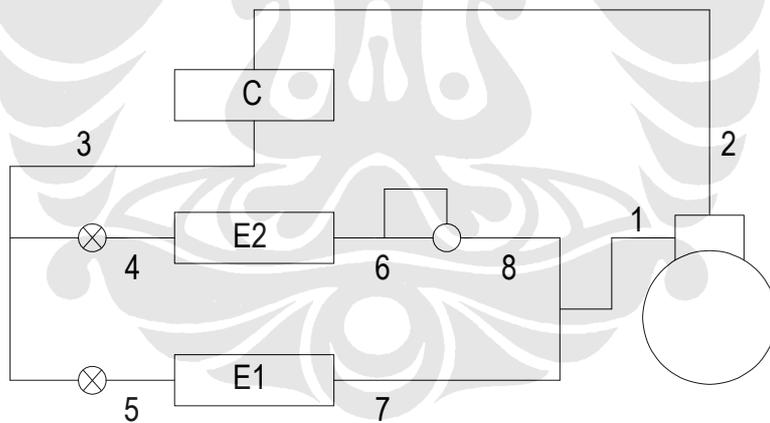


## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 SISTEM MULTI EVAPORATOR

Sistem dua *evaporator* dengan satu kompresor dengan *expansion valve* untuk masing-masing *evaporator* dan satu kompresor ditunjukkan pada gambar 2.1. Pada operasi ini terjadi *drop* tekanan pada *evaporator* tekanan tinggi yang melewati *evaporator pressure regulator (EPR)* terlihat pada siklus termodinamikanya pada gambar 2.2 (siklus 6 ke 8).



Gambar 2.1 Sistem dengan dua *evaporator* dan satu kompresor dengan masing-masing *expansion valve* [2]

Cara kerja dari sistem dua *evaporator* dan satu kompresor yaitu kompresor menekan gas dari *suction* (1) sehingga tekanan dan temperaturnya meningkat (2) di kondenser (C) gas refrigeran akan dikondensasi sehingga fasanya menjadi cair (3),

kemudian cairan refrigeran dibagi melalui ekspansi (4) untuk *evaporator* 2 (E2), dan ekspansi (5) untuk *evaporator* 1 (E1). Di *evaporator* 2 (E2) harus dipasang *evaporator pressure regulator* (EPR) untuk mempertahankan tekanan penguapannya. Kemudian gas *suction* dihisap lagi oleh kompresor sehingga siklus berlanjut.

Kecepatan laju aliran *massa* yang melalui *evaporator* 1 dan 2 dapat dirumuskan :

$$m_1 = \frac{Q_{01}}{q_{01}} = \frac{Q_{01}}{h_7 - h_5} \quad (2.1)$$

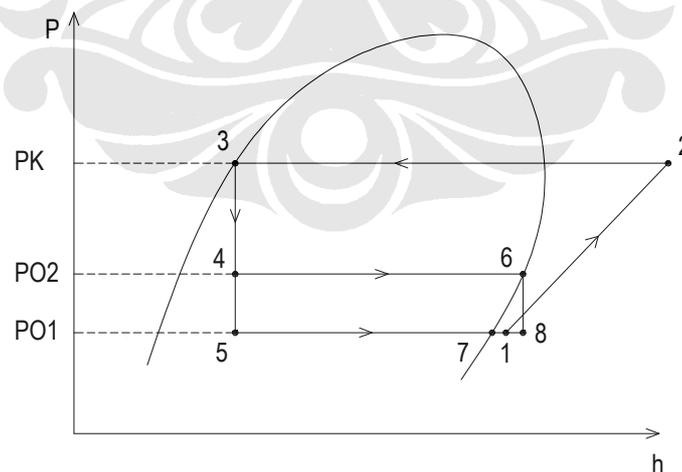
$$m_2 = \frac{Q_{02}}{q_{02}} = \frac{Q_{02}}{h_6 - h_4} \quad (2.2)$$

Enthalpy dari campuran masuk kompresor dapat dirumuskan :

$$h_1 = \frac{m_1 h_7 + m_2 h_6}{(m_1 + m_2)} \quad (2.3)$$

dan kerja dirumuskan :

$$W = (m_1 + m_2)(h_2 - h_1) \quad (2.4)$$



Gambar 2.2 Siklus termodinamika sistem dengan 2 evaporator dan 1 kompresor dengan masing-masing ekspansi valve [2]

## **2.2 GREEN MEDICAL BOX**

*Green Medical Box* adalah suatu tempat pendinginan yang digunakan untuk menyimpan obat-obatan, vaksin, darah dan organ agar kualitasnya dapat terjaga dengan baik dimana menggunakan sistem refrigerasi yang refrigerannya ramah lingkungan. Sistem refrigerasi yang digunakan pada *Green Medical Box* biasanya adalah sistem refrigerasi kompresi uap.

Pada saat *Green Medical Box* dijalankan, maka kalor didalam ruangan akan diserap oleh refrigeran cair yang terdapat dalam *evaporator* sehingga refrigeran tersebut kemudian menguap. Refrigeran cair yang sudah berubah fasa menjadi uap refrigeran, kemudian akan mengalir menuju kompresor, uap refrigeran akan dikompresi oleh kompresor, sehingga tekanan dan temperaturnya naik. Setelah dikompresi oleh kompresor kemudian uap refrigeran tersebut akan menuju ke kondensor. Di kondensor inilah kalor dilepaskan atau dibuang ke lingkungan sehingga uap refrigeran tersebut mengalami pengembunan dan fasanya berubah menjadi refrigeran cair.

## **2.3 KOMPONEN-KOMPONEN PADA GREEN MEDICAL BOX**

Komponen-komponen pada *Green Medical Boxes* terbagi menjadi dua bagian yaitu komponen sistem refrigerasi dan komponen sistem kelistrikan.

### **2.3.1 KOMPONEN SISTEM REFRIGERASI**

Komponen-komponen sistem refrigerasi yang terdapat pada *Green Medical Box* ini adalah sebagai berikut :

1. Kompresor
2. Kondensor
3. Alat ekspansi
4. *Evaporator*
5. *Solenoid valve*
6. EPR ( *Evaporator Pressure Regulator* )

Komponen-komponen tersebut dihubungkan dengan pipa dari tembaga sehingga membentuk suatu sistem tertutup.

### 2.3.1.1 Kompresor

Kompresor merupakan jantung dari sistem refrigerasi kompresi uap. Kompresor akan menekan uap refrigeran yang berasal dari *suction line* hingga menaikkan temperatur dan tekanan uap refrigeran tersebut yang selanjutnya dialirkan ke kondenser melalui *discharge line*.

Berdasarkan cara kerjanya, kompresor dibagi menjadi lima jenis, yaitu :

1. Kompresor torak (*reciprocating*)
2. Kompresor putar (*rotary*)
3. Kompresor sentrifugal (*centrifugal*)
4. Kompresor heliks atau sekrup (*helix/screw*)
5. Kompresor *scroll*

Sedangkan berdasarkan penempatan motornya kompresor ini terbagi menjadi 3 macam, yaitu :

1. Kompresor hermetik
2. Kompresor semihhermetik
3. Kompresor *open type*

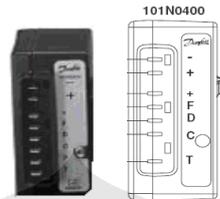
Masing-masing kompresor diatas mempunyai keunggulan tersendiri tergantung dari pemakaiannya. Secara umum pemakaian jenis-jenis kompresor tersebut ditentukan oleh besarnya kapasitas, penggunaannya, instalasinya, dan jenis refrigeran yang digunakan.

Pada *Green Medical Box* ini menggunakan kompresor DC type *hermetic reciprocating* ( *Branded Danfoss*) dapat menggunakan tegangan 10-45 V DC.



**Gambar 2.3 Kompresor DC Danfoss type BD35K [6]**

Kompresor BD35K ini khusus aplikasi yang dapat digunakan untuk sumber DC dan *solar sel* sehingga cocok untuk sistem refrigerasi yang digunakan untuk daerah-daerah yang terpencil atau yang tidak mendapat pasokan listrik dari PLN. Kompresor ini memiliki *electronic unit* yang dapat mengontrol kecepatan kompresor.



**Gambar 2.4 Electronic Unit BD35K [6]**

**Tabel 2.1 BD35K compressor speed [6]**

Compressor speed			
Electronit unit Code number	Resistor (R1) [ $\Omega$ ]	Motor speed [rpm]	Control circuit current [mA]
<b>101N0400 with AEO</b>	0	AEO	6
	173	2,000	5
	450	2,500	4
	865	3,000	3
	1696	3,500	2
<b>101N0210 101N0220</b>	0	2,000	5
	277	2,500	4
	692	3,000	3
	1523	3,500	2

Pada *Green Medical Box* ini menggunakan *electronic unit* 101N0400 dengan *AEO (Adaptive Energy Optimizing)*, dimana kompresor akan selalu beradaptasi kecepatan motornya sesuai dengan kebutuhan beban aktual.

### 2.3.1.2 Kondenser

Kondenser adalah suatu alat yang digunakan untuk proses perpindahan panas. Pada kondenser akan terjadi proses kondensasi, dimana refrigeran akan berubah fasa dari uap menjadi cair. Proses kondensasi di kondenser terjadi karena uap refrigeran yang bertekanan dan bertemperatur tinggi (lebih tinggi dari temperatur lingkungan) akan melepas kalor ke lingkungan.

Berdasarkan cara pendinginannya, kondenser dibagi menjadi tiga, yaitu :

1. Kondenser berpendingin udara (*air cooled condenser*)
2. Kondenser berpendingin air (*water cooled condenser*)
3. Kondenser berpendingin air dan udara (*evaporative condenser*)

Pada dasarnya media sistem pendinginan kondenser tersebut mempunyai fungsi yang sama, yaitu untuk meningkatkan laju pengembunan sehingga mempercepat terjadinya proses kondensasi. Pada *Green Medical Box* ini menggunakan *air cooled condenser* dengan kipas DC.

### **2.3.1.3 Alat ekspansi**

Pada sistem refrigerasi kompresi uap, alat ini berfungsi untuk mengatur laju aliran refrigeran dari kondenser menuju ke evaporator dan juga berfungsi untuk menurunkan tekanan refrigeran cair, sehingga temperatur refrigeran di evaporator lebih rendah dari temperatur lingkungan dan akan menyebabkan perpindahan kalor dari lingkungan ke refrigeran cair di evaporator. Adapun alat ekspansi yang digunakan pada sistem refrigerasi *Green Medical Box* ini adalah pipa kapiler.

### **2.3.1.4 Evaporator**

*Evaporator* adalah suatu alat dimana refrigeran akan menguap sehingga berubah fasa dari cair menjadi uap. Penguapan ini terjadi karena adanya perpindahan panas dimana refrigeran yang bertemperatur lebih rendah dari lingkungan yang berada dalam *evaporator* akan menyerap panas dari dalam ruangan, sehingga temperatur dalam ruangan akan turun.

Menurut konstruksinya *evaporator* dapat dibedakan menjadi beberapa tipe diantaranya yaitu :

1. Pipa dengan rusuk-rusuk (*finned*)
2. Pipa telanjang (*bare tube*)
3. Permukaan pelat (*plate surface*)

4. Tabung dengan pipa (*shell and tube*)

Sedangkan menurut cara kerjanya evaporator dibagi menjadi dua yaitu :

1. *Evaporator* kering (*dry or direct evaporator*)
2. *Evaporator* banjir (*flooded evaporator*)

Selain itu evaporator juga dapat dibagi berdasarkan pemakaiannya, yaitu :

1. Ekspansi langsung (*direct expansion*)
2. Ekspansi tidak langsung (*indirect expansion*)

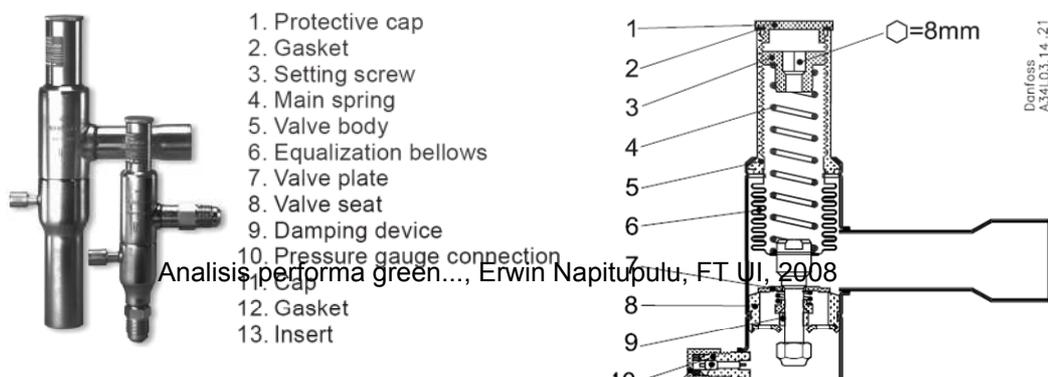
Jenis evaporator yang digunakan pada *Green Medical Boxes* ini adalah evaporator dengan ekspansi langsung, cara kerjanya evaporator kering dan konstruksinya dari permukaan plate (*plate evaporator*)

### 2.3.1.5 Solenoid Valve

*Solenoid valve* berfungsi menghentikan atau meneruskan aliran refrigeran dalam suatu sistem refrigerasi, dimana pengaturannya dilakukan oleh arus listrik. *Solenoid valve* terdiri dari sebuah kumparan yang berbentuk silinder dimana pada bagian tengahnya terdapat sebuah inti besi yang mudah dibuat magnet yang disebut dengan *plunger*. Apabila kumparan dialiri arus listrik maka kumparan menjadi elektromagnet sehingga akan mengangkat/menarik *plunger* ke tengah kumparan dan akibatnya akan membuka katup. Apabila aliran listrik dimatikan maka medan magnet kumparan akan hilang dan *plunger* karena beratnya sendiri akan turun sehingga menutup katup.

### 2.3.1.6 EPR

EPR ( Evaporator Pressure Regulator ) adalah alat untuk mengatur keseimbangan tekanan sistem yang memiliki jumlah evaporator lebih dari satu. Selain itu, fungsi EPR untuk mengatur beban di evaporator, dan juga, menjaga kestabilan tekanan di suction, agar tidak melewati batas minimum. Apabila melewati batas minimum, maka EPR akan mengambil tekanan dari discharge.





Gambar 2.5 EPR tipe KVC

### **2.3.2 KOMPONEN SISTEM KONTROL DAN KELISTRIKAN**

Komponen-komponen kontrol dan kelistrikan yang ada pada sistem *Green Medical Box* berfungsi sebagai berikut :

1. Sebagai alat pengatur : misalnya pengatur temperatur (*thermostat*), pengatur tekanan (LP), saklar, dan lain-lain.
2. Sebagai tenaga penggerak : misalnya motor listrik yang terdapat pada kompresor.
3. Sebagai alat pengaman : misalnya *overload motor protector* yang terdapat pada kompresor.
4. Sebagai indikator : misalnya *pilot lamp*.

Alat-alat kontrol dan kelistrikan yang ada pada *Green Medical Box* adalah sebagai berikut :

1. *Digital Thermostat*

2. *Low pressurestat (LP)*
3. Saklar
4. *Overload motor protector*

#### **2.3.2.1 Digital Thermostat**

*Digital Thermostat* merupakan suatu alat yang berfungsi untuk mengontrol temperatur ruangan agar dapat dijaga atau dipertahankan pada temperatur konstan, sesuai dengan temperatur yang kita inginkan.

Komponen ini termasuk jenis *on-off automatic control* karena bekerja secara otomatis berdasarkan sensor temperatur yang diterimanya. Pada saat temperatur di dalam ruangan menjadi sangat rendah, kontak-kontak listrik akan terbuka sehingga memutuskan suplai listrik. Sebaliknya jika temperatur di dalam ruangan sudah naik kembali, kontak listrik akan menutup sehingga sistem mendapatkan *supply* listrik kembali.

Penempatan sensor *digital thermostat* dalam sistem ini di dalam kabin penyimpanan.

#### **2.3.2.2 Low Pressurestat (LP)**

*Low pressurestat* berfungsi melindungi sistem refrigerasi dari tekanan yang terlalu rendah, yaitu dengan membuka kontak listrik sehingga rangkaian listriknya terputus. Setelah tekanan sistem tidak terlalu rendah lagi, maka kontak listrik dari *pressurestat* akan kembali menutup dan kompresor bekerja lagi. Kegunaan alat ini adalah mencegah tekanan terlalu rendah di kompresor sehingga kompresor aman. Pada *Green Medical Box* menggunakan KP 1 *branded Danfoss*.

#### **2.3.2.3 Saklar**

Saklar berfungsi untuk memutuskan dan mengalirkan aliran listrik ke sistem. Saklar biasanya digunakan hanya untuk menjalankan dan mematikan sistem.

#### **2.3.2.4 Overload Motor Protector**

*Overload motor protector* digunakan untuk melindungi kompresor dari ampere dan panas yang terlalu tinggi. *Overload motor* kompresor ini memiliki bimetal yang cara kerjanya dipengaruhi arus listrik yang terlalu besar dan panas dari motor atau kompresor. Bimetal ini dihubungkan oleh kontak-kontak yang dapat membuka kontakannya apabila arus listrik yang lewat terlalu besar atau menerima panas yang terlalu tinggi dari kompresor. Setelah beberapa menit, motor dan kompresor menjadi dingin dan kontak-kontak dapat terhubung kembali.

Pada dasarnya ada dua jenis *overload motor protector* yang biasa digunakan pada motor kompresor, yaitu :

1. *External Overload Motor Protector*

*Overload motor protector* jenis ini biasanya ditempatkan pada permukaan luar kompresor dan pada bagian yang paling panas dari rumah kompresor.

2. *Internal Overload Motor Protector*

*Overload motor protector* jenis ini biasanya ditempatkan pada *stator* motor dimana alat ini bisa merasakan panas yang tinggi didalam *crankcase* motor kompresor.

Kedua *overload* tersebut dibuat dengan kontak *normally closed*, sehingga apabila kompresor mengalami *overheating* maka kontak terbuka dan motor kompresor berhenti bekerja. Dan *overload* yang digunakan pada *Green Medical Boxes* ini adalah jenis *internal*, sehingga ditempatkan didalam kompresor.

#### **2.4 REFRIGERAN**

Refrigeran merupakan media pendingin yang berfungsi untuk menyerap panas dari benda atau bahan lain sehingga mudah merubah wujudnya dari cair menjadi gas atau sebaliknya.

Refrigeran yang baik harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut :

1. Tidak beracun dan tidak berbau dalam semua keadaan.
2. Tidak berwarna.
3. Tidak dapat terbakar atau meledak sendiri, juga bercampur dengan udara, minyak pelumas, dan bahan lainnya.

4. Tidak mempunyai daya korosi terhadap logam yang dipakai dalam sistem refrigerasi dan tata udara.
5. Dapat bercampur dengan minyak pelumas kompresor, tetapi tidak merusak atau mempengaruhi minyak pelumas tersebut.
6. Mempunyai struktur kimia yang stabil, tidak boleh terurai setiap kali dimampatkan (kompresi), diembunkan (kondensasi), dan diuapkan (evaporasi).
7. Mempunyai titik penguapan atau titik didih (*boilling point*) yang rendah, dan harus lebih rendah dari temperatur evaporator yang direncanakan.
8. Mempunyai tekanan kondensasi yang tidak terlalu tinggi, karena dengan tekanan kondensasi yang tinggi memerlukan kompresor yang besar dan kuat, juga pipa-pipa harus kuat dan kemungkinan bocor besar.
9. Mempunyai tekanan evaporasi yang sedikit lebih tinggi dari tekanan atmosfer, sehingga apabila terjadi kebocoran udara luar tidak masuk kedalam sistem.
10. Mempunyai kalor laten penguapan yang besar, sehingga panas yang diambil oleh refrigeran di *evaporator* pun besar.
11. Mudah dideteksi apabila sistem mengalami kebocoran.
12. Mempunyai volume spesifik uap yang cukup kecil.
13. Tidak merusak lapisan ozon dan tidak menyebabkan efek pemanasan global.
14. Harga murah dan mudah diperoleh.

Refrigeran yang biasa digunakan dalam mesin refrigerasi dapat dikelompokkan menjadi refrigeran halokarbon, refrigeran hidrokarbon, refrigeran azeotrop, refrigeran zeotrop, refrigeran organik dan anorganik.

Refrigeran yang baik dan banyak digunakan sampai dengan beberapa tahun yang lalu adalah refrigeran dari kelompok halokarbon, khususnya CFC (*Cloroflorocarbon*) dan HCFC (*Hydrocloroflorocarbon*). Namun pada tahun 1974 Rowlan dan Molina mengemukakan hipotesanya yang menyatakan bahwa unsur klor pada refrigeran tersebut memiliki potensi perusakan lapisan ozon (ODP = *Ozone Depletion Potential*) sehingga dapat merusak lapisan ozon dan juga memiliki potensi pemanasan global (GWP = *Global Warming Potential*).

Pada *Green Medical Boxes* menggunakan refrigeran R600a yang merupakan kelompok dari refrigeran hidrokarbon dan ramah lingkungan dimana ODP = 0 dan GWP diabaikan.

#### **2.4.1. Proses Perusakan Lapisan Ozon**

Atmosfer yang mengelilingi permukaan bumi dapat dibagi menjadi beberapa bagian, salah satunya lapisan *stratosfer*. Pada *stratosfer* ini terdapat lapisan ozon yang mempunyai peranan penting bagi kehidupan manusia, hewan dan tumbuhan. Lapisan ozon ini berfungsi untuk menyaring sinar *ultraviolet* dari matahari agar tidak membahayakan kehidupan di muka bumi. Tetapi tanpa disadari ternyata lapisan ozon sudah mengalami kerusakan yang menyebabkan adanya lubang pada lapisan ozon. Kerusakan lapisan ozon yang sangat serius terjadi di atas antartika dan kutub utara.

Dampak dari kerusakan ozon bagi kehidupan makhluk hidup di muka bumi adalah sebagai berikut :

1. Kekebalan tubuh akan menurun.
2. Manusia akan menderita kanker kulit dan jumlahnya semakin meningkat.
3. Penderita katarak akan meningkat.
4. Dapat menyebabkan menurunnya sistem kekebalan tubuh manusia.
5. Mempercepat proses korosi pada logam.
6. Putusnya rantai makanan pada ikan karena pertumbuhan plankton yang semakin berkurang.
7. Tanaman pangan dan tumbuh-tumbuhan akan kekeringan.

Refrigeran merupakan senyawa stabil, ketika refrigeran meninggalkan bumi melewati *troposfer* dan mencapai *stratosfer*, refrigeran tersebut akan bereaksi dengan ozon. Di lapisan *stratosfer* refrigeran menyebar dan dengan pancaran sinar *ultraviolet* yang kuat memecahkan susunan molekul refrigeran dan menghasilkan klor. Dengan klor sebagai katalisator, ozon akan terurai dan menjadi semakin tipis dan akhirnya membentuk lubang. Unsur klor yang masuk ke lapisan *stratosfer* akan tetap tinggal dan penipisan lapisan ozon akan terus berlanjut. Satu atom klor sangat potensial untuk merusak ribuan atau bahkan ratusan ribu molekul ozon.

Untuk menghindari pembesaran lubang lapisan ozon, maka diperlukan suatu refrigeran pengganti, mengingat refrigeran dari mesin refrigerasi dipastikan selalu ada yang lepas ke udara. Refrigeran pengganti yang banyak digunakan saat ini adalah refrigeran R-134a dan ammonia, tetapi kedua refrigeran ini masih memiliki kekurangan-kekurangan, misalnya R-134a yang dirancang untuk menggantikan R-12, walaupun memiliki ODP=0 ternyata memiliki potensi untuk menyebabkan pemanasan global yang sangat besar. Sedangkan untuk refrigeran ammonia mempunyai bau yang sangat menyengat dan dikelompokkan ke dalam kelompok refrigeran yang berbahaya atau mematikan (beracun). Dengan demikian upaya selanjutnya yang dilakukan oleh para ahli adalah melirik kembali kepada bahan-bahan yang benar-benar ramah lingkungan dalam arti refrigeran tersebut mempunyai ODP (*Ozone Depletion Potential*) dan GWP (*Global Warming Potential*) yang sangat rendah sehingga dapat diabaikan dan tersedia secara melimpah di alam sekitar.

#### **2.4.2 HIDROKARBON REFRIGERAN YANG RAMAH LINGKUNGAN**

Refrigeran alternatif yang paling cocok pada saat ini adalah refrigeran dari kelompok hidrokarbon, karena mempunyai sifat termofisik yang sesuai dengan refrigeran sebelumnya. Selain itu refrigeran hidrokarbon tidak merusak lapisan ozon (ODP = 0) dan efek pemanasan global yang dapat diabaikan (GWP rendah).

Pada *Green Medical Box* ini menggunakan R600a (*isobutane*) yang lebih ramah lingkungan dan direkomendasikan untuk kompresor *Danfoss* BD35K.