran panci kapasitas 20 L berdiameter 32 cm dan tinggi 25cm.

#### 4.6.1. Penentuan Tebal Isolator

Agar suhu ruang kabinet tetap terjaga, maka perlu ditentukan tebalnya bahan isolator agar tidak ada kalor yang masuk atau keluar dari ruang kabinet yang didinginkan. Oleh karena itu, dilakukan perhitungan untuk ketebalan bahan isolator di setiap sisi ruang kabinet.

Pada perancangan *blast chiller* ini, digunakan bahan isolator *polyuthane* dan dilapisi bahan *acrylic* untuk dinding dalam ruang kabinet. Hal ini bertujuan agar sisi dalam ruang kabinet mudah untuk dibersihkan dari kotoran kering maupun basah.



Gambar 4.11 Diagram Alir Kalor pada Sistem Pendinginan *Blast Chiller*

Dari diagram alir diatas, maka ditentukan beberapa kondisi yaitu :

- Diasumsikan  $T_1$  pada sistem diatas sebesar  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Tebal *acrylic* yang digunakan adalah  $4\text{ mm}$
- Perpindahan panas konveksi hanya terjadi satu arah
- Permukaan dinding bahan dianggap pelat datar

Dari diagram alir diatas, maka dibuatlah sebuah persamaan yaitu :

$$Q = \frac{T_1 - T_2}{\frac{L_{PU}}{K_{PU} \cdot A_D}} = \frac{T_2 - T_3}{\frac{L_{AC}}{K_{AC} \cdot A_D}} = \frac{T_1 - T_3}{\frac{1}{h_u \cdot A_D} + \frac{L_{PU}}{K_{PU} \cdot A_D} + \frac{L_{AC}}{K_{AC} \cdot A_D}}$$

Dimana :

$Q$  = Kalor yang masuk ke sistem (W)

$L_{PU}$  = tebal bahan *polyuthane* (m)

$L_{AC}$  = tebal bahan *acrylic* (m)

$K_{PU}$  = konduktivitas bahan *polyuthane* (W/m.°C)

$K_{AC}$  = konduktivitas bahan *acrylic* (W/m.°C)

$h_u$  = konveksi konduktivitas udara (W/m<sup>2</sup>.°C)

$A_D$  = luas permukaan dinding (m<sup>2</sup>)

$T_1$  = suhu ambient (°C)

$T_2$  = suhu antara permukaan *polyurethane* dan *acrylic* (°C)

$T_3$  = suhu ruang kabinet (°C)

#### 4.6.1.1. Menghitung Ketebalan Bahan Isolator

Didalam ruang kabinet terdapat dua lapisan bahan isolator. Bahan *acrylic* berguna sebagai lapisan dalam ruang kabinet agar mudah dibersihkan jika kotor. Tebal *acrylic* sebesar 4 mm, hal ini dikarenakan bahan *acrylic* tidak perlu terlalu tebal karena hanya untuk lapisan dalam saja. Setelah *acrylic* terdapat bahan *polyurethane* yang tebalnya akan dicari agar tidak ada kalor yang masuk maupun keluar dari ruang kabinet. Maka perhitungang ketebalan *polyurethane* dapat dihitung dengan cara :

Tebal *acrylic* ( $L_{AC}$ ) = 4 mm = 0,004 m

$K_{AC}$  = 0,2 W/m.°C (lampiran 6)

$K_{PU}$  = 0,017 W/m.°C (lampiran 6)

$h_{udara}$  = 10 W/m<sup>2</sup>.°C

$T_1$  = 30 °C

$T_3$  = -12 °C

maka didapatkan beberapa persamaan sebagai berikut :

- Persamaan 1:

$$\frac{30 - T_2}{\frac{1}{A} \left( \frac{L_{PU}}{0,017} \right)} = \frac{T_2 - (-12)}{\frac{1}{A} \left( \frac{0,004}{0,2} \right)}$$

$$(30 - T_2) \left( \frac{0,004}{0,2} \right) = \frac{L_{PU}}{0,017} \times (T_2 + 12)$$

- Persamaan 2:

$$\frac{30 - T_2}{\frac{1}{A} \left( \frac{L_{PU}}{0,017} \right)} = \frac{30 - (-12)}{\frac{1}{A} \left( \frac{1}{10} + \frac{L_{PU}}{0,017} + \frac{0,004}{0,2} \right)}$$

$$\left( \frac{L_{PU}}{0,017} + 0,12 \right) (30 - T_2) = 42 \left( \frac{L_{PU}}{0,017} \right)$$

- Persamaan 3:

$$\frac{T_2 - (-12)}{\frac{1}{A} \left( \frac{0,004}{0,2} \right)} = \frac{30 - (-12)}{\frac{1}{A} \left( \frac{1}{10} + \frac{L_{PU}}{0,017} + \frac{0,004}{0,2} \right)}$$

$$0,84 = \left( \frac{L_{PU}}{0,017} + 0,12 \right) (T_2 + 12)$$

Dari ketiga persamaan diatas, maka dilakukan sebuah permisalan untuk mencari besar  $L_{PU}$  :

Permisalan :

$$a = \frac{L_{PU}}{0,017}$$

$$b = T_2$$

didapatkan persamaan baru yaitu:

$$\text{i. } 0,02(30 - b) = a(b - (-12))$$

$$0,6 - 0,02b = ab + 12a$$

$$ab + 12a + 0,02b = 0,6$$

$$\text{ii. } (a + 0,12)(30 - b) = 42(a)$$

$$3,6 = 12a + ab + 0,12b$$

$$ab + 12a + 0,12b = 3,6$$

$$\text{iii. } 0,84 = (a + 0,12)(b - (-12))$$

$$-0,6 = ab + 12a + 0,12b$$

Dari persamaan diatas, dilakukan metode eliminasi antara persamaan (i) dan (ii) :

$$\begin{array}{r} ab + 12 a + 0,02 b = 0,6 \\ ab + 12 a + 0,12 b = 3,6 \\ \hline b = 30 \end{array} -$$

Disubsitusikan ke persamaan (ii), maka :

$$\begin{aligned} a (30) + 12 a + 0,12 (30) &= -0,6 \\ a &= 0,1667 \end{aligned}$$

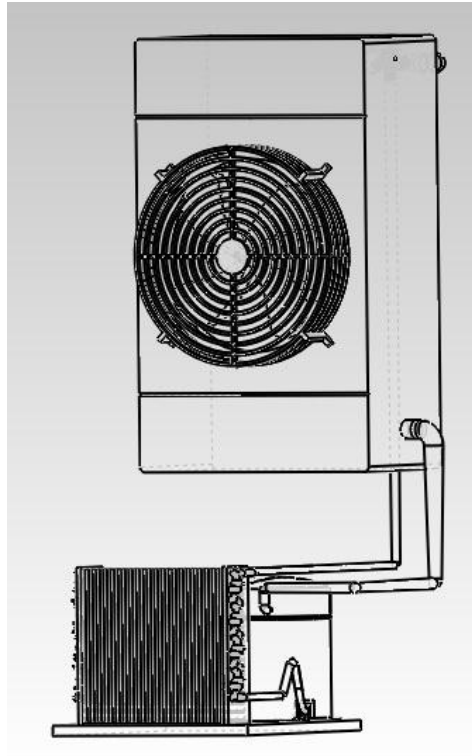
Kemudian nilai “a” di kembalikan ke permisalan untuk menentukan besar nilai  $L_{UP}$  :

$$\begin{aligned} 0,1667 &= \frac{L_{PU}}{0,017} \\ L_{PU} &= 0,00283 \text{ meter} \\ &= 2,83 \text{ mm} \end{aligned}$$

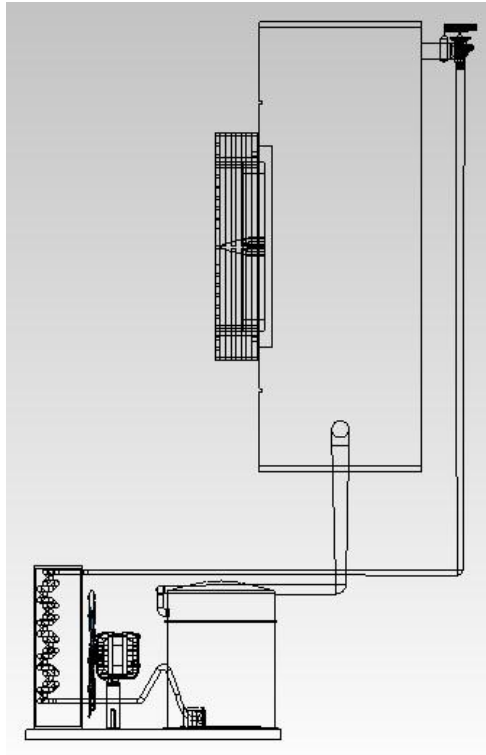
Dari perhitungan diatas, maka dapat ditarik sebuah kesimpulan bahwa ketebalan bahan isolator *polyurethane* minimum sebesar 2,83 mm agar dapat mengisolasi ruang kabinet dari kalor yang masuk maupun kalor yang keluar dari sistem. Maka pada dinding luar ruang kabinet ini dipasang *polyurethane* setebal 10 mm.

#### 4.7. Pendesainan Tata Letak Komponen dan Ruang Kabinet

Penyusunan tata letak kompresor, evaporator, kondensor dan katup ekspansi dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Susunan Tata Letak Komponen pada *Blast Chiller*



Gambar 4.13 Tampak Samping Susunan Tata Letak Komponen pada *Blast Chiller*



Gambar 4.14 Pendisainan *Blast Chiller* Kapasitas 20 Liter

Untuk gambar teknik pendisainan dapat dilihat secara lengkap pada lampiran 7.

#### **4.8. Penghitungan Biaya Komponen**

Biaya yang diperlukan untuk memproduksi satu unit *blast chiller* yang sudah dirancangan adalah :

- *Condensing unit* merk Danfoss tipe LCHC 034 GS A01 G dan *hermetic* kompresor tipe GS34CLX dengan harga berkisar \$ 1500 (Rp.20.000.000,00)
- Evaporator merk Muller tipe MLT 022 dengan harga berkisar \$ 650 (Rp.8.800.000,00)
- Katup ekspansi merk Danfoss tipe TES 2, no. 068Z3407 dengan harga berkisar \$ 51 (Rp.688.500,00)

Dengan demikian total biaya komponen *blast chiller* adalah Rp.29.488.500,00