

## PERANCANGAN SISTEM PENDINGINAN SUSU *INDIRECT* DENGAN MEDIA AIR MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK *COOLPACK* DAN REFRIGERAN R290

Altalarik Pradyta<sup>1</sup>, Berkah Fajar TK<sup>2</sup>, Khoiri Rozi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

\*Email : [altalarikpradyta7@gmail.com](mailto:altalarikpradyta7@gmail.com)

### Abstrak

Saat ini kebutuhan susu untuk masyarakat sangatlah tinggi. Hal ini dikarenakan susu adalah sumber makanan dengan kandungan gizi yang sangat tinggi. Komponen unik dan kompleks seperti protein, lipid, laktosa, mineral, dan masih banyak lainnya. Karena komponen penyusun tersebut pula susu menjadi media yang sangat ideal untuk perkembangbiakan mikroorganisme. Jika tidak ditangani dengan tepat maka kandungan nutrisi pada susu akan rusak. Salah satu faktor yang menyebabkan rusaknya kualitas susu adalah cara penyimpanannya. Apabila susu dibiarkan pada suhu ruang, maka kualitas susu akan rusak hanya dengan waktu 5 jam saja. Adapun cara untuk mempertahankan mutu dan kesegaran susu yaitu dengan menerapkan teknologi refrigerasi. Untuk suhu penyimpanan, *United State Departement of Agriculture* merekomendasikan suhu penyimpanan susu pada kisaran 0 – 4 °C. Pada sistem refrigerasi terdapat refrigeran yang pada saat ini sangat meresahkan karena refrigeran yang digunakan mempunyai *Global Warming Potential* dan *Ozone Depletion Potential* yang tinggi. Maka dari itu diperlukan refrigeran yang ramah lingkungan yaitu R290. Perancangan ini dilakukan untuk membuat sistem pendinginan susu 1000 liter yang ramah lingkungan menggunakan perangkat lunak *coolpack*. Dengan analisis siklus refrigerasi, dimensioning, dan gambar detail perancangan, didapatkan kapasitas pendinginan 9,77 kW dan daya 3,43 kW serta Coefficient Of Performance senilai 2,86. Komponen yang dipilih pada perancangan yaitu kompresor Copeland Emerson ZB37KCU-TFMN, evaporator Bitzer DH1-141, kondensor Thermocoil TCCP 040.1-11-B-N, dan katup ekspansi Danfoss TU-9.

**Kata Kunci:** coolpack; pendinginan; refrigerant; susu

### Abstract

*Currently, the demand for milk to community is very high. Because milk is a food source with a very high nutrition. Unique and complex components such as proteins, lipids, lactose, minerals, and many others. Because of these, milk is an ideal medium for the proliferation of microorganisms. If not handled properly, the nutrition of milk will be damaged. One of factors deterioration of the quality of milk is the way it is stored. If milk is left at room temperature, the quality of the milk will be damaged in just 5 hours. The way to maintain the quality and freshness of milk is by applying refrigeration technology. For storage temperatures, the United State Department of Agriculture recommends milk storage temperatures in the range of 0 – 4 °C. In the refrigeration system there is a refrigerant which is currently very troubling because the refrigerant used has a high Global Warming Potential and Ozone Depletion Potential. Therefore, an environmentally friendly refrigerant is needed, namely R290. This design was carried out to create an environmentally friendly 1000 liter milk cooling system using coolpack software. By analyzing the refrigeration cycle, dimensioning, and detailed design drawings, a cooling capacity of 9.77 kW and a power of 3.43 kW and a Coefficient of Performance of 2.86 are obtained. The components selected in the design are Copeland Emerson ZB37KCU-TFMN compressor, Bitzer DH1-141 evaporator, TCCP 040.1-11-B-N Thermocoil condenser, and Danfoss TU-9 expansion valve.*

**Keywords:** coolpack; milk; refrigerant; refrigeration

## 1. Pendahuluan

Susu adalah sumber makanan yang penting untuk dikonsumsi manusia dengan kandungan gizi yang tinggi [8]. Adapun nutrisi berlimpah yang terkandung didalamnya seperti protein, lipid, laktosa, mineral, dan vitamin, yang populer dikonsumsi oleh bayi dan anak-anak di seluruh dunia [2]. Dengan jumlah permintaan yang tinggi akan susu oleh pertumbuhan populasi manusia mengakibatkan meningkatnya minat dan perhatian terhadap kualitas dan keamanan produk susu. Mengingat susu mengandung banyak nutrisi penting bagi manusia dan sekitar 85% adalah air, susu menjadi media yang sangat ideal untuk media perkembangbiakan mikroorganisme [9]. Jadi bisa dibilang susu adalah produk yang sangat mudah rusak, dan keamanan serta kualitasnya akan cepat menurun jika tidak ditangani secara benar.

Faktor yang mempengaruhi turunnya kualitas susu antara lain yaitu kebersihan sapi, kesehatan sapi, keadaan kandang, kebersihan alat pemerahan, kebersihan pemerah atau pekerja, cara pemberian makan, penyakit dan penyimpanan susu [6]. Dengan perlakuan yang salah dalam penyimpanan susu akan mengakibatkan cepatnya mikroorganisme berkembang biak. Adapun cara untuk mempertahankan mutu susu yaitu dengan penerapan teknologi refrigerasi yaitu dengan menurunkan suhu susu sampai dengan ke tingkat tertentu sehingga bakteri bisa terhambat dalam melakukan perkembangbiakan [3]. *United State Department of Agriculture* (USDA) merekomendasikan suhu penyimpanan susu pada kisaran 0,0-4,4°C [2].

Karena biasanya peternak sapi perah melakukan pemerahan dua kali sehari yaitu pagi dan sore hari [1]. Oleh karena itu pada saat susu menunggu pengiriman harus dilakukan perawatan yaitu dengan cara mendinginkan susu sampai ke suhu 2°C supaya bakteri tidak bisa melakukan perkembangbiakan secara cepat. Pada suhu ruang dihitung berdasarkan pH nya, susu segar dinyatakan baik pada jam ke-0 sampai jam ke-4 sesuai dengan SNI susu segar No.01-3141-1992 [5].

Pada saat ini refrigerant yang digunakan untuk kebutuhan masal seperti R22 dan R32 mempunyai pengaruh buruk terhadap lingkungan yaitu pemanasan global dan perubahan iklim. Untuk refrigerant R22 sendiri termasuk kedalam kategori HCFC (Hydrochlorofluorocarbon) dan R32 masuk kedalam kategori CFC (Chlorofluorocarbon). Akan tetapi refrigerant HCFC dan CFC mempunyai masalah serius terhadap GWP (Global Warming Potential) dan juga ODP (Ozon Depletion Potential). Oleh karena itu, muncul adanya Montreal Protocol yaitu perjanjian internasional yang dirancang untuk melindungi lapisan ozon dengan menghentikan produksi macam-macam zat yang mengakibatkan penipisan lapisan ozon [10]. Oleh karena itu diperlukan jenis refrigeran pengganti yang ramah lingkungan seperti *hydrocarbon*. Untuk refrigerant R290 sendiri termasuk ke dalam jenis refrigeran *hydrocarbon* mempunyai sifat lingkungan dan termodinamika yang baik, jadi R290 masih menjadi pilihan untuk mengisi kebutuhan refrigerant saat ini [4].

## 2. Metode Perancangan

Pada perancangan ini data-data yang digunakan untuk analisa perhitungan serta nilai input parameter pada *software* CoolPack merupakan data hasil simulasi dari *software* yang digunakan dan juga hasil asumsi. Data yang didapat pada *software* CoolPack didapatkan dengan memasukkan nilai awal yaitu beban pendingin, suhu di setiap komponen, refrigeran yang digunakan, dll. Dengan memasukkan nilai awal, maka *software* melakukan perhitungan sehingga muncul data-data yang kemudian akan digunakan untuk menentukan katalog produk [7]. Penjelasan mengenai metode pengambilan data secara lebih rinci dijelaskan pada bagian berikut:

## 2.1. Menentukan Beban Pendingin

Perancangan ini ditujukan untuk mendinginkan sebuah susu dengan kapasitas 1000 liter dalam waktu 3 jam dengan suhu awal susu adalah 28°C dan didinginkan menjadi 2°C. Setelah itu akan dilakukan perhitungan menggunakan rumus  $Q = M C \Delta T$  maka didapatkan beban pendingin sebesar 9,769 kW. Nilai dari beban pendingin ini digunakan untuk memasukkan nilai awal pada *software CoolPack* dan mencari data katalog yang sesuai dengan kebutuhan. Dengan memasukkan beberapa nilai dan juga beban pendingin pada *software*, maka akan didapat nilai dari daya kompresor, entalpi, laju aliran massa, dan lain sebagainya.

## 2.2. Analisis Siklus Refrigerasi

Analisis sistem refrigerasi dilakukan menggunakan *software CoolPack* dengan tujuan untuk mengetahui siklus dari sistem pendinginan. Pada tahap awal dari analisis siklus pendingin akan memerlukan beberapa variabel awal yang dibutuhkan oleh perangkat lunak untuk diproses. Variabel awal tersebut diantara lain adalah: kapasitas pendingin evaporator ( $\dot{Q}_E$ ), suhu evaporator ( $T_E$ ), suhu kondensor ( $T_C$ ), perbedaan suhu *soobcooling* ( $\Delta T_{SC}$ ), perbedaan suhu *superheating* ( $\Delta T_{SH}$ ), *pipe pressure loss* ( $\Delta T_{SL}$  dan  $\Delta T_{DL}$ ), jenis refrigeran, efisiensi isentropis kompresor ( $\eta_{is}$ ).

## 2.3. Dimensioning Komponen Sistem Refrigerasi

Pada tahap ini dilakukan perhitungan spesifikasi komponen yang di butuhkan dalam perancangan. Setelah didapatkan hasil perhitungan target kinerja sistem selanjutnya akan digunakan menjadi acuan dalam pemilihan komponen yang akan disusun. Pada tahap ini akan sangat mempengaruhi tiap komponen yang akan digunakan atau dipilih nantinya, seperti refrigeran adalah faktor yang sangat signifikan mempengaruhi komponen yang nantinya dipilih, lalu ada kompresor yang juga sebagai komponen utama untuk sebuah sistem refrigerasi bisa dijalankan, evaporator juga komponen penting dalam sistem refrigerasi karena berhubungan dengan target fluida yang akan didinginkan nantinya, fluida yang menjadi target pendinginan, dan lain sebagainya.

Proses dimensioning juga merupakan tempat dimana kita bisa menguji informasi dari katalog produk yang beredar apakah sudah sesuai dengan kebutuhan yang kita inginkan untuk sebuah sistem. Apabila hasil dari perhitungan masih belum sesuai dengan kebutuhan maka diperlukan untuk mencari katalog lain yang sesuai dengan kebutuhan.

## 2.4. Penentuan Produk Berdasarkan Data Katalog

Pada tahap penentuan produk katalog, informasi yang sudah didapat dari proses *dimensioning* digunakan untuk mencari produk katalog yang beredar di pasaran dengan spesifikasi yang dibutuhkan untuk perancangan sistem pendingin. Katalog dicari di internet dengan berbagai macam jenis dan merek.

Apabila di pasaran tidak ditemukan komponen yang tersedia sesuai dengan kebutuhan maka bisa memilih komponen dengan spesifikasi yang lebih besar dari yang dibutuhkan. Misalnya mencari katalog evaporator dengan kapasitas pendingin 13 kW tetapi di pasaran tersedia evaporator dengan kapasitas pendingin 11 kW dan 15 kW maka yang dipilih adalah lebih besar dari kebutuhan yaitu 15 kW. Pemilihan komponen dilakukan semendekati mungkin dari spesifikasi yang dibutuhkan supaya dalam perancangannya bisa optimal dalam hal biaya.

## 2.5. Simulasi Sistem Refrigerasi

Pada tahap ini sistem refrigerasi dilakukan simulasi dengan memasukkan parameter yang telah dihitung pada tahap sebelumnya kedalam perangkat lunak CoolPack bagian simulasi pada komponen evaporator, kompresor, kondensor, dan pipa refrigeran. Pada tahap sistem simulasi ini akan didapat kinerja sistem refrigerasi yang telah dirancang dan juga menghitung performa dari sistem pendingin yang telah disimulasikan.

## 2.6. Pembuatan Desain Komponen Dengan Solidwork

Pada tahap pembuatan desain dilakukan dengan menggambar dari setiap komponen yang akan disusun pada rancangan sistem pendingin dengan menggunakan perangkat lunak Solidwork. Gambar mesin komponen akan menggambarkan ukuran, bahan penyusun, dan juga perakitan dari setiap komponen pada sistem pendingin. Dimensi dan material setiap komponen harus sesuai dengan yang tertera pada katalog, karena jika terdapat perbedaan akan mengakibatkan desain yang tidak tepat dan tidak sesuai dengan perhitungan yang sudah dilakukan pada tahap sebelumnya.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1. Analisis Siklus Refrigerasi Menggunakan Software CoolPack

Tahap memasukkan parameter awal pada siklus refrigerasi kompresi uap, yaitu suhu evaporasi, suhu kondensasi, *superheated*, *subcooling*, jenis refrigeran yang digunakan, kapasitas pendingin, efisiensi isentropik, *compressor heat loss factor*, dan *unusefull superheat*.

Berdasarkan hasil asumsi awal, suhu evaporator  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , suhu kondensasi  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ , *subcooling* 2 K, *superheating* 5 K, refrigeran yang digunakan R290, kapasitas pendinginan ( $\dot{Q}_{evap}$ ) 9,769 kW. Setelah memasukkan semua parameter awal, lalu klik tombol *calculate* untuk memberikan perintah terhadap *software coolpack* untuk melakukan perhitungan.

Dengan memasukkan semua parameter awal *cycle specification* seperti pada Gambar 1, maka beberapa parameter dapat diketahui seperti laju perpindahan panas kondensor ( $\dot{Q}_c$ ) 13,02 kW, aliran massa refrigeran ( $\dot{m}$ ) 0,037 kg/s, debit refrigeran ( $\dot{V}_s$ ) 15,78 m<sup>3</sup>/jam, daya kompresor ( $\dot{W}$ ) 3,51 kW.

CYCLE SPECIFICATION							
TEMPERATURE LEVELS		PRESSURE LOSSES		SUCTION GAS HEAT EXCHANGER		REFRIGERANT	
$T_E$ [°C]:	-5,0	$\Delta T_{SH}$ [K]:	5	$\Delta p_{sl}$ [K]:	0,5	No SGHX	0,30
$T_C$ [°C]:	45,0	$\Delta T_{sc}$ [K]:	2	$\Delta p_{dl}$ [K]:	0,5		R290
CYCLE CAPACITY							
Cooling capacity $\dot{Q}_E$ [kW]	9,769	$\dot{Q}_E$ : 9,769 [kW]	$\dot{Q}_C$ : 13,02 [kW]	$\dot{m}$ : 0,03727 [kg/s]	$\dot{V}_S$ : 15,78 [m <sup>3</sup> /h]		
COMPRESSOR PERFORMANCE							
Isentropic efficiency $\eta_s$ [-]	0,7	$\eta_s$ : 0,700 [-]	$\dot{W}$ : 3,513 [kW]				
COMPRESSOR HEAT LOSS							
Heat loss factor $f_Q$ [%]	10	$f_Q$ : 10,0 [%]	$T_2$ : 63,6 [°C]	$\dot{Q}_{LOSS}$ : 0,3513 [kW]			
SUCTION LINE							
Unusefull superheat $\Delta T_{th,sl}$ [K]	1,0	$\dot{Q}_{sl}$ : 74 [W]	$T_8$ : 1,0 [°C]	$\Delta T_{sh,sl}$ : 1,0 [K]			

Gambar 1 Pemasukan Parameter Awal Siklus Refrigerasi

### 3.2. Dimensioning Sistem Refrigerasi

Tahap ini akan menentukan ukuran komponen yang dibutuhkan dalam merancang sistem pendinginan.

#### 3.2.1. Kompresor

Pada tahap dimensioning kompresor, pemilihan kompresor yang akan digunakan pada perancangan berdasarkan hasil dari perhitungan dimensioning pada software coolpack dan memasukkan berbagai parameter awal yang dibutuhkan seperti efisiensi isentropik, heat loss factor, suhu evaporator katalog, suhu kondensator katalog, suhu suction gas katalog, dan efisiensi volumetrik pada dimensioning kompresor seperti pada Gambar 4.7 di bawah ini.

COMPRESSOR	
Calculate Help Print SUB-DIAGRAM WINDOWS Evaporator Condenser SGHX Pipes State Points Home OTHER TOOLS Compressor	<b>COMPRESSOR PERFORMANCE</b> Isentropic efficiency $\eta_{IS}$ : User Defined $\eta_{IS}$ : 0,700 [-] $\dot{W}$ : 3,42 [kW] $\dot{V}_S$ : 15,43 [m <sup>3</sup> /h] If "User Defined" is selected, then $\eta_{IS,USER}$ must be specified
	<b>COMPRESSOR HEAT LOSS</b> Heat loss factor $f_G$ [%]: 10 $f_G$ : 10 [%] $\dot{Q}_{LOSS}$ : 0,34 [kW] $T_2$ : 61,5 [°C]
	<b>CALCULATION OF CATALOG DATA</b> > CONVERSION OF REFRIGERATING CAPACITY TO COMPRESSOR CATALOG CONDITION $T_{E,CATALOG}$ [°C]: -5,0 $\dot{Q}_{E,CATALOG}$ : 9,91 [kW] $T_{C,CATALOG}$ [°C]: 45,0 $T_{S,CATALOG}$ [°C]: 20,0 (Suction gas temperature) Volumetric efficiency $\eta_{VOL}$ [-]: 0,800 $\dot{V}_{D,CAT}$ [m <sup>3</sup> /h]: 21,14

Gambar 2 Dimensioning Kompresor

Berdasarkan pencarian kompresor dengan melihat katalog produk yang beredar di pasaran serta kalkulasi data katalog maka dipilihlah Copeland Emerson ZB37KCU-TFMN. Kompresor ini memiliki daya sebesar 3,49 kW dengan kemampuan kapasitas pendinginan yang dihasilkan adalah 10,3 kW.

### 3.2.2. Kondensator

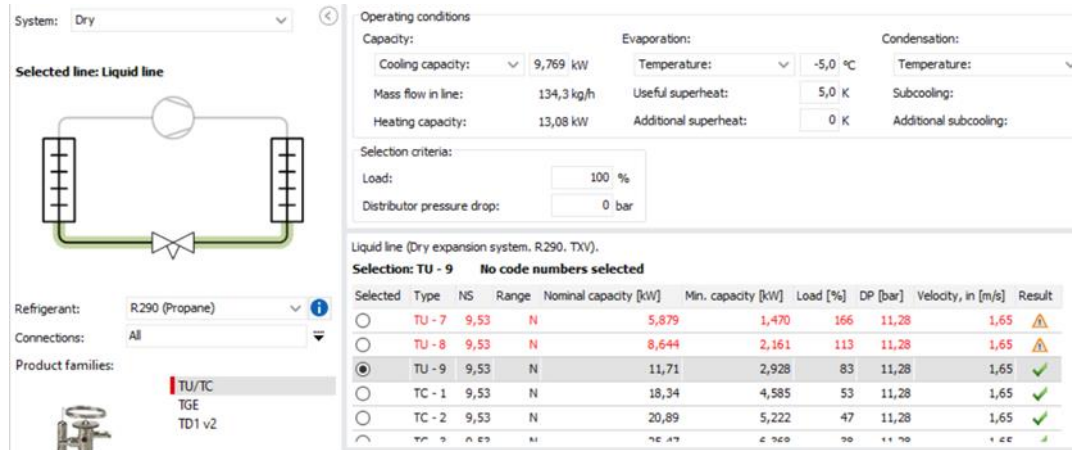
Pada proses *dimensioning* perlu memasukkan parameter awal pada *software coolpack* berupa TD, *subcooling*, tipe kondensator, suhu udara masuk, pemanasan fluida sekunder, dan TD katalog seperti pada Gambar 3. Pemilihan kondensator berdasarkan kebutuhan yang tertera pada *dimensioning* dengan TD 14 K berkapasitas pendingin 12,83 kW, pemilihan kondensator berdasarkan katalog dengan TD katalog 15 K memiliki kapasitas pendingin 13,75 kW. Unit yang dipilih berdasarkan katalog kondensator adalah Thermocoil TCCP 040.1-11-B-N *COOLPACK UNIT*, kapasitas pendingin kondensator sebesar 13,9 kW

CONDENSER	
Calculate Help Print SUB-DIAGRAM WINDOWS Compressor Evaporator SGHX Pipes State Points Home OTHER TOOLS Condenser	<b>DIMENSIONING</b> TD [K]: 13,00 LMTD: 10,30 [K] $UA_{TD}$ : 0,493 [kW/K] $UA_{LMTD}$ : 0,622 [kW/K] $\dot{Q}_C$ : 6,409 [kW] UA-Value based on TD UA-Value based on LMTD In Tools S.1 and S.2 $UA_{LMTD}$ must be used!
	<b>PRIMARY SIDE</b> Subcooling [K]: 2,00 Condensing temperature: 45,0 [°C]
	<b>SECONDARY SIDE</b> Condenser type: Air cooled Inlet temperature [°C]: 32,0 Outlet temperature: 37,0 [°C] Heating of secondary fluid [K]: 5,00 Volume flow: 3017 [m <sup>3</sup> /h]
<b>CALCULATION OF CATALOG DATA</b> > CONVERSION OF CONDENSER CAPACITY TO CATALOG CONDITION $TD_{CATALOG}$ [K]: 15,00 $\dot{Q}_{C,CATALOG,TD}$ : 7,39 [kW] OR $LMTD_{CATALOG}$ [K]: 10,00 $\dot{Q}_{C,CATALOG,LMTD}$ : 6,22 [kW] TD is the difference between the condensing temperature and the inlet temperature on the secondary side LMTD is the logarithmic mean temperature difference calculated from condensing temperature and inlet/outlet temperatures on the secondary side	

Gambar 3 Dimensioning Kondensator

### 3.2.3. Katup Ekspansi

Pemilihan katup ekspansi dilakukan berdasarkan kapasitas pendinginan pada evaporator. Pemilihan katup ekspansi berawal dengan memasukkan rancangan sistem refrigerasi kedalam perangkat lunak Coolselector2 dengan berbagai parameter awal seperti kapasitas pendingin, suhu evaporator, suhu kondensor, *superheat*, *subcooling*, jenis refrigeran, dan tipe katup ekspansi ke dalam perangkat lunak seperti pada Gambar 4 di bawah ini.

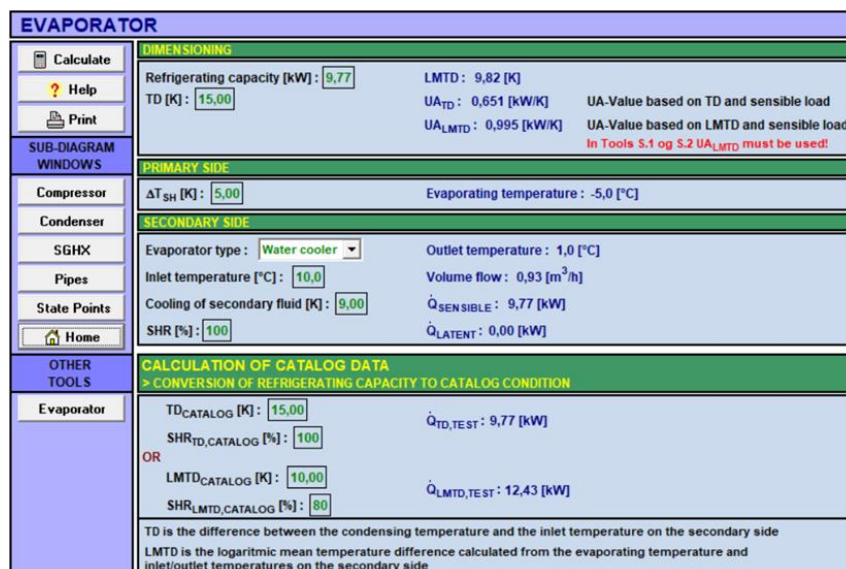


Gambar 4 Input Data Pada Coolselector

Dari hasil pencarian pada *software coolselector2* maka katup ekspansi yang dipilih adalah Danfoss TU-9 dengan kapasitas pendinginan maksimal di 11,71 kW

### 3.2.4. Evaporator

Untuk tahap *dimensioning* evaporator, kapasitas pendingin yang direncanakan adalah 9,769 kW, suhu air masuk evaporator 10 °C dan suhu air keluar dari evaporator 1 °C yang dimasukkan pada tahap *dimensioning* seperti pada Gambar 5. Berdasarkan parameter tersebut, didapatkan katalog produk evaporator yang mendekati dengan kebutuhan kapasitas pendingin yaitu evaporator tipe Bitzer DH1-141 dengan kondisi pengoperasiannya didapatkan beban pendinginnya sebesar 10,18 kW. Evaporator ini beroperasi pada suhu evaporasi -5 °C dan suhu kondensasi sebesar 45 °C. Untuk TD katalog memiliki nilai 15 K.



Gambar 5 Dimensioning Evaporator

### 3.2.5. Dimensioning Pipa Penghubung

Pemilihan pipa berdasarkan kecepatan alir minimum refrigeran yang ada pada sistem perancangan. Hasil perhitungan untuk tiap pipa terdapat pada Gambar 7a, 7b, 7c

a. Suction Line

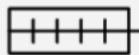
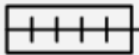
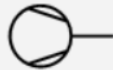



Merupakan sambungan pipa yang menghubungkan antara keluarannya refrigeran dari evaporator dan menuju kompresor.

b. Liquid Line

Merupakan sambungan pipa yang menghubungkan antara saluran keluar komponen kondensor dengan komponen alat ekspansi.

c. Discharge Line

Merupakan pipa keluar kompresor dan menghubungkan antara kompresor dengan kondensor. Pada pipa penghubung ini, tidak terdapat insulasi karena jarak yang dekat antara kompresor dengan kondensor.

Evaporator	Condenser	Compressor
		
Copper pipe ANSI 1 1/8 NS	Copper pipe ANSI 3/8 NS 10	Copper pipe ANSI 3/4 NS 19
DP distribution: 100%	DP distribution: 100%	DP distribution: 100%
Length [m]: 0,20	Length [m]: 0,50	Length [m]: 0,60
Angle [deg]: 0	Angle [deg]: 0	Angle [deg]: 0
DP [bar]: 0,000	DP [bar]: 0,008	DP [bar]: 0,002
DT_sat [K]: 0,0	DT_sat [K]: 0,0	DT_sat [K]: 0,0
Velocity, in [m/s]: 8,06	Velocity, in [m/s]: 1,65	Velocity, in [m/s]: 5,39
Valve state: -	Valve state: -	Valve state: -
Connection: OK	Connection: OK	Connection: OK
Result: 	Result: 	Result: 

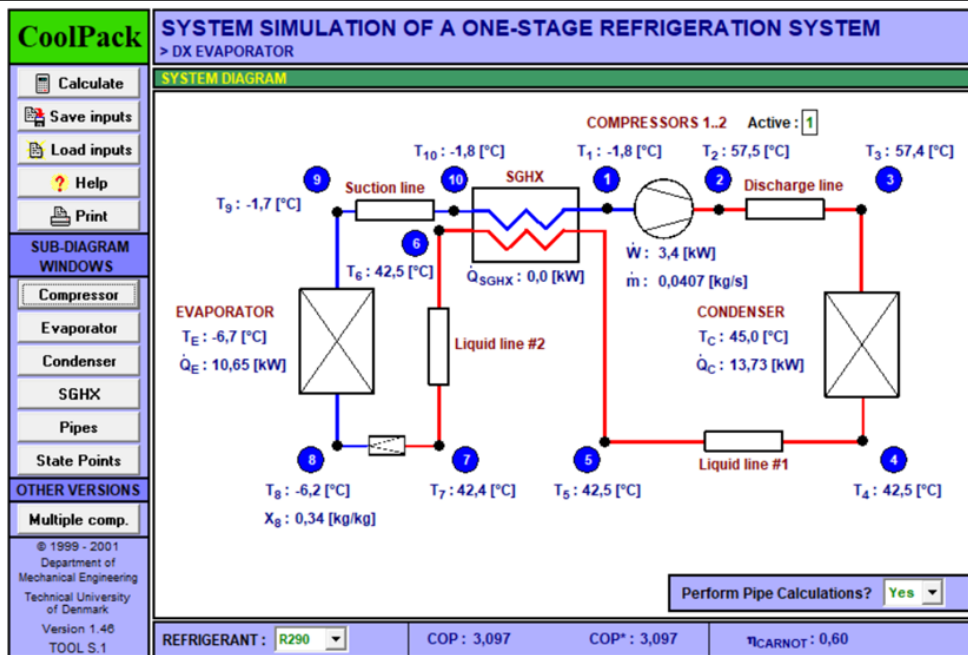
(a) (b) (c)  
**Gambar 6** Suction Line (a), Liquid Line (b), Discharge Line (c)

### 3.3. Simulasi Sistem Refrigerasi

Setelah sebelumnya dilakukan *dimensioning*, selanjutnya akan dilakukan simulasi sistem yang bertujuan untuk mendapatkan gambaran kondisi pada sistem refrigerasi.

Pada simulasi kali ini fitur *SGHX* atau *suction gas heat exchanger* tidak digunakan dengan mengubah pengaturan pada *software coolpack*. *SGHX* berfungsi apabila ingin memastikan bahwa refrigeran pada saat memasuki kompresor dalam keadaan *superheat* atau refrigeran berbentuk saturasi saat akan memasuki katup ekspansi.

Simulasi dilakukan pada komponen refrigrasi yaitu kompresor, kondensor, dan evaporator. Setelah melakukan simulasi pada komponen evaporator, kompresor, dan juga kondensor, selanjutnya simulasi sebagai satu kesatuan yang bisa dilihat pada Gambar 7 berikut ini.

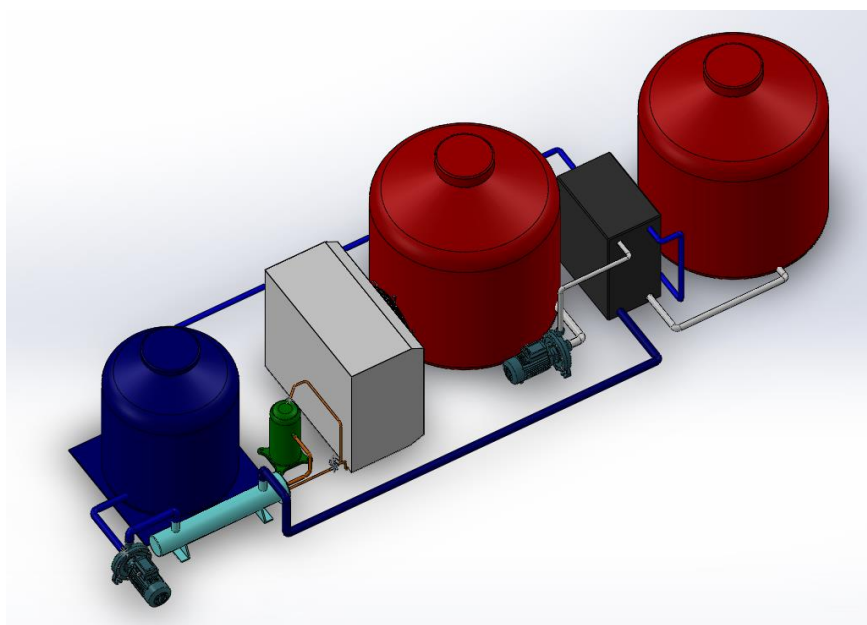


Gambar 7 Hasil Simulasi Sistem Refrigerasi

### 3.4. Perwujudan Rancangan Sistem Pendingin Susu

Setelah melakukan analisis siklus, dimensioning, dan simulasi dengan menggunakan *software* CoolPack lalu menentukan katalog produk yang sesuai dengan perhitungan, lalu desain dibuat pada *software* CAD (Computer Aided Design) agar dapat diperlihatkan bentuk dari prototype perancangan sistem pendingin susu yang sudah di-assembly.

Desain dan juga assembly prototype perancangan pendingin susu menggunakan *software* SolidWorks. *Software* SolidWorks dipilih karena merupakan salah satu *software* CAD yang paling umum digunakan di industri dan penggunaannya cenderung mudah. Pembuatan desain di SolidWorks menyesuaikan dengan dimensi pada katalog produk yang telah di tentukan.



Gambar 8 Desain 3D Sistem Pendingin Susu



#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil analisis siklus refrigerasi, dimensioning pada setiap komponen, dan simulasi pada perancangan sistem pendingin susu menggunakan refrigeran R290, dapat ditarik kesimpulan berdasarkan perancangan:

1. Jenis refrigeran = R290
2. Evaporator
  - a. Merk = Bitzer DH1-141
  - b. Kapasitas pendinginan= 10,18 kW
  - c. Tube Material= CU
3. Kondensor
  - a. Merk = Thermocoil tipe TCCP 040.1-11-B-N
  - b. Kapasitas = 13.9 kW
  - c. Dimensi (P x L x T) = 1300 mm x 475 mm x 893 mm
4. Kompresor
  - a. Merk = Copeland Emerson ZB37KCU-TFMN
  - b. Daya kompresor = 3.49 kW
  - c. Dimensi (P x L x T) = 265.6 mm x 240.2 mm x 442.0 mm
5. Katup ekspansi
  - a. Merk = Danfoss TU-9
  - b. Kapasitas = 11.71 kW
6. Pipa
  - a. Discharge line
    - Seri = JB Industries Copper  $\frac{3}{4}$  inci
    - Panjang = 0.6 meter
  - b. Suction line
    - Seri = JB Industries Copper  $1\frac{1}{8}$  inci
    - Panjang = 0.2 meter
    - Insulasi = Armaflex
    - Tebal insulasi = 20 mm
  - c. Liquid line
    - Dimensi = JB Industries Copper  $\frac{3}{8}$  inci
    - Panjang = 0.5 meter
    - Insulasi = Armaflex
    - Tebal insulasi = 15 mm

Berdasarkan hasil perancangan dan simulasi, dapat disimpulkan bahwa sistem pendingin susu dengan beban pendingin 9.769 kW menghasilkan kapasitas pendinginan 10.65 kW, menghasilkan kapasitas kondensor 13.73 kW, dan membutuhkan daya kompresor sebesar 3.4 kW.

---

#### Daftar Pustaka

- [1] Christi, R.F. *et al.* (2020) 'Perbandingan Susu Sapi Perah Pada Pemerahan Pagi dan Sore Terhadap Total Plate Count dan Colioform di KUD Gemah Ripah Sukabumi Jawa Barat', *Jurnal Ilmu dan Teknologi Peternakan Tropis*, 7(1), p. 65.
- [2] Hwang, J.H. *et al.* (2022) 'Rapid freshness evaluation of cow milk at different storage temperatures using in situ electrical conductivity measurement', *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 81(March), p. 103113.
- [3] James, S.J. and James, C. (2010) 'The food cold-chain and climate change', *Food Research International*, 43(7), pp. 1944–1956.
- [4] Kasera, S., Nayak, R. and Bhaduri, S.C. (2022) 'Energy performance evaluation of variable speed milk refrigerator using propane (R290)', *Journal of King Saud University - Engineering Sciences* [Preprint], (xxxx).
- [5] Nababan, L.A., Suada, I.K. and Swacita, I.B.N. (2014) 'Ketahanan Susu Segar pada Penyimpanan Suhu Ruang Ditinjau dari Uji Tingkat Keasaman, Didih, dan Waktu Reduktase', *Indonesia Medicus Veterinus*, 3(4), pp. 274–282.
- [6] Navyanti F and Retno A (2015) 'Higieni Sanitasi, Kualitas Fisik dan Bakteriologi Susu Sapi Segar Perusahaan Susu X di Surabaya', *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 8(1), pp. 36–47.
- [7] Morten Juel Skovrut *et al.* (2011) 'CoolPack tutorial', in.
- [8] Suh, J.H. (2022) 'Critical review: Metabolomics in dairy science – Evaluation of milk and milk product quality', *Food Research International*, 154(December 2021), p. 110984.
- [9] Vigolo, V. *et al.* (2022) 'Effects of preservative, storage time, and temperature of analysis on detailed milk protein composition determined by reversed-phase high-performance liquid chromatography', *Journal of Dairy Science*, 105(10), pp. 7917–7925.
- [10] Wu, Y., Polvani, L.M. and Seager, R. (2013) 'The importance of the montreal protocol in protecting Earth's hydroclimate', *Journal of Climate*, 26(12), pp. 4049–4068.