



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS PERFORMANSI GREEN MEDICAL BOX DENGAN
VARIASI PUTARAN MOTOR KOMPRESOR
MENGUNAKAN REFRIGERAN R600A**

SKRIPSI

FAJRI HIDAYAT

06 06 04 1983

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
PROGRAM TEKNIK MESIN
DEPOK
JANUARI 2009**



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS PERFORMANSI GREEN MEDICAL BOX DENGAN
VARIASI PUTARAN MOTOR KOMPRESOR
MENGUNAKAN REFRIGERAN R600A**

SKRIPSI

**Skripsi ini diajukan untuk melengkapi sebagian persyaratan
menjadi sarjana teknik**

oleh

FAJRI HIDAYAT

06 06 04 1983

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
PROGRAM TEKNIK MESIN
DEPOK
JANUARI 2009**

Universitas Indonesia

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tugas akhir dengan judul:
**ANALISIS PERFORMANSI GREEN MEDICAL BOX DENGAN VARIASI
PUTARAN MOTOR KOMPRESOR MENGGUNAKAN REFRIGERAN
R600A**

Yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Mesin Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan tiruan atau duplikasi dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya. Penulisan tugas akhir ini dibuat bersama **Erwin Napitupulu** dengan judul tugas akhir **Analisis Performansi Green Medical Box Dengan Variasi Putaran Motor Kompresor menggunakan Refrigerant R134a** sehingga terdapat kata-kata atau kalimat yang sama.

Nama : Fajri Hidayat
NPM : 0606041983
Tanda Tangan :
Tanggal : 30 Desember 2008

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Fajri Hidayat
NPM : 0606041983
Program studi : Teknik Mesin
Judul skripsi : Analisis Performansi Green Medical Box dengan
Variasi Putaran Motor Kompresor Menggunakan
Refrigeran R600a

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr.-Ing. Ir. Nasruddin, M. Eng (.....)
Penguji : Dr. Ir. Budihardjo, Dipl.-Ing (.....)
Penguji : Dr. Ir. M. Idrus Alhamid (.....)
Penguji : Ir. M. Taufik Dipl.-Ing (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 30 Desember 2008

KATA PENGANTAR / UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Dr.-Ing. Ir. Nasruddin, M. Eng, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) Ayah, Ibu dan Ika yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral;
- (3) Icha yang tidak pernah bosan memberi semangat dan dorongan kepada saya untuk menyelesaikan skripsi ini;
- (4) Teman-teman di Laboratorium Pendingin yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data yang saya perlukan;

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Depok, 20 Desember 2008

Fajri Hidayat

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fajri Hidayat
NPM : 0606041983
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demikian demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**ANALISIS PERFORMANSI GREEN MEDICAL BOX DENGAN VARIASI
PUTARAN MOTOR KOMPRESOR MENGGUNAKAN REFRIGERAN
R600A**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 30 Desember 2008

Yang menyatakan

(Fajri Hidayat)

Universitas Indonesia

ABSTRAK

Nama : Fajri Hidayat
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Analisis Performansi Green Medical Box Dengan Variasi Putaran Motor Kompresor Menggunakan Refrigeran R600a

Green Medical Box adalah sebuah tempat untuk pendinginan obat-obatan, vaksin, darah dan organ menggunakan refrigeran yang ramah lingkungan yaitu R600a. Sumber energi untuk *green medical box* ini bisa menggunakan *power supply* 220 VAC/12 VDC, batere atau *solar panel*. Pada tugas akhir ini pengujian menggunakan sumber energi dari *power supply* 220 V AC / 12 V DC dan batere 12 V DC.

Green medical box ini terdiri dari 2 kabin yaitu kabin *cooler* dan kabin *freezer*. Untuk kabin *cooler set point* temperaturnya pada +5 °C dan kabin *freezer* -15 °C. Temperatur kabin diatur oleh dua *solenoid* yang masing-masing dipasang di *liquid line* sebelum masuk pipa kapiler, dimana mekanisme buka tutupnya diatur oleh *digital thermostat*. Pada keluaran *cooler* dipasang EPR yang berfungsi untuk menjaga tekanan evaporasi pada *cooler* dan pada keluaran *freezer* dipasang check valve yang berfungsi untuk mencegah agar tidak ada aliran balik menuju *freezer* yang tekanannya sangat rendah

Pengujian *Green Medical Box* ini dilakukan dengan 4 variasi percobaan yaitu pertama alat dioperasikan menggunakan sumber listrik PLN dengan putaran 3500 rpm pada kompresor, kedua alat dioperasikan menggunakan sumber listrik PLN dengan putaran 2000 rpm pada kompresor. Dua tahap selanjutnya adalah dengan mengganti sumber listrik dengan batere 12 VDC dengan model variasi putaran yang sama. Dari beberapa variasi percobaan ini didapatkan beberapa pola perubahan tekanan, temperatur dan daya yang terjadi pada sistem yang menunjukkan karakteristik sistem.

Untuk penelitian selanjutnya penulis menyarankan untuk memasang *pressure transmitter* pada sistem agar dapat mendeteksi perubahan-perubahan yang terjadi pada sistem lebih lanjut. Juga jika temperatur *set point* yang diinginkan belum tercapai saat *cooler* dan *freezer* bekerja bersamaan maka hendaknya memperbesar kapasitas kompresor.

Kata Kunci: R600a, Kompresor DC BD35K, EPR, Pendingin Vaksin

ABSTRACT

Nama : Fajri Hidayat
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Performance Analysis Of Green Medical Box with
Compressor's Motor Speed Variations Using R600a as
Refrigerant

Green Medical Box is a storage for refrigeration of the medicines, vaccines, blood plasma and organ using friendly environment refrigerant such as R600a. The power of the Green medical Box can uses power supply 220 V AC / 12 V DC, battery or solar panel. This final project uses power supply 220 V AC / 12 V DC and 12 VDC Battery.

This Green Medical Box consist of 2 cabin (cooler cabin and freezer cabin). The set point temperature cooler cabin is +5 °C and freezer cabin is -15 °C. Cabin temperature controlled with solenoid each put liquid line before capillary tube. Open close of the selenoid controlled with digital thermostat. At the cooler outlet there is EPR which control the evaporation temperature in cooler, and at the freezer outlet equipped with check valve to make sure that there is no reversed flow to freezer whose have a very low pressure.

Testing of Green Medical Box have four variation: first is running the system using 220 VAC source power with 3500 rpm speed of compressor's motor; second running the system using 220 VAC source power with 2000 rpm speed of compressor's motor. The next two steps is changing the source power with 12 VDC battery with the same variation of compressor's motor speed. From these experiments we got some changing on pressure, temperature and power consumed by the system which show it's characteristic.

For the next riset the writer to suggest use pressure transmitter on the system to detect more alteration on this system. And if the system cannot reach set point temperature we have to increase the capacity of the compressor

Keyword: R600a, DC Compressor BD35K, EPR, Vaccine Cooler

DAFTAR ISI

	halaman
HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	ii
PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	iv
ABSTRAK.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
DAFTAR ISTILAH DAN SIMBOL	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 PERMASALAHAN	2
1.3 TUJUAN	2
1.4 BATASAN MASALAH	2
1.5 METODOLOGI PENULISAN	2
1.5.1 Studi Literatur	2
1.5.2 Pembuatan <i>Prototype</i>	2
1.5.3 Proses <i>Trial</i> dan Modifikasi.....	2
1.5.4 Analisis dan Kesimpulan Hasil Pengujian	2
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN	3
BAB II LANDASAN TEORI.....	4
2.1 SISTEM <i>MULTI EVAPORATOR</i>	4
2.2 <i>GREEN MEDICAL BOX</i>	5
2.3 KOMPONEN-KOMPONEN PADA <i>GREEN MEDICAL BOX</i> ..	6
2.3.1 Komponen Sistem Refrigerasi	6

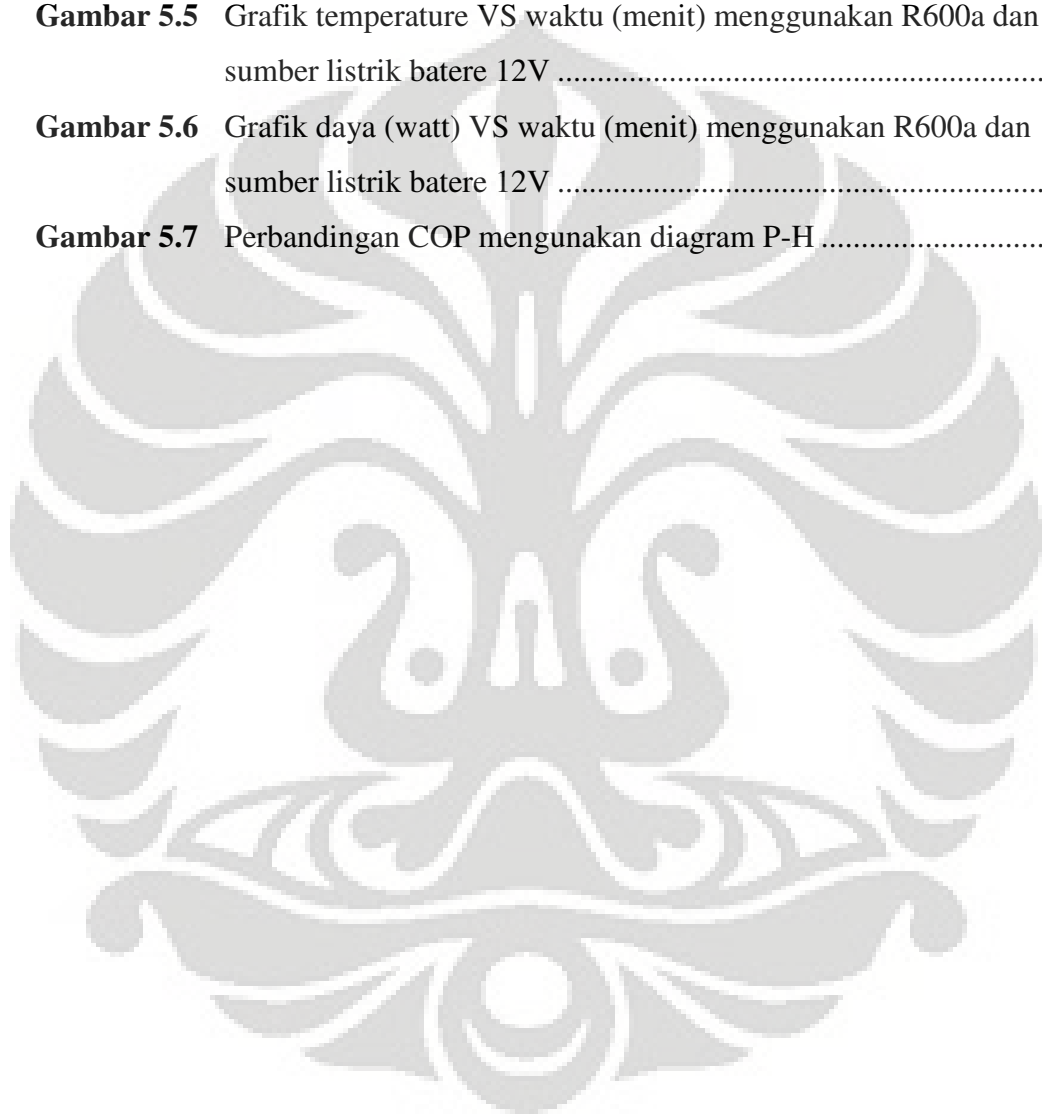
	2.3.1.1 Kompresor	6
	2.3.1.2 Kondensor	8
	2.3.1.3 Alat ekspansi	8
	2.3.1.4 <i>Evaporator</i>	9
	2.3.1.5 <i>Solenoid valve</i>	9
	2.3.1.6 <i>EPR</i>	10
	2.3.2 Komponen Sistem Kontrol dan Kelistrikan	11
	2.3.2.1 <i>Digital Thermostat</i>	12
	2.3.2.2 <i>Low Pressurestat</i>	12
	2.3.2.3 Saklar	12
	2.3.2.4 <i>Overload Motor Protector</i>	12
2.4	REFRIGERAN	13
	2.4.1 Proses Perusakan Lapisan Ozon	14
	2.4.2 Hidrokarbon Refrigeran Yang Ramah Lingkungan	16
BAB III	INSTALASI SISTEM	17
3.1	DATA RANCANGAN <i>GREEN MEDICAL BOX</i>	17
	3.1.1 Instalasi Pemipaan	17
	3.1.2 Tes Kebocoran	20
	3.1.3 Pevakuman Sistem.....	20
	3.1.4 Pengisian Refrigeran.....	20
3.2	DATA BEBAN PENDINGINAN	21
	3.2.1 Beban Pendinginan pada <i>freezer</i>	21
	3.2.2 Beban pendinginan pada <i>cooler</i>	24
3.3	PEMILIHAN KOMPONEN SISTEM REFRIGERASI.....	27
BAB IV	PENGUJIAN <i>GREEN MEDICAL BOX</i>	28
4.1	TUJUAN PENGUJIAN	28
4.2	KOMPONEN ALAT PENGUJIAN.....	28
	4.2.1 <i>Thermostat</i>	28
	4.2.2 <i>Thermometer Glass</i>	28
	4.2.3 <i>Power meter</i>	28

4.2.3.1 Sistem kerja <i>power meter</i>	29
4.2.4 <i>Stopwatch</i>	30
4.2.5 <i>DA & C</i> (Data akusisi).....	30
4.2.6 <i>Power supply</i>	31
4.2.7 Komputer	32
4.2.8 <i>Thermocouple</i>	32
4.2.8.1 Kalibrasi <i>thermocouples</i>	32
4.2.9 <i>Pressure gauge</i>	34
4.3 PROSEDUR PENGAMBILAN DATA	34
4.3.1 Persiapan Pengambilan Data	34
4.3.2 Pengambilan Data	34
BAB V HASIL DAN ANALISA	35
5.1 PENGUJIAN <i>GREEN MEDICAL BOX</i> MENGGUNAKAN R600A DAN SUMBER LISTRIK AC 220V (PLN)	35
5.1.1 Perbandingan Tekanan terhadap Waktu	35
5.1.2 Perbandingan Temperatur Terhadap Waktu	36
5.1.3 Perbandingan Daya terhadap waktu	37
5.2 PENGUJIAN <i>GREEN MEDICAL BOX</i> MENGGUNAKAN R600A DAN SUMBER LISTRIK BATERE 12V	37
5.2.1 Perbandingan Tekanan terhadap Waktu	38
5.2.2 Perbandingan Temperatur Terhadap Waktu	39
5.2.3 Perbandingan Daya terhadap waktu	40
5.3 DIAGRAM P-H DAN COP.....	41
BAB VI KESIMPULAN	43
6.1 KESIMPULAN.....	43
6.2 SARAN.....	44
DAFTAR REFERENSI	45
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Sistem dengan dua <i>evaporator</i> dan satu kompresor dengan masing-masing <i>expansion valve</i>	4
Gambar 2.2 Siklus termodinamika sistem dengan dua <i>evaporator</i> dan satu kompresor dengan masing-masing <i>expansion valve</i>	5
Gambar 2.3 DC Kompresor Danfoss type BD35K	7
Gambar 2.4 <i>Electronic unit</i> BD35K	8
Gambar 2.5 <i>EPR</i> tipe <i>KVC</i>	11
Gambar 3.1 Model Rancangan <i>Green Medical Box</i> portabel	17
Gambar 3.2 <i>Diagram Pemipaan</i>	18
Gambar 3.3 Diagram Kelistrikan menggunakan sumber listrik PLN dengan RPM 3500 dan menggunakan <i>power meter</i>	18
Gambar 3.4 Diagram Kelistrikan menggunakan sumber listrik batere dengan RPM 3500 dan menggunakan <i>power meter</i>	19
Gambar 3.5 Tampilan software Danfoss untuk pemilihan alat	27
Gambar 4.1 <i>Power meter</i>	28
Gambar 4.2 Skema cara kerja <i>power meter</i>	29
Gambar 4.3 Diagram konversi data pada <i>power meter</i>	30
Gambar 4.4a Konverter	31
Gambar 4.4b <i>Input analog module</i>	31
Gambar 4.5 <i>Power supply</i>	32
Gambar 4.6 Skematik verifikasi <i>thermocouples</i>	33
Gambar 4.7a Hasil verifikasi channel 00	34
Gambar 4.7b Hasil verifikasi channel 01	34
Gambar 5.1 Grafik tekanan (barg) VS waktu (menit) menggunakan R600a dan sumber listrik AC 220V (PLN)	35

Gambar 5.2	Grafik temperature VS waktu (menit) menggunakan R600a dan sumber listrik AC 220V (PLN)	36
Gambar 5.3	Grafik daya (watt) VS waktu (menit) menggunakan R600a dan sumber listrik AC 220V (PLN)	37
Gambar 5.4	Grafik tekanan (barg) VS waktu (menit) menggunakan R600a dan sumber listrik batere 12V	38
Gambar 5.5	Grafik temperature VS waktu (menit) menggunakan R600a dan sumber listrik batere 12V	39
Gambar 5.6	Grafik daya (watt) VS waktu (menit) menggunakan R600a dan sumber listrik batere 12V	40
Gambar 5.7	Perbandingan COP menggunakan diagram P-H	41



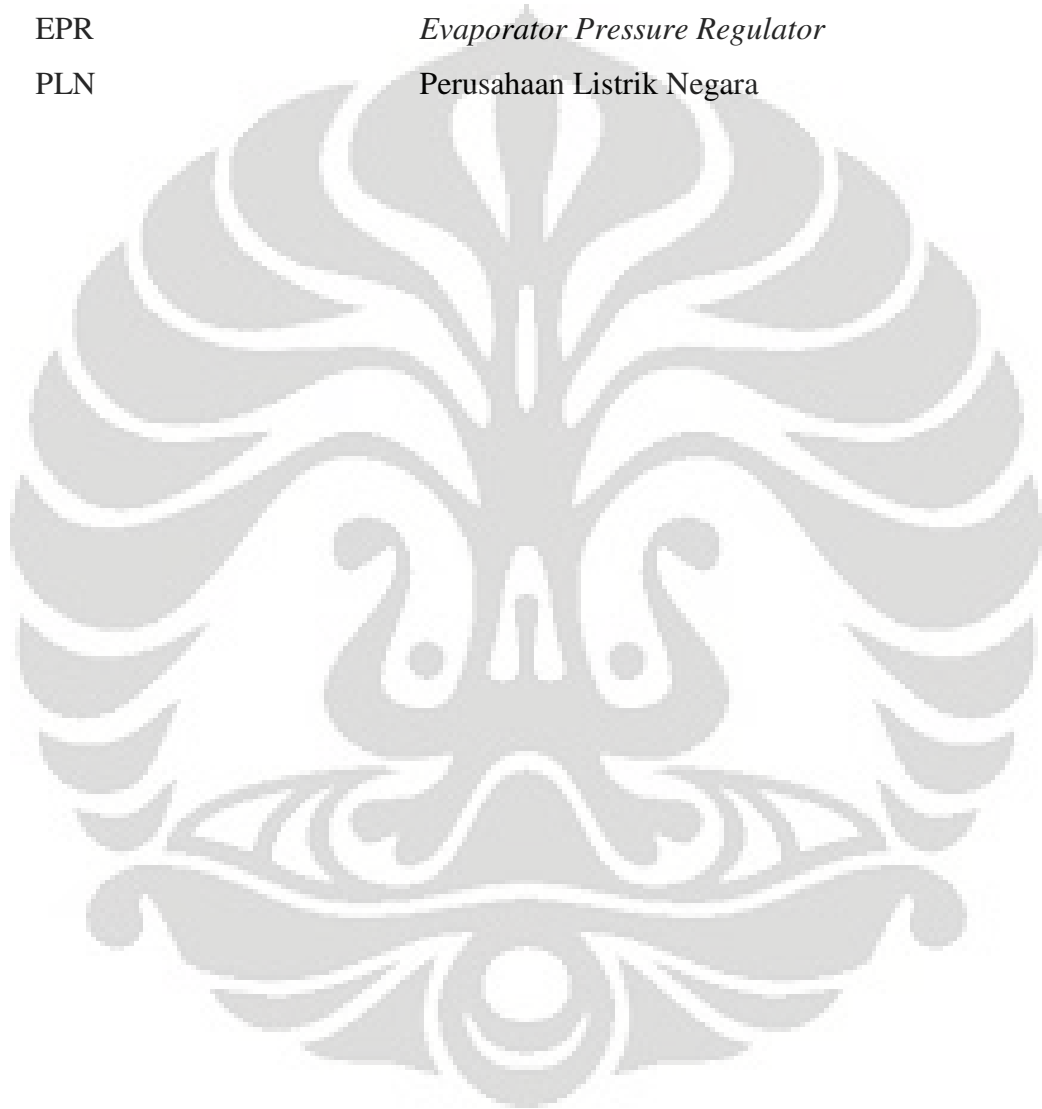
DAFTAR TABEL

	halaman
Tabel 2.1 <i>BD35K compressor speed</i>	8
Tabel 3.1 Laju infiltrasi udara	23
Tabel 3.2 Laju pertukaran udara.....	24



DAFTAR ISTILAH

Singkatan	Keterangan	Dimensi
AC	<i>Alternating current</i>	<i>Ampere</i>
DC	<i>Direct current</i>	<i>Ampere</i>
EPR	<i>Evaporator Pressure Regulator</i>	
PLN	Perusahaan Listrik Negara	





BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Sarana penunjang kesehatan merupakan salah satu bagian yang berpengaruh besar ketika kita berbicara tentang usaha mewujudkan kesehatan masyarakat. Selain faktor tenaga ahli yang kompeten juga diperlukan peralatan yang memadai. Salah satu peralatan penunjang yaitu tempat penyimpanan obat-obatan, vaksin, darah dan organ sehingga ketersediaan dan kualitasnya dapat terjaga dengan baik. Untuk menjaga agar kualitas obat-obatan, vaksin, darah dan organ tetap terjaga maka diperlukan pendinginan yang temperaturnya sesuai dengan standar dari departemen kesehatan atau badan kesehatan yang diakui baik lokal maupun internasional.

Tempat penyimpanan ini biasanya dinamakan *medical box*. *Medical box* ini kebanyakan menggunakan sumber energi listrik AC yang berasal dari PLN 220 V AC, tetapi tidak semua daerah yang dapat menikmati listrik tersebut, apalagi untuk daerah yang terpencil seperti di pelosok-pelosok desa atau di kepulauan terpencil yang banyak di negara kita Indonesia ini. Untuk itu perlu dipertimbangkan menggunakan *medical box* yang dapat digerakan dari sumber DC (batere, *solar cell*, dan sejenisnya) dan menggunakan refrigeran yang ramah lingkungan (*green medical box*), sehingga cocok untuk pelosok daerah yang memang sering kekurangan obat-obatan, vaksin dan darah yang disebabkan menunggu suplai dari kota. Dengan adanya tempat penyimpanan ini maka ketersediaan obat-obatan, vaksin dan darah dapat terpenuhi, selain itu juga akan sangat membantu tugas paramedis, yang akhirnya akan terpenuhinya standar kesehatan yang layak untuk masyarakat banyak.

1.2 PERMASALAHAN

Memodifikasi *Green Medical Box* yang aplikasinya sesuai untuk daerah terpencil dan memenuhi standar-standar yang ditetapkan badan kesehatan maka diperlukan perancangan sistem dan pengujian yang baik.

1.3 TUJUAN

Adapun tujuan dalam penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Mendapatkan karakteristik sistem dengan variasi putaran 2000 rpm dan 3500 rpm pada kompresor BD35K menggunakan refrigeran R600a
2. Mendapatkan perbandingan pola serapan daya pada sistem dengan kecepatan putaran motor kompresor 2000 rpm dan 3500 rpm menggunakan kompresor BD35K

1.4 BATASAN MASALAH

Batasan masalah pada penelitian ini yaitu :

1. Refrigeran yang digunakan R600a
2. Menggunakan sumber energi DC 12 V yang berasal dari konverter AC ke DC (*power supply* 220 V AC / 12 V DC) dan baterai 12 V DC
3. Menggunakan putaran 2000 rpm dan 3500 rpm pada kompresor BD35K.

1.5 METODOLOGI PENULISAN

1.5.1 Studi Literatur

Studi literatur yang digunakan sebagai acuan dalam tugas akhir ini adalah buku, jurnal, artikel, skripsi, dan internet. Literatur-literatur tersebut menjadi acuan dalam pengujian *Green Medical Box*.

1.5.2 Modifikasi *Prototype*

Proses modifikasi *prototype* ini dilakukan hingga didapatkan kondisi sistem yang diinginkan dan disesuaikan dengan kondisi lapangan.

1.5.3 Proses *Trial* dan Modifikasi

Pengujian dilakukan untuk melihat unjuk kerja sistem yang telah dibuat, dan melakukan modifikasi jika diperlukan.

1.5.4 Analisis dan Kesimpulan Hasil Pengujian.

Setelah pengambilan data, maka dilakukan proses pengolahan data yang ditampilkan lewat tabel maupun grafik sehingga didapat kesimpulan dari proses pengujian yang terlihat dari unjuk kerja sistem dan dapat memberikan saran dalam pengembangan desain selanjutnya.

1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Penulisan tugas akhir ini mengikuti sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini membahas tentang latar belakang, permasalahan yang timbul, tujuan, batasan masalah, metodologi penulisan, dan sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini membahas tentang konsep-konsep yang menjadi dasar teori dalam penelitian ini, seperti komponen sistem refrigerasi, refrigeran ramah lingkungan.

BAB III INSTALASI SISTEM

Bab ini membahas mengenai instalasi sistem refrigerasi, sistem kelistrikan, tes kebocoran, pemvakuman dan pengisian.

BAB IV PENGUJIAN *GREEN MEDICAL BOX*

Bab ini membahas pengambilan data, prosedur dan metoda dalam pengujian untuk melihat unjuk kerja sistem yang telah dibuat.

BAB V HASIL DAN ANALISA

Bab ini membahas hasil pengujian yang dianalisa dari data yang berupa tabel dan grafik.

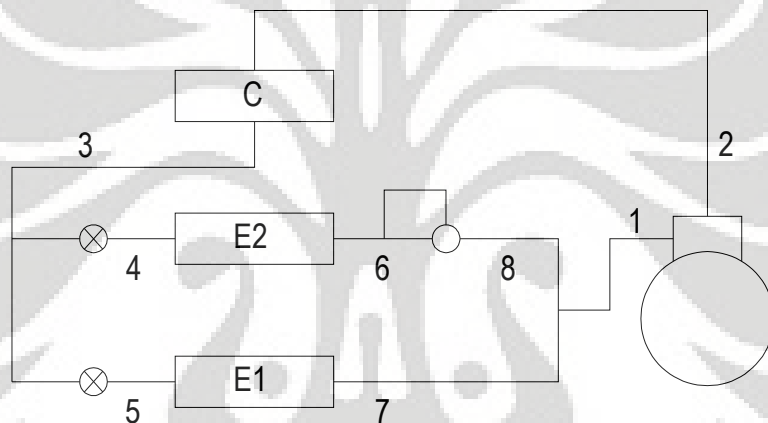
BAB VI KESIMPULAN

Bab ini membahas kesimpulan dari hasil pengujian dan memberikan saran untuk pengembangan desain berikutnya.

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 2.1 (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 kondensator (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

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

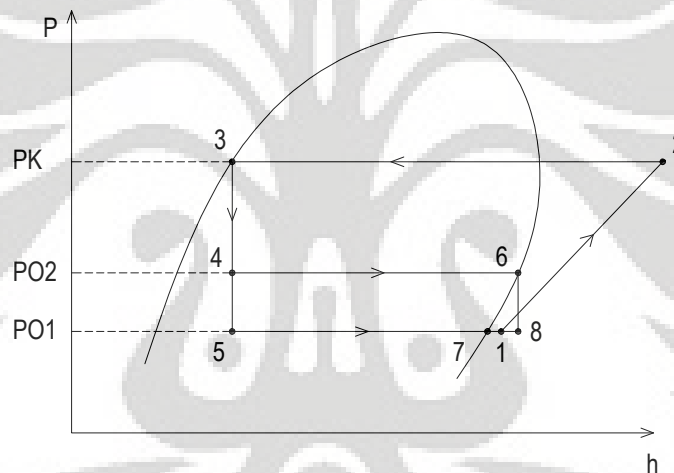
$$m_2 = \frac{Q_{02}}{q_{02}} = \frac{Q_{02}}{h_6 - h_4} \quad (2.2)$$

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 katup ekspansi [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 Box* 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 kondensor melalui *discharge line*.

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

1. Kompresor torak (*reciproacting*)
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 semihmetik
3. Kompresor *open type*

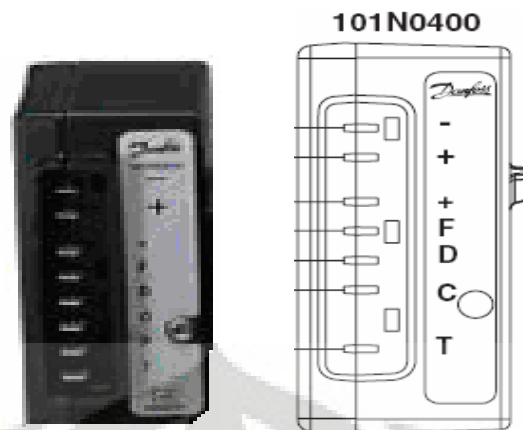
Masing-masing kompresor diatas mempunyai keunggulan tersendiri tergantung dari pemakaiannya. Secara umum pemakaian jenis-jenis kompresor tersebut ditentukan oleh besarnya kapasitas, penggunaannya, instalasinya, dan jenis refrigeran yang digunakan.

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 merupakan aplikasi khusus 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) [Ω]	Motor speed [rpm]	Control circuit current [mA]
101N0400 with AEO	0	AEO	6
	173	2,000	5
	450	2,500	4
	865	3,000	3
	1696	3,500	2
101N0210 101N0220	0	2,000	5
	277	2,500	4
	692	3,000	3
	1523	3,500	2

Kompresor BD35K 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 Kondensor

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

Berdasarkan cara pendinginannya, kondensor dibagi menjadi tiga, yaitu :

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

Pada dasarnya media sistem pendinginan kondensor 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 kondensor 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*)

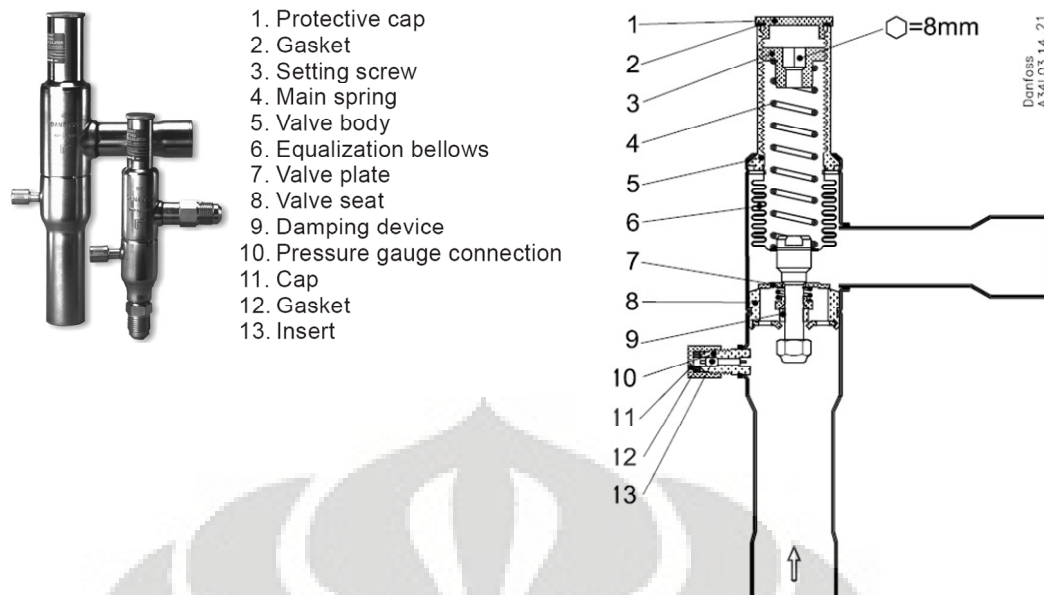
Jenis evaporator yang digunakan pada *Green Medical Boxes* ini adalah evaporator dengan ekspansi langsung, cara kerjanya evaporator kering dan konstruksinya dari permukaan plate (*plate evaporator*)

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 kesetabilan 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 diatas antartika dan kutub utara.

Dampak dari kerusakan ozon bagi kehidupan makhluk hidup dimuka 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 planton 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.

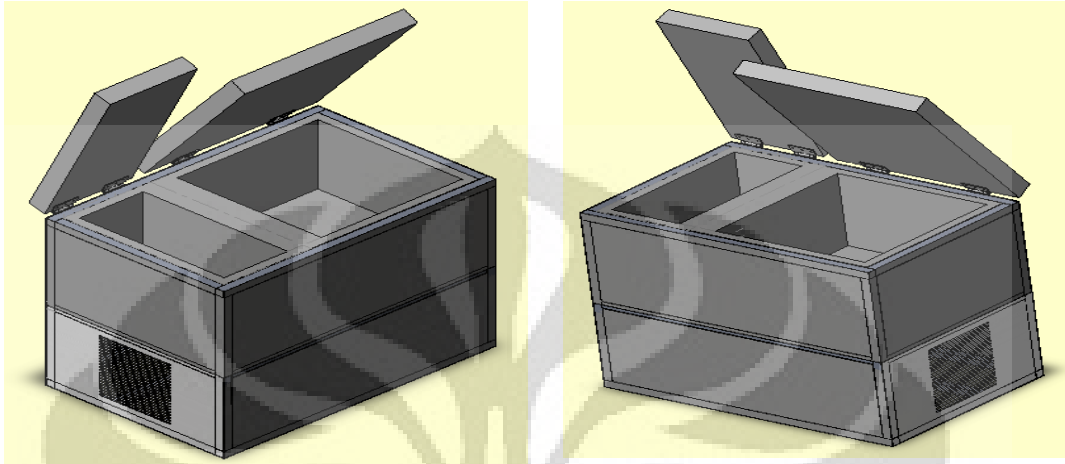
2.4.2 HIDROKARBON REFRIGERAN YANG RAMAH LINGKUNGAN

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.

BAB III INSTALASI SISTEM

3.1. Data Rancangan *Green Medical Box*



Gambar 3.1. Model rancangan *Green Medical Box Portable*

3.1.1 Instalasi Pemipaan

Dari peralatan yang telah dipilih, sistem refrigerasi yang dipakai dalam perancangan *Green Medical Box* adalah sistem refrigerasi kompresi uap.

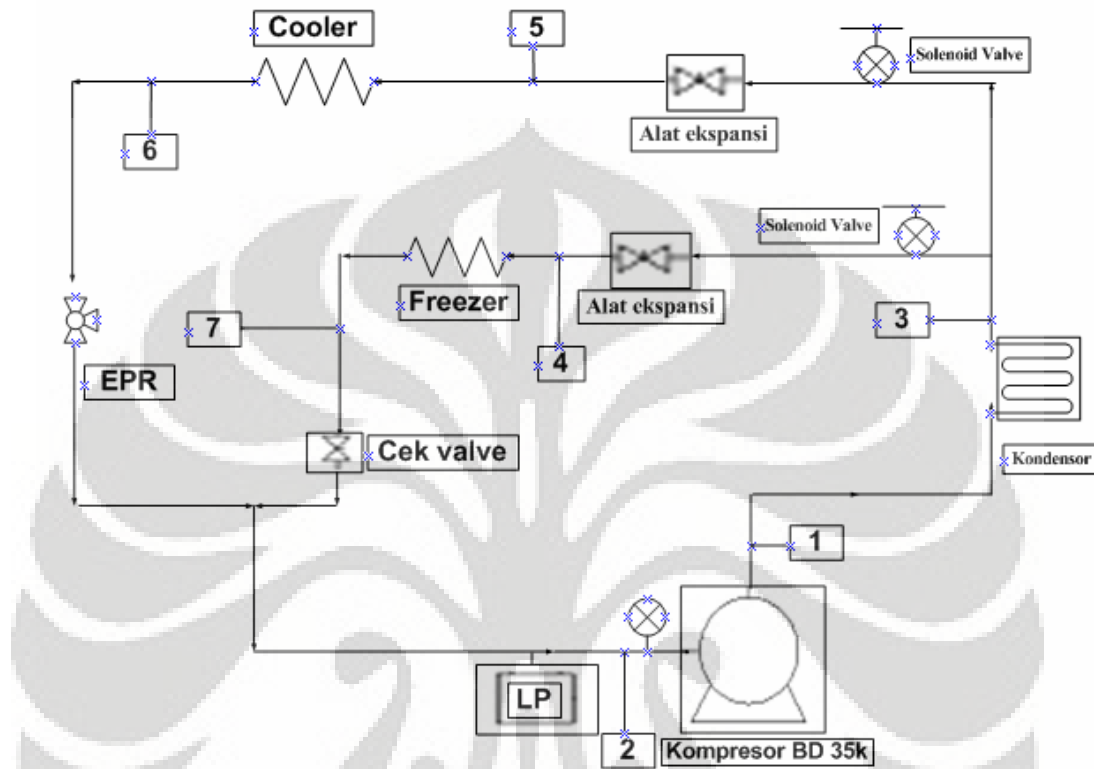
Dimana Sistem refrigerasi ini terdiri dari beberapa komponen utama yang seluruhnya dihubungkan dengan menggunakan pipa yang berfungsi sebagai sarana atau tempat mengalirnya refrigeran dari satu komponen ke komponen lainnya.

Pipa refrigeran pada sistem kompresi uap ini, terdiri dari 4 bagian, yaitu :

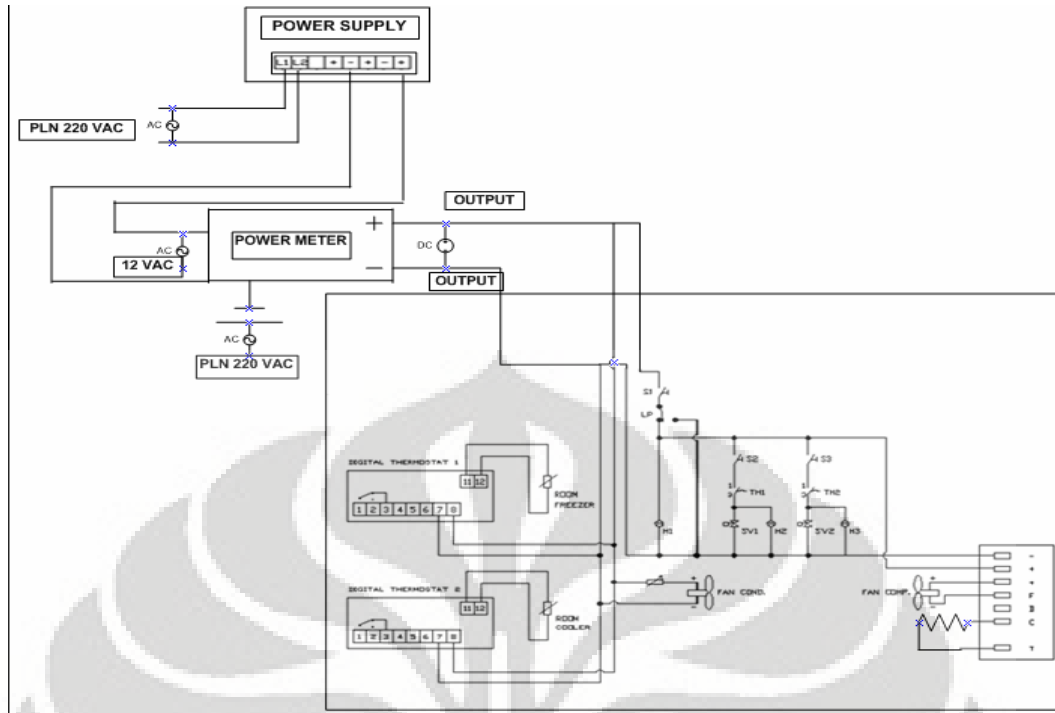
- Pipa gas isap (sisi tekanan rendah) yaitu pipa dari evaporator ke kompresor.
- Pipa gas buang (sisi tekanan tinggi) yaitu pipa dari kompresor ke kondensor.
- Pipa cairan (sisi tekanan tinggi) yaitu pipa dari kondensor ke katup ekspansi.
- Pipa gas jenuh (sisi tekanan rendah) yaitu pipa dari katup ekspansi ke evaporator.

Sistem pemipaan yang dirancang sesuai dengan kondisi dari fasa refrigeran yang ada di dalamnya, tinggi atau rendahnya tekanan, dan jenis refrigeran yang digunakan. Pemipaan sistem refrigerasi *Green Medical Box* ini menggunakan pipa tembaga dan refrigeran yang dipergunakan yaitu R600a. Untuk mencegah terjadinya pengembunan uap air, maka pipa *suction* dibalut dengan bahan insulasi *harmaflex*. *Condensing unit* diletakkan dibagian bawah ruangan pendingin. *Condensing unit* tersebut dipasang diatas plat yang tersedia

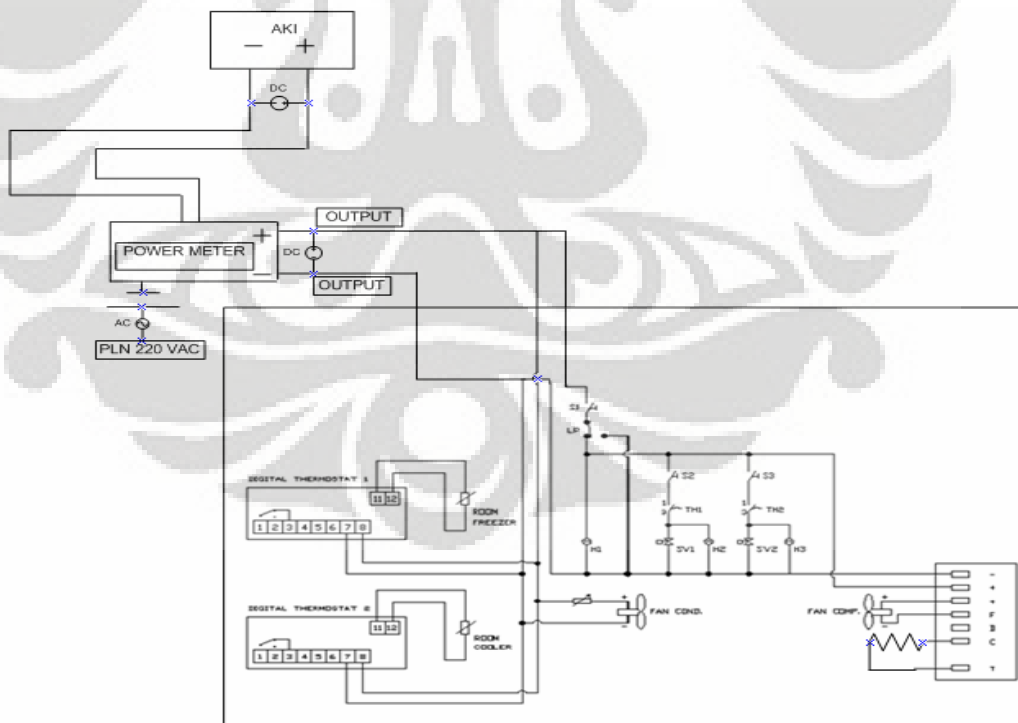
pada lantai ruangan *Condensing unit* dan untuk mengikatnya menggunakan mur pengikat. Untuk mencegah penerusan getaran mesin kompresor ke ruangan pendingin maka pada mur pengikat tersebut dipasang peredam getaran.



Gambar 3.2 Diagram pemipaan [3]



Gambar 3.3 Diagram kelistrikan menggunakan sumber listrik pln dengan rpm 3500 dan menggunakan power meter



Gambar 3.4 Diagram kelistrikan menggunakan sumber listrik batere dengan rpm 3500 dan menggunakan power meter

3.1.2 Tes Kebocoran

Tes kebocoran sangat perlu dilakukan sebelum sistem dioperasikan untuk mengetahui sistem yang telah di instalasi (pemipaan) masih bocor atau tidak. Jika hal ini tidak dilakukan dan ternyata terdapat kebocoran, refrigeran yang telah diisikan lama-kelamaan akan habis. Tentunya hal ini sangat tidak diharapkan. Nitrogen biasanya digunakan untuk mengetes kebocoran. Pada *Green Medical Box* digunakan refrigeran R600a sebagai media pengetes kebocoran karena nitrogen harus dibeli dengan ukuran tabung yang cukup besar. Besarnya tekanan R600a yang masuk diatur oleh katup manual dan dibaca pada *manifold gauge*. Tekanan tes kebocoran yang direkomendasikan untuk sistem hermetik yaitu tidak lebih dari 150 psi (10 bar). Kemudian dengan metoda gelembung sabun yang menggunakan campuran air dan sabun, lokasi yang memungkinkan terjadinya kebocoran ditetesi/diolesi dengan campuran air sabun tersebut, terutama pada sambungan. Jika terdapat gelembung artinya sistem masih bocor sehingga sambungan pipa harus diperbaiki. Mungkin kebocoran tidak dapat langsung terlihat karena sangat kecil. Solusinya yaitu membiarkan sistem tersebut dalam keadaan terisi refrigeran R600a selama kurang lebih 24 jam. Jika tekanan yang terbaca pada *manifold* tetap, ini artinya sistem tersebut tidak bocor.

3.1.3 Pemvakuman Sistem

Sistem harus divakum untuk memastikan tidak adanya udara dan uap air didalam sistem. Udara dan uap air bisa menghambat perpindahan kalor. Jika uap air tidak bisa diambil dari sistem, uap air mungkin akan membeku di kontrol aliran refrigeran yang mana dapat menghambat aliran refrigeran. Setelah saluran pompa vakum dihubungkan ke sistem melalui katup servis, pompa vakum dinyalakan. Perlu diperhatikan juga, jika tekanan yang terbaca pada *manifold gauge* naik setelah divakum dan dibiarkan selama kurang lebih 24 jam, ini artinya sistem masih bocor dan harus diperbaiki kembali.

3.1.4 Pengisian Refrigeran

Hal yang penting diperhatikan dalam mengisi refrigeran yaitu :

- a. Selalu mengisi sistem ke dalam sisi rendah jika memungkinkan.

- b. Refrigeran yang diisikan ke dalam sistem dianjurkan dalam bentuk uap. Refrigeran yang dimasukkan ke dalam sistem dalam bentuk cair berbahaya bagi kompresor.

Sistem pada *Green Medical Box* diisi tidak lebih dari 120 gram refrigeran R600a. Pengisian R600a menggunakan kapiler. Tujuan menggunakan kapiler adalah untuk mengubah fasa refrigeran cair berubah fasa menjadi gas ketika melewati kapiler.

3.2 Data Beban Pendinginan

3.2.1 Beban Pendinginan pada *Freezer*

3.2.1.1 *Beban Kalor Melalui Dinding Freezer*

a) Kalor melalui dinding 1

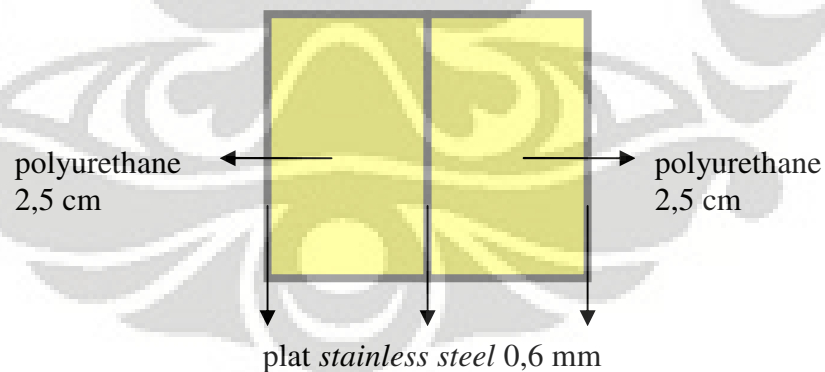
Temperatur udara luar diasumsikan 35 °C

$$Q_d = A \times U \times TD$$

Untuk mencari nilai U menggunakan persamaan (2-2) pada bab 2.

$$U = \frac{1}{\frac{1}{f_i} + \frac{x}{k_1} + \frac{x}{k_2} + \frac{x}{k_n} + \frac{1}{f_o}} \quad \begin{array}{l} f_o = 9.37W/(m^2K) \\ f_i = 22.7W/(m^2K) \end{array}$$

Dinding 1 terdiri dari plat stainless steel 0,6 mm dan polyurethane 5 cm.



$$U = \frac{1}{\frac{1}{22,7} + \frac{0,0006}{19} + \frac{0,0006}{19} + \frac{0,0006}{19} + \frac{0,05}{0,025} + \frac{1}{9,37}}$$

$$U = 0,465W/(m^2K)$$

$$Q_{d1} = (0,53 \times 0,3)(0,465)(35 - (-15))$$

$$Q_{d1} = 3,697W$$

b) Kalor melalui dinding 2

$$Q_{d2} = (0,26 \times 0,3)(0,465)(35 - (-15))$$

$$Q_{d2} = 1,813W$$

c) Kalor melalui dinding 3

$$Q_{d3} = (0,43 \times 0,25)(0,465)(5 - (-15))$$

$$Q_{d3} = 0,1W$$

d) Kalor melalui dinding 4

$$Q_{d4} = (0,26 \times 0,3)(0,465)(35 - (-15))$$

$$Q_{d4} = 1,813W$$

e) Kalor melalui tutup freezer

$$Q_{tutup} = (0,26 \times 0,53)(0,465)(35 - (-15))$$

$$Q_{tutup} = 3,204W$$

f) Kalor melalui dinding bawah

$$Q_{bwh} = (0,26 \times 0,53)(0,465)(40 - (-15))$$

$$Q_{bwh} = 3,204W$$

g) Beban kalor total melalui dinding freezer

$$Q_{dtot} = Q_{d1} + Q_{d2} + Q_{d3} + Q_{d4} + Q_t + Q_{bwh}$$

$$Q_{dtot} = 3,697 + 1,813 + 0,1 + 1,813 + 3,204 + 3,204$$

$$Q_{dtot} = 13,831W$$

3.2.1.2 Beban Kalor Melalui Pertukaran Udara

Beban kalor melalui pertukaran udara terjadi akibat adanya kebocoran-kebocoran ruang penyimpanan vaksin dan frekuensi buka-tutup penutup kotak. Parameter-parameter yang menentukan besaran beban kalor pertukaran udara ialah volume ruangan, temperatur penyimpanan, temperatur udara lingkungan sekitar dan RH udara lingkungan sekitar.

Sebelumnya sudah diketahui ukuran kotak bagian dalam dari freezer yaitu panjang 190 mm, lebar 430 mm dan tinggi 250 mm, maka volumenya adalah

0,020 m³. Temperatur penyimpanan -15 °C, temperatur lingkungan 35 °C dan RH 60%. Dengan data volume ruangan 0,020 m³ dan temperatur penyimpanan -15 °C (below 0 °C), maka akan didapat laju infiltrasi pada tabel (2-4).

Tabel 3.1 Laju infiltrasi

Room Volume(m ³)	Infiltration Rate (L/s) [5]	
	Rooms Above 0°C	Rooms Below 0°C
7	3.1	2.3
8.5	3.4	2.6
10.	3.7	2.8
15	4.4	3.3

Tabel di atas merupakan sebagian data dari tabel 2-4. Dari tabel tersebut tidak terdapat data untuk volume 0,020 m³ (minimal 7 m³), maka dicari jalan lain dengan cara ekstrapolasi.

<u>Volume (m³)</u>	<u>Laju infiltrasi (below 0 °C)</u>
0,02	x
7	2,3
8,5	2,6

Besarnya nilai x :

$$\frac{7 - 0,020}{8,5 - 0,020} = \frac{2,3 - x}{2,6 - x}$$

$$2,3 = x + \left[\left(\frac{7 - 0,020}{8,5 - 0,020} \right) (2,6 - x) \right]$$

$$2,3 = x + [(0,823)(2,6 - x)]$$

$$2,3 = x + [2,14 - 0,823x]$$

$$2,3 - 2,14 = x - 0,823x$$

$$x = 0,904$$

Jadi besarnya laju infiltrasi 0,904 L/s.

Selanjutnya mencari laju pertukaran udara dengan menggunakan tabel.

Tabel 3.2 Laju pertukaran udara

Storage Room Temp. °C	Inlet Air Temperature. °C									
	5°		10°		25° Inlet Air RH, %		30°		35°	
	70	80	70	80	50	60	50	60	50	60
0°	0.0092	0.0111	0.0142	0.0154	0.0505	0.0562	0.0650	0.0724	0.0820	0.0921
- 5°	0.0193	0.0210	0.0235	0.0247	0.0592	0.0649	0.0736	0.0809	0.0903	0.1004
- 10°	0.0271	0.0288	0.0309	0.0321	0.0662	0.0719	0.0805	0.0877	0.0970	0.1071
- 15°	0.0350	0.0367	0.0383	0.0395	0.0732	0.0788	0.0873	0.0945	0.1037	0.1137
- 20°	0.0427	0.0444	0.0456	0.0468	0.0801	0.0857	0.0941	0.1013	0.1102	0.1203

Tabel di atas merupakan sebagian data dari tabel laju pertukaran udara. Dengan data temperatur -15 °C, temperatur lingkungan 35 °C dan RH 60%, maka didapat laju pertukaran udara 0,1137 kJ/s.

Setelah laju infiltrasi dan laju pertukaran udara didapat maka dengan perkalian laju infiltrasi dengan laju pertukaran udara dihasilkan besarnya beban kalor dari pertukaran udara :

$$\begin{aligned}
 Q_{ac} &= \text{Laju infiltrasi} \times \text{Laju pertukaran udara} \\
 &= 0,904 \text{ L/s} \times 0,1137 \text{ kJ/s} \\
 &= 0,103 \text{ kW} \\
 &= 103 \text{ W}
 \end{aligned}$$

3.2.1.3 Beban Total Kalor Freezer

Beban total kalor freezer penjumlahan dari beban kalor melalui dinding freezer dan beban kalor dari pertukaran udara.

$$\begin{aligned}
 Q_{freezer} &= Q_{dot} + Q_{ac} \\
 Q_{freezer} &= 13,831 + 103 \\
 Q_{freezer} &= 116,831 \text{ W}
 \end{aligned}$$

3.2.2 Beban Pendinginan pada Cooler

3.2.2.1 Beban Kalor Melalui Dinding Cooler

a) Kalor melalui dinding 1

Dari tabel data 3-1A :

$$\begin{aligned}
 Q_{d1} &= (0,53 \times 0,3)(0,465)(35 - 5) \\
 Q_{d1} &= 2,218 \text{ W}
 \end{aligned}$$

b) Kalor melalui dinding 2

$$Q_{d2} = (0,515 \times 0,3)(0,465)(35 - 5)$$

$$Q_{d2} = 2,155W$$

c) Kalor melalui dinding 3

Karena dinding 3 bersebelahan dengan *freezer* dengan temperatur $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ sedangkan temperatur *cooler* $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ maka tidak ada perpindahan kalor dari *freezer* ke *cooler*.

d) Kalor melalui dinding 4

$$Q_{d4} = (0,515 \times 0,3)(0,465)(35 - 5)$$

$$Q_{d4} = 2,155W$$

e) Kalor melalui tutup cooler

$$Q_{tutup} = (0,515 \times 0,53)(0,465)(35 - 5)$$

$$Q_{tutup} = 3,807W$$

f) Kalor melalui dinding bawah

$$Q_{bwh} = (0,515 \times 0,53)(0,465)(40 - 5)$$

$$Q_{bwh} = 4,442W$$

g) Beban kalor total melalui dinding cooler

$$Q_{dtot} = Q_{d1} + Q_{d2} + Q_{d4} + Q_{tutup} + Q_{bwh}$$

$$Q_{dtot} = 2,218 + 2,155 + 2,155 + 3,807 + 4,442$$

$$Q_{dtot} = 14,777W$$

3.2.2.3 *Beban Kalor Melalui Pertukaran Udara*

Besar volume cooler adalah $0,42 \times 0,43 \times 0,25 = 0,045\text{ m}^3$.

Pada tabel 2-4 :

<u>Volume (m^3)</u>	<u>Laju infiltrasi (above $0\text{ }^{\circ}\text{C}$)</u>
0,045	x
7	3,1
8,5	3,4

Besarnya nilai x :

$$\frac{7 - 0,045}{8,5 - 0,045} = \frac{3,1 - x}{3,4 - x}$$

$$3,1 = x + \left[\left(\frac{7 - 0,045}{8,5 - 0,045} \right) (3,4 - x) \right]$$

$$3,1 = x + [(0,823)(3,4 - x)]$$

$$3,1 = x + [2,798 - 0,823x]$$

$$3,1 - 2,798 = x - 0,823x$$

$$x = 1,706$$

Jadi besarnya laju infiltrasi 1,706 L/s.

Selanjutnya mencari laju pertukaran udara :

Temperatur penyimpanan 5 °C, temperatur udara lingkungan sekitar 35 °C dan RH 60%, pada tabel 2-3 didapat laju pertukaran udara 0,081 kJ/s.

Besarnya beban kalor pertukaran udara :

$$Q_{ac} = \text{Laju infiltrasi} \times \text{Laju pertukaran udara}$$

$$= 1,706 \text{ L/s} \times 0,081 \text{ kJ/s}$$

$$= 0,138 \text{ kW}$$

$$= 138 \text{ W}$$

3.2.2.4 Beban Total Kalor Cooler

Beban kalor total *cooler* penjumlahan dari beban kalor melalui dinding *cooler* dan beban kalor dari pertukaran udara.

$$Q_{cooler} = Q_{dot} + Q_{ac}$$

$$Q_{cooler} = 14,777 + 138$$

$$Q_{cooler} = 152,777 \text{ W}$$

3.3 Pemilihan Komponen Sistem Refrigerasi

Dari data sebelumnya, beban total refrigerasi 446,055 watt, temperatur evaporator -20 °C, temperatur kondenser 35 °C dan refrigeran yang digunakan R 600a maka dengan menggunakan software RS+3, yaitu software untuk memilih kompresor Danfoss (gambar 4.1), kompresor yang sesuai adalah tipe BD35K dengan code number 100Z0211.

Danfoss RS+ 3 Version: 3.3 Database version: 3.4 Compressor Selection

RS+3™

Selection mode: **Compressors** **D.C. Compressors**
 Hermetic Compressors P, T, F, N, S, G
 Reciprocating Compressors
 Scroll Compressors (Air Conditioning)
 Scroll Compressors (Refrigeration)

Model Selection Cooling Capacity

Model Selection: **BD100CN** W

Refrigerant: **All**
 Mains Frequency: **D.C.**
 Mains Voltage (V): **All**

Conditions: **User Defined**
 Evaporating temp. (dew): **-20** °C
 Condensing temp. (dew): **35** °C
 Evaporator Superheat: **5** K
 Total Superheat: **5** K
 Subcooling: **0** K

Search

Model	Code number	Refrigerant	Phases	Mains voltage (V)	Capacity (W)	Power input	COP	Current	Speed	Match
BD35K	10120211	R600a	0	0-0	63	45	1,39	3,75	3.500	14%
BD35K	10120211	R600a	0	0-0	54	38	1,44	3,15	3.000	12%
BD35K	10120211	R600a	0	0-0	45	30	1,52	2,49	2.500	10%
BD35K	10120211	R600a	0	0-0	37	24	1,57	1,98	2.000	8%
BD35F	10120200	R134a	0	0-0	78	44	1,76	3,69	3.500	18%
BD50F	10120203	R134a	0	0-0	95	65	1,46	5,36	3.500	21%
BD250GH	10120400	R134a	0	0-0	116	86	1,35	7,14	4.400	26%
BD80F	10120280	R134a	0	0-0	137	94	1,46	7,81	4.400	31%
BD100CN	10120401	R290	0	0-0	150	93	1,54	8,16	4.400	34%
BD250/250GH	10120500	R134a	0	0-0	232	171	1,35	14,28	4.400	52%
BD250/250GH-10120500	10120500	R134a	0	0-0	202	143	1,41	11,93	3.800	45%
BD250/250GH-10120500	10120500	R134a	0	0-0	168	114	1,47	9,47	3.100	38%
BD250/250GH-10120500	10120500	R134a	0	0-0	141	92	1,52	7,70	2.500	32%

Gambar 3.5 Tampilan software Danfoss untuk pemilihan alat



BAB IV

PENGUJIAN *GREEN MEDICAL BOX*

4.1 TUJUAN PENGUJIAN

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menguji unjuk kerja sistem yang telah dibuat. Ini dapat terlihat dari beberapa indikator yaitu tercapai tidaknya temperatur rancangan, waktu yang diperlukan untuk mencapai temperature *set point* nya.

4.2 KOMPONEN ALAT PENGUJIAN

4.2.1 Thermostat

Thermostat berfungsi untuk mengukur temperatur di dalam kabin.

4.2.2 Termometer *glass*

Termometer *glass* digunakan untuk kalibrasi DANC

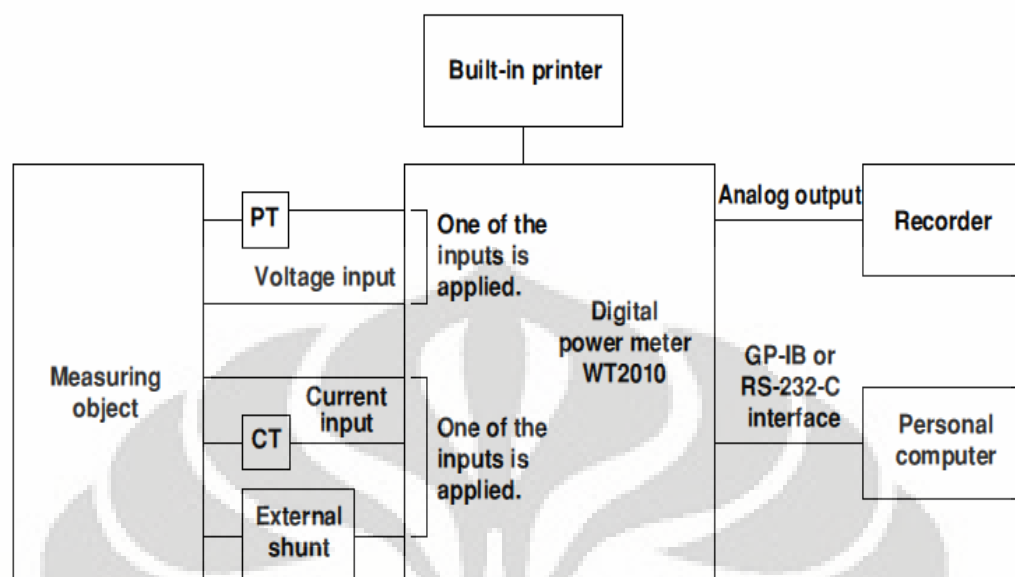
4.2.3 *Power meter*



Gambar 4.1 Power Meter

Power meter digunakan untuk mengukur tegangan dan arus yang digunakan oleh *green medical box*.

4.2.3.1 Sistem kerja power meter.



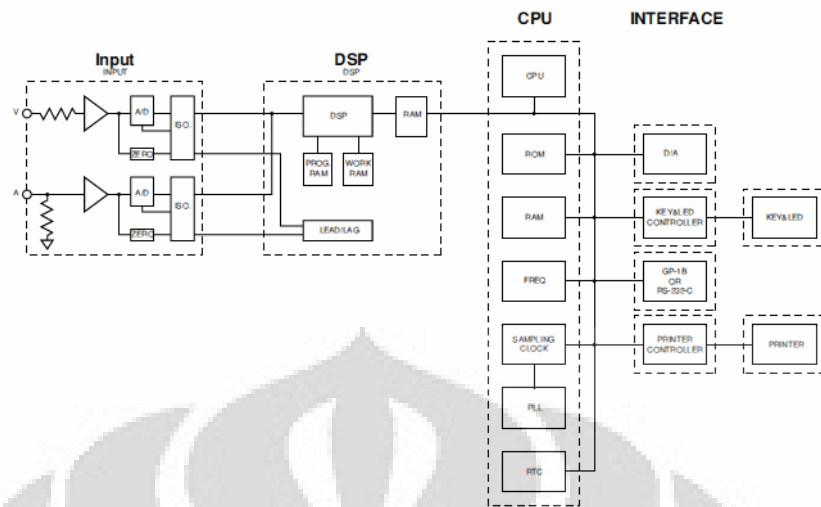
Gambar 4.2 Skema cara kerja *power meter*

Power meter digital WT1010 terdiri dari beberapa bagian: masukan DSP, CPU dan bagian tampilan. Bagian masuk terdiri sirkuit masukan voltase dan sirkuit masukan arus, dan mereka diisolasi satu sama lain. Pada sirkuit tegangan input, voltase yang terukur dinormalisasi oleh sebuah pembagi tegangan dan penguat operasional, kemudian dikirim A/D converter.

Pada sirkuit masuk arus, arus masukan di konversi menjadi tegangan oleh sebuah hambatan dalam, diperbesar dan dinormalisasi oleh sebuah penguat operasional, dan kemudian dikirim ke A/D Converter.

Keluaran dari A/D converter pada sirkuit masukan arus dan masukan tegangan dikirim menuju DSP melalui sebuah photo-isolator, yang digunakan untuk menyediakan insulasi antara sirkuit masuk arus (tegangan) dan DSP. DSP melaksanakan komputerasi/ perhitungan dari tegangan, arus, daya aktif, daya nyata, daya reaktif, factor daya dan sudut fasa, menggunakan data keluaran dari A/D converter.

Hasil perhitungan dikirim dari DSP menuju CPU, dimana dilakukan perhitungan terhadap kisaran konversi, perhitungan sigma dan persekalaan, dan hasilnya kemudian ditampilkan pada instrument tampilan.



Gambar 4.3 Diagram konversi data pada *power meter*

Power meter yang digunakan pada alat uji memiliki spesifikasi, sebagai berikut :

Pabrikan : Yokogawa
Tipe : WT1010

4.2.4 Stop watch

Stop watch digunakan untuk pengambilan data waktu pengukuran. Data diambil untuk masing-masing tahapan percobaan sampai temperatur *set point* kabin tercapai. Jika tidak tercapai waktu pengukuran dibatasi selama 1 jam.

4.2.5.DA&C (Data akusisi)

Data akusisi digunakan untuk menerima sinyal atau *analog output* dari alat ukur, yaitu *termocouples*. Data *analog* yang diterima data akusisi dari alat ukur diubah menjadi data digital, sehingga mampu dibaca dan disimpan komputer .

Data akusisi terdiri dari dua bagian yaitu *analog input module* dan *converter*. *Analog input module* merupakan alat yang menangkap sinyal dari alat ukur, sedangkan *converter* merupakan alat yang menerima, mengubah sinyal dan menguatkan keluaran *Analog input module* agar dapat diterima komputer melalui *communication port*. Pada alat uji Green medical box terdapat satu data akusisi,

yaitu data akusisi untuk menerima keluaran *thermocouples* berupa mV dan *pressure transmitter* berupa mA.

Data akusisi pada alat uji memiliki spesifikasi, sebagai berikut :

	DA&C 1
Pabrikan	Advantech
Tipe <i>analog input module</i>	4018 ⁺
Tipe <i>converter</i>	4520
<i>Converter connection</i>	RS232
<i>Input accepted :</i> Thermocouples : Milivolt : Volt : Current input :	J, K, T, E, R, S and B - - - ± 20 mA, 4~20 mA
Rata-rata sampel	10 sampel/ detik
Jumlah channel	8
<i>Accuracy</i>	$\pm 0.1\%$
<i>Power supply</i>	10-30 Vdc



(a)



(b)

Gambar 4.4 (a) Converter, (b) Input Analog Module

4.2.6. Power supply

Power supply digunakan untuk memberikan *supply* tegangan pada instrumen dan alat ukur. *Supply* tegangan diperlukan untuk memberikan tegangan untuk data akusisi. Besar tegangan *supply* untuk kedua komponen tersebut tidak boleh melebihi tegangan maksimal komponen.

Power supply yang digunakan pada alat uji memiliki spesifikasi, sebagai berikut :

Pabrikan	: Farnell
Tipe	: D30 2T
Jenis	: Digital dual output power supply
Output	: arus (A) dan tegangan (V)



Gambar 4.5 Power supply

4.2.7. Komputer

Komputer pada alat Green medical box digunakan sebagai alat penerima sinyal dari data akusisi dan penyimpan data pengujian. Komputer yang digunakan memiliki port RS232 dan terinstal perangkat lunak ADAM.Net Utility. Secara umum komputer yang digunakan pada alat uji memiliki spesifikasi, sebagai berikut :

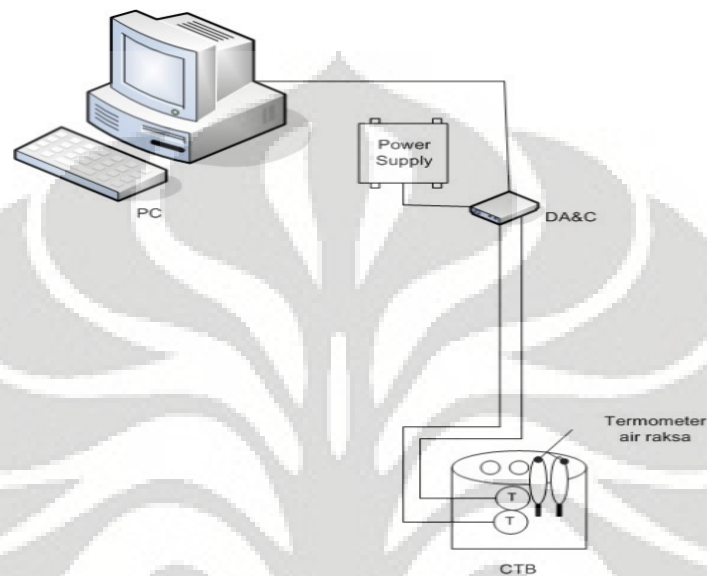
Processor	: Intel Pentium III 498 MHz
Memory	: 384 MB of RAM
OS	: Microsoft XP service pack 2
Port	: 2 x RS232
Perangkat lunak	: Microsoft Office 2003, ADAM.Net Utility

4.2.8. Thermocouple

Thermocouple yang digunakan pada kedua adsorber, kondensor, reservoir, dan evaporator menggunakan *thermocouple* tipe k yang memiliki kisaran temperature -200°C - 1350°C .

4.2.8.1 Kalibrasi *thermocouple*

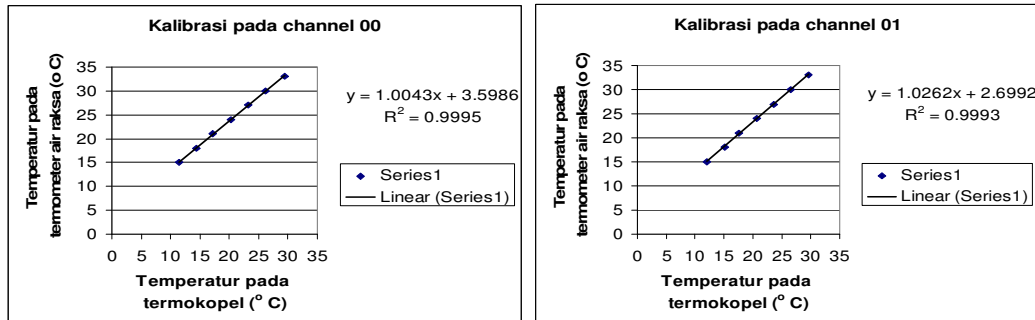
Pada kalibrasi alat ukur temperatur dengan menggunakan *thermocouples* dilakukan kalibrasi pembacaan *termocouples* dengan skala temperatur standar. Gambar skematik kalibrasi *thermocouples*, sebagai berikut :



Gambar 4.6 : Skematik verifikasi *thermocouples*

Kalibrasi dilakukan dengan mengambil data pembacaan temperatur *thermocouples* terhadap pembacaan skala temperatur air raksa. Proses kalibrasi dilakukan dengan mengatur temperatur *circulating thermal bath* (CTB) pada temperatur 15.3°C, 18.3 °C, 21.3 °C, 24.3 °C, 27.3 °C, 30.3 °C dan 33.3 °C dimana termometer air raksa terbaca 15°C, 18 °C, 21 °C, 24 °C, 27 °C, 30 °C dan 33 °C. Kemudian data temperatur dari pembacaan *thermocouple* 1 dan *thermocouple* 2 yang terbaca komputer dicatat.

Data perbedaan termometer air raksa dan *thermocouple* digambar dalam grafik. Grafik yang terbentuk adalah garis linier yang didapatkan dari perbandingan pembacaan *thermocouples* dan pembacaan termometer air raksa, maka didapatkan persamaan matematis garis linier. Persamaan matematis tersebut yang digunakan untuk kalibrasi pembacaan *thermocouples*. Gambar grafik hasil kalibrasi *thermocouples* channel 00 dan 01, sebagai berikut :



(a)

(b)

Gambar 4.7 : a). Hasil verifikasi *thermocouples* channel 00

b). Hasil verifikasi *thermocouples* channel 01

4.2.9 Pressure Gauge

Pressure Gauge digunakan untuk mengukur tekanan pada *suction* dan *discharge* kompresor.

4.3 PROSEDUR PENGAMBILAN DATA

4.3.1 Persiapan pengambilan data

1. Pastikan semua *instrument* penunjang telah siap dan semua *sensor* telah terpasang dengan baik sesuai dengan posisinya masing-masing.
2. Setting temperatur *set point cooler* (*digital thermostat*) yaitu +5 °C.
3. Setting temperatur *set point freezer* (*digital thermostat*) yaitu -15 °C.
4. Pastikan steker yang terhubung pada power meter sudah terpasang baik.
5. Hubungkan steker green medical box ke socket PLN.
6. Hubungkan steker power supply ke socket PLN
7. Hubungkan steker pada power meter ke socket PLN
8. Hubungkan Steker computer ke socket PLN
9. Hidupkan saklar power meter.
10. Hidupkan saklar *power supply*
11. Nyalakan computer
12. Aktifkan program Adam yang ada di komputer.
13. Hidupkan saklar utama untuk menghidupkan kompresor dan hidupkan saklar *cooler* untuk pendinginan *cooler* atau hidupkan saklar *freezer*

untuk pendinginan *freezer*. Jika mau mendinginkan kedua-duanya tekan kedua saklar tersebut.

14. Untuk pengambilan data berikutnya sebaiknya, *Green Medical Box* dikondisikan kembali ke kondisi awal.

4.3.2 Pengambilan Data

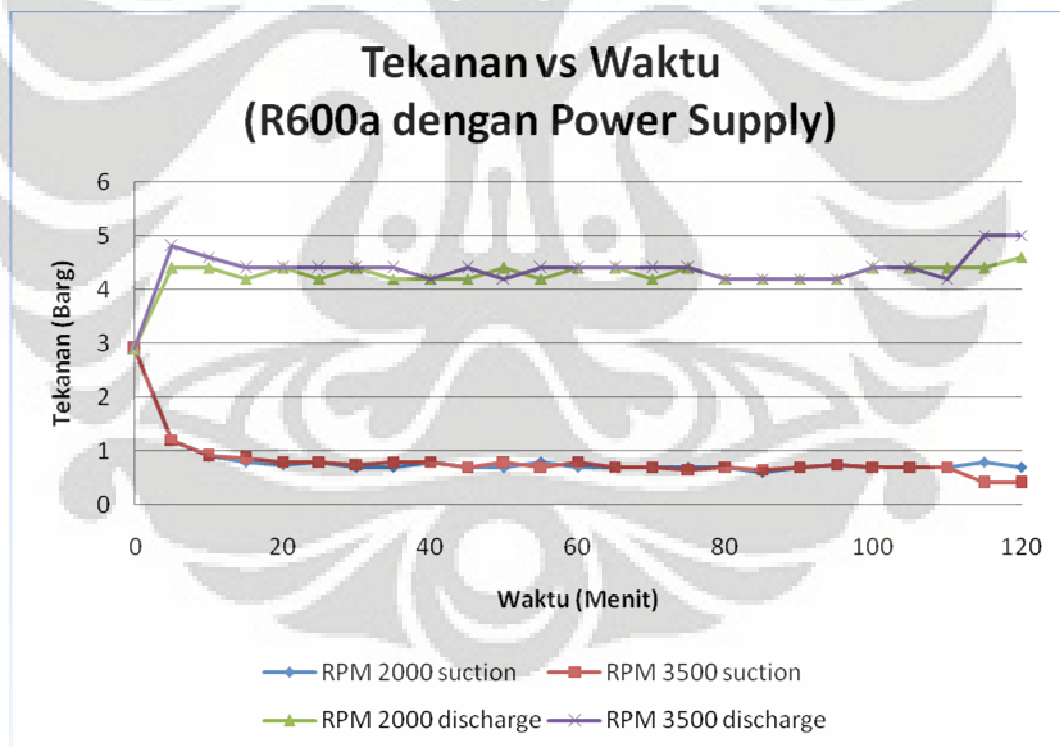
1. Pengambilan dilakukan dengan menghidupkan *cooler* dan menghidupkan *freezer*.
2. Mencatat temperatur dan tekanan *discharge*, tekanan *suction*, temperatur *evaporator* dan kabin serta arus listrik kompresor untuk masing-masing tahapan.
3. Mencatat resapan daya yang ada di power meter
4. Pengambilan data dilakukan setiap 5 menit sampai waktu maksimal 2 jam.
5. Setiap selesai tahapan pengambilan data, sistem harus kembali ke kondisi awal.

BAB V HASIL DAN ANALISA

4.3 PENGUJIAN *GREEN MEDICAL BOX* MENGGUNAKAN R600A DAN SUMBER LISTRIK AC 220V (PLN)

Pengambilan data ini dilakukan dengan menghubungkan sumber listrik 220VAC ke *DC power supply* kemudian keluaran power supply ini akan dihubungkan ke *digital power meter* YT1010, sehingga kita bisa melihat tampilan tegangan, arus dan daya selama sistem bekerja. Ada dua kecepatan motor kompresor yang digunakan yaitu 2000 rpm dan 3500 rpm. Set poin pada cooler adalah +5 °C dan -15 °C pada freezer.

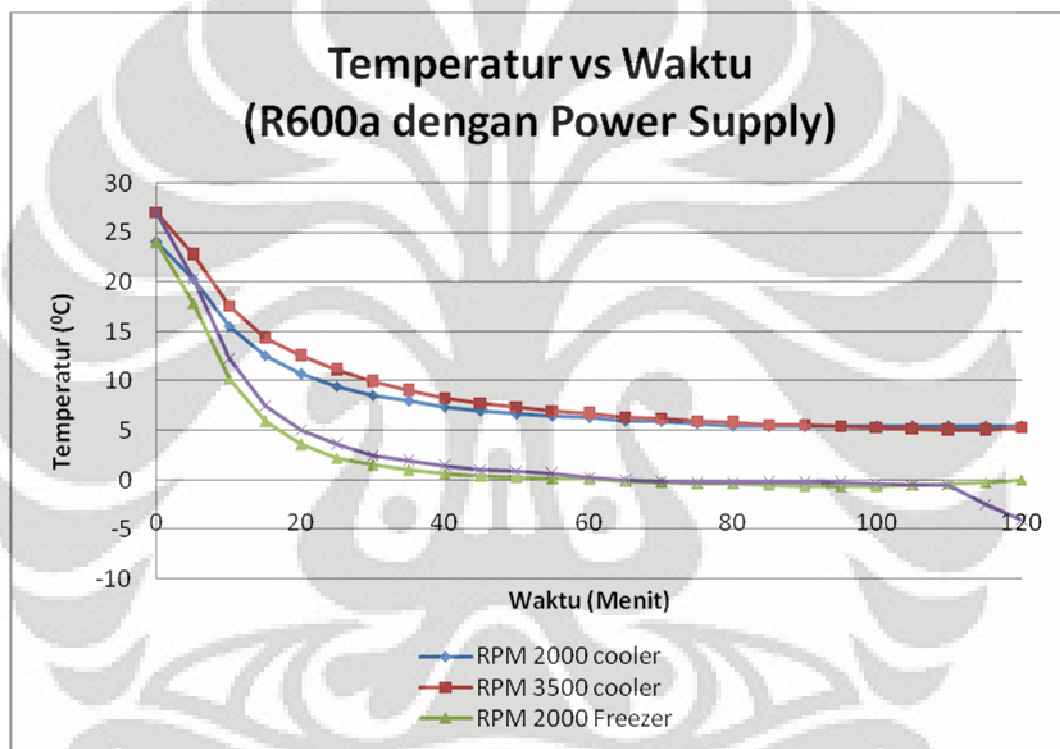
4.3.1 Perbandingan Tekanan terhadap Waktu



Gambar 5.1 Grafik Tekanan (barg) VS Waktu (menit) Menggunakan R600a dan Sumber Listrik AC 220V (PLN)

Dari grafik diatas terlihat bahwa tekanan discharge menggunakan kecepatan motor 3500 rpm cenderung lebih besar daripada menggunakan kecepatan 2000 rpm. Sedangkan untuk tekanan suction hampir sama persis hanya berbeda pada menit ke-115 dan 120. Perbedaan ini disebabkan karena dengan rpm yang berbeda akan menyebabkan perbedaan daya hisap dan daya tekan kompresor terhadap sistem refrigerasi *green medical box* ini.

4.3.2 Perbandingan temperatur terhadap waktu

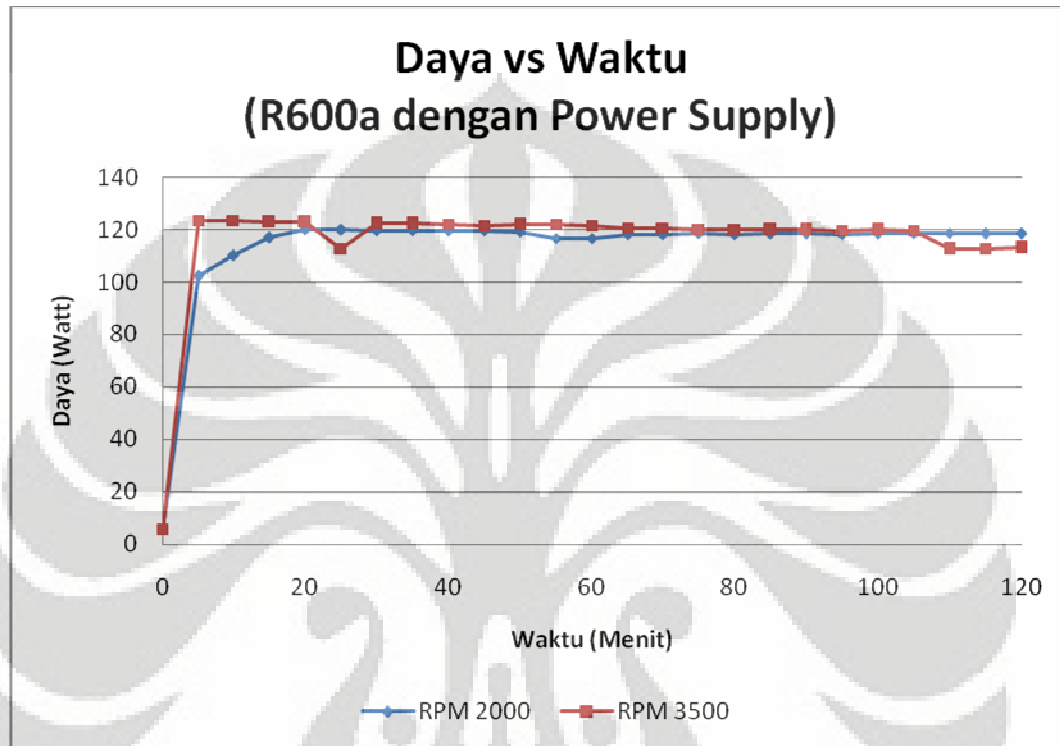


Gambar 5.2 Grafik Temperatur (°C) VS Waktu (menit) Menggunakan R600a dan Sumber Listrik AC 220V (PLN)

Dari grafik diatas terlihat bahwa temperatur pada cooler lebih cepat turun menggunakan kecepatan putaran motor 2000 rpm, begitu juga pada freezer, hal ini dikarenakan temperatur kondisi awal pengujian berbeda. Temperatur awal pengujian menggunakan kecepatan 2000 rpm lebih rendah 3 °C dibanding temperatur awal pengujian menggunakan kecepatan 3500 rpm. Tetapi temperatur akhir yang dicapai pengujian menggunakan kecepatan 3500 rpm lebih rendah

dibanding menggunakan kecepatan 2000 rpm. Ini dapat kita lihat dari temperatur akhir freezer.

4.3.3 Perbandingan Daya terhadap waktu



Gambar 5.3 Grafik Daya (Watt) VS Waktu (menit) Menggunakan R600a dan Sumber Listrik AC 220V (PLN)

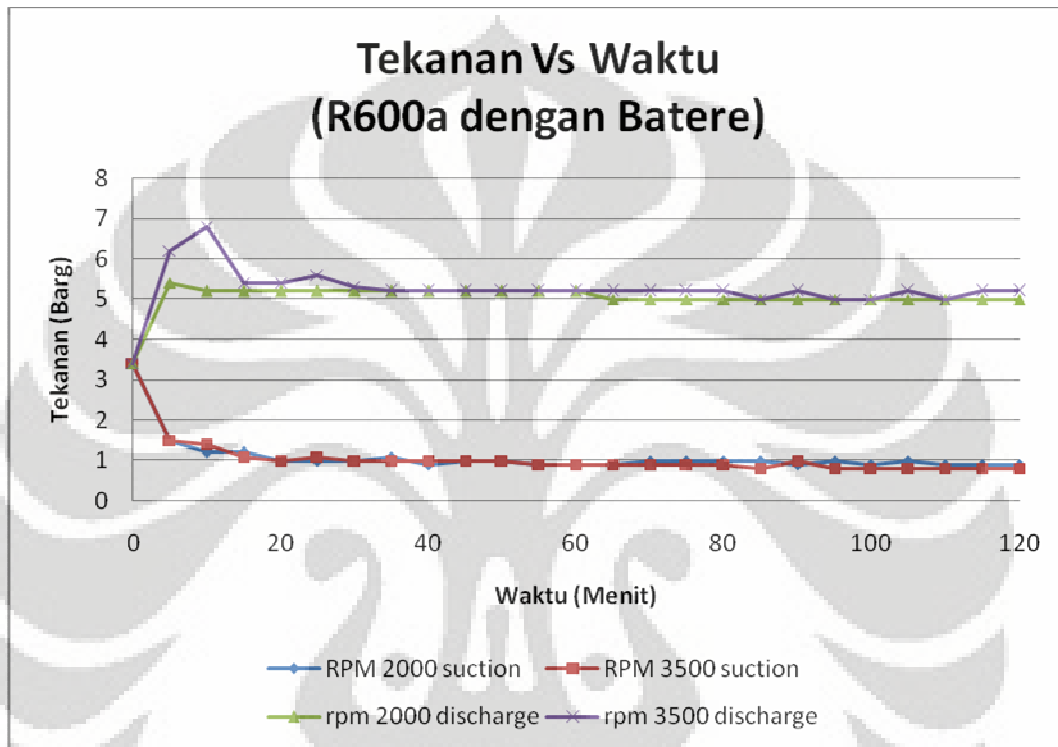
Dari grafik diatas dapat kita lihat bahwa rata-rata daya yang diserap dengan menggunakan kecepatan putaran motor 3500 rpm cenderung lebih besar daripada menggunakan kecepatan 2000 rpm. Tetapi perbedaan daya yang diserap ini tidaklah besar

4.4 PENGUJIAN *GREEN MEDICAL BOX* MENGGUNAKAN R600A DAN SUMBER LISTRIK BATERE 12 VDC

Pengambilan data ini dilakukan dengan menghubungkan sumber listrik dari batere 12 VDC kemudian keluaran batere ini akan dihubungkan ke *digital power meter* YT1010, sehingga kita bisa melihat tampilan tegangan, arus dan

daya selama sistem bekerja. Ada dua kecepatan motor kompresor yang digunakan yaitu 2000 rpm dan 3500 rpm. Set poin pada cooler adalah $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ pada freezer.

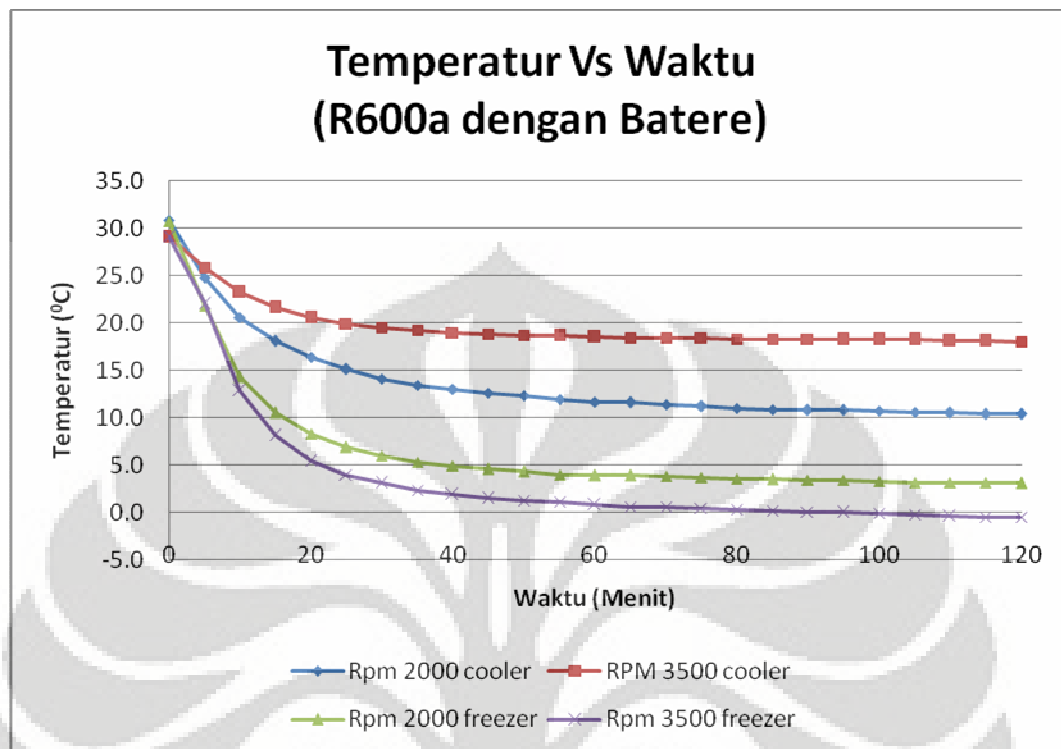
4.4.1 Perbandingan Tekanan terhadap Waktu



Gambar 5.4 Tekanan (barg) VS Waktu (menit) Menggunakan R600a dan Sumber Baterie 12V DC

Dari grafik diatas terlihat bahwa tekanan discharge dengan menggunakan kecepatan motor 3500 rpm cenderung lebih besar daripada menggunakan kecepatan 2000 rpm. Sedangkan untuk tekanan suction hampir sama

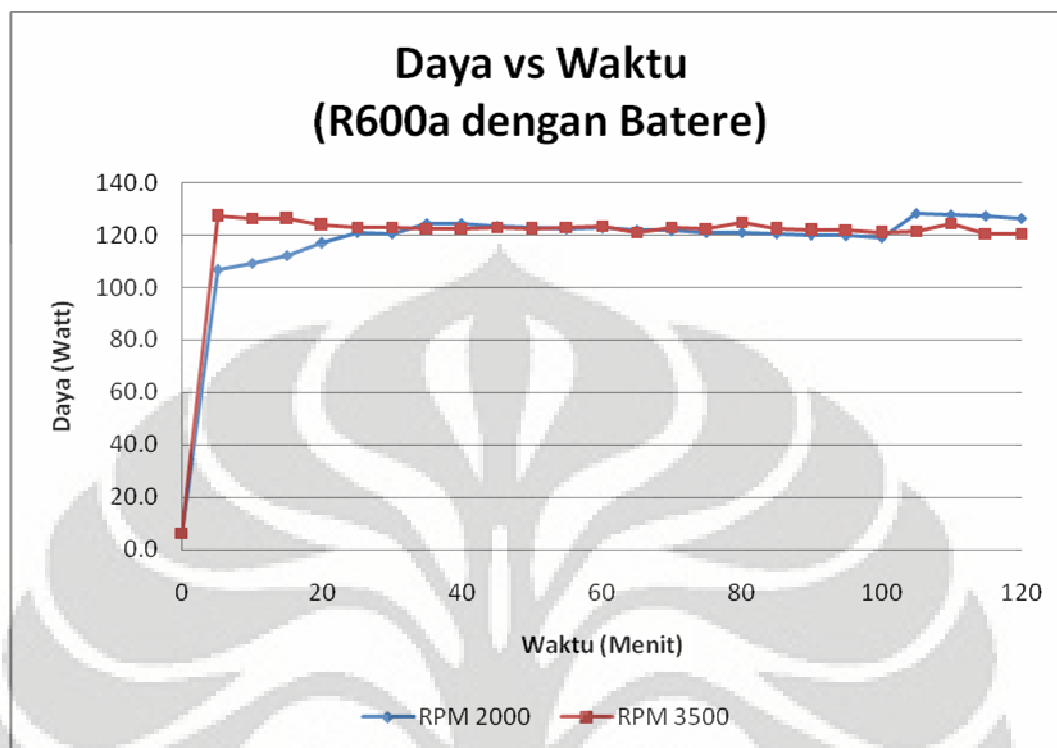
4.4.2 Perbandingan Temperatur terhadap Waktu



Gambar 5.5 Grafik Temperatur (°C) VS Waktu (menit) Menggunakan R600a dan Sumber Listrik Batere 12 VDC

Dari grafik diatas terlihat bahwa temperatur pada cooler dengan putaran 3500 rpm jauh lebih tinggi daripada temperature cooler yang menggunakan putaran 2000 rpm. Hal ini bisa disebabkan oleh adanya masalah pada kapiler masukan cooler. Kemungkinan kedua adalah salah satu bagian masukan cooler tersumbat oleh pembekuan uap air yang ada pada sistem. Sedangkan temperatur freezer dengan putaran 3500 rpm lebih rendah daripada temperatur freezer yang menggunakan putaran 2000 rpm

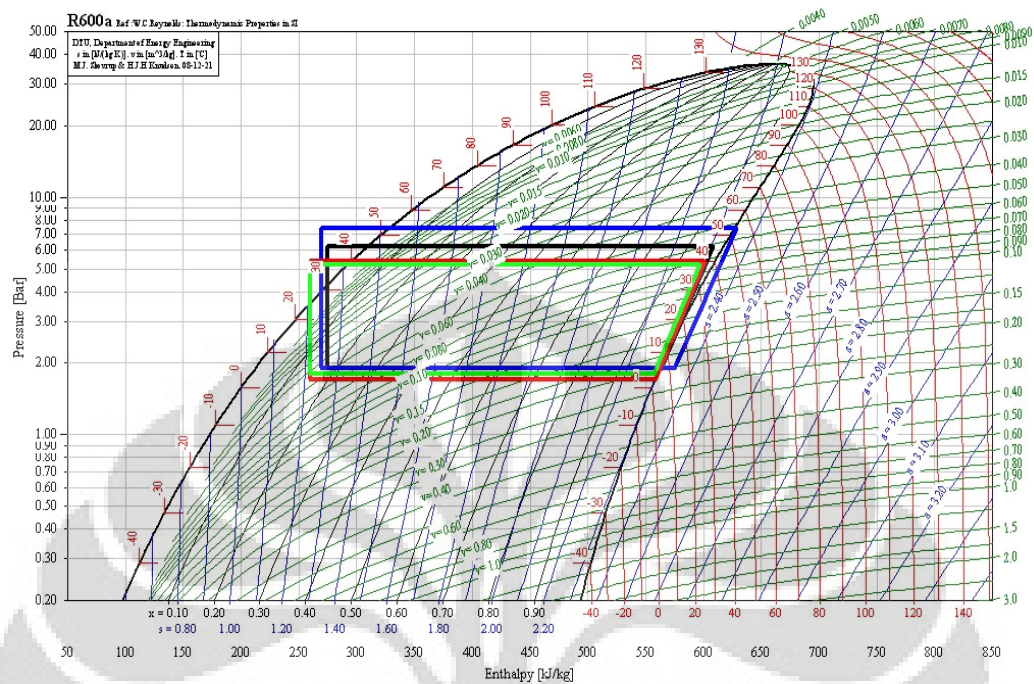
4.4.3 Perbandingan Daya terhadap Waktu



Gambar 5.6 Grafik Daya (Watt) VS Waktu (menit) Menggunakan R600a dan Sumber Listrik AC 220V (PLN)

Dari grafik diatas dapat kita lihat bahwa rata-rata daya yang diserap dengan menggunakan kecepatan putaran motor 3500 rpm cenderung lebih besar daripada menggunakan kecepatan 2000 rpm. Tetapi perbedaan daya yang diserap ini tidak konstan. Pada menit ke-105 hingga menit ke-120 serapan daya menggunakan putaran 2000 rpm justru lebih besar. Pola serapan daya yang tidak konsisten bisa disebabkan karena electronic unit pada kompresor BD35K dilengkapi dengan AEO (Adaptive Energy Optimization) yang mengatur sistem agar merubah kecepatan putaran motor kompresornya sesuai dengan beban pendinginan yang ada

4.5 DIAGRAM P-H DAN COP



Gambar 5.7 Perbandingan COP menggunakan diagram P-H

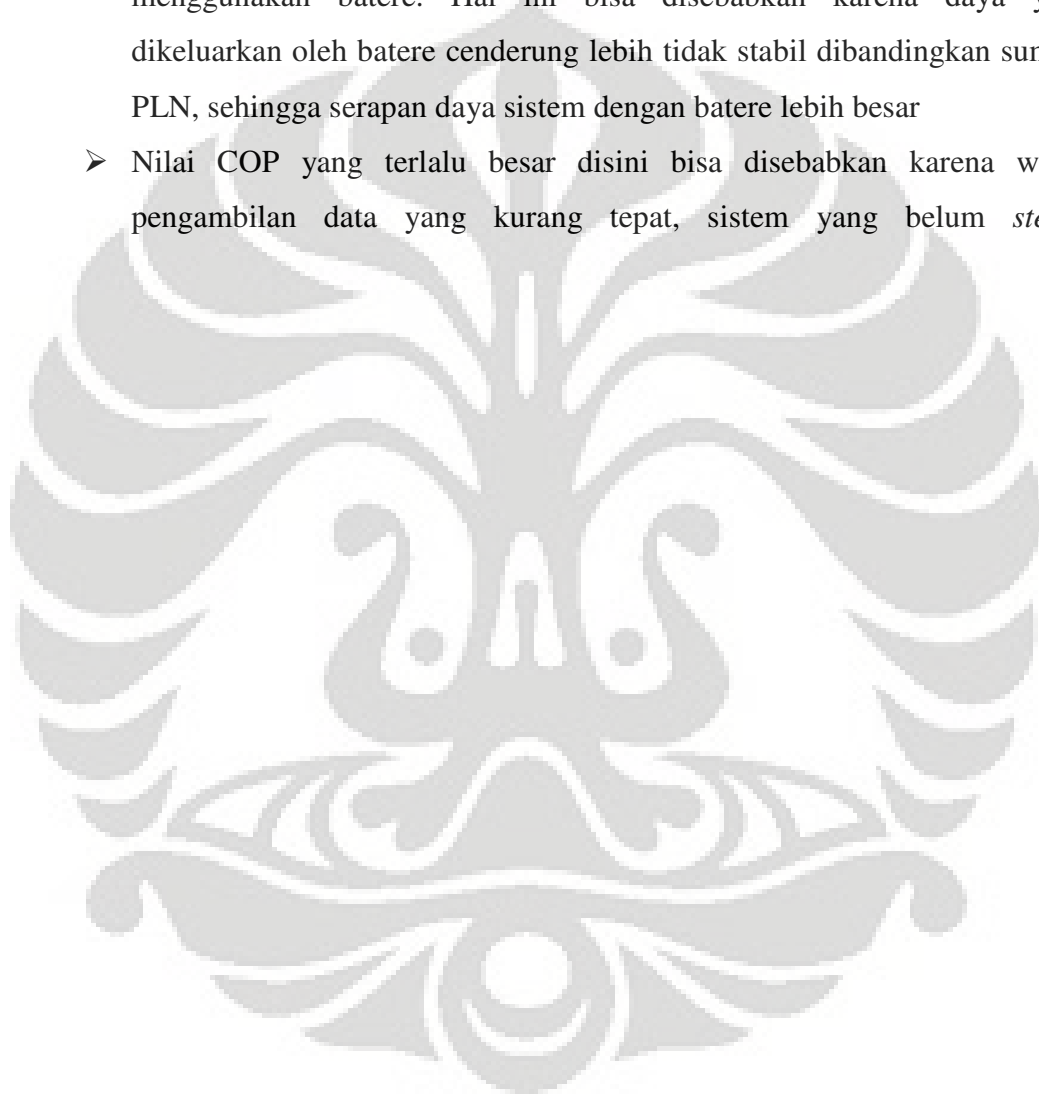
Data diambil pada menit 55 pada tiap pengujian. Pengeplotan dilakukan menggunakan software *coolpack* dengan asumsi tidak ada rugi mayor maupun minor pada sistem pemipaan.

Data ini diambil pada menit ke-55 pada tiap percobaan. Kemungkinan besar sistem belum *steady* sehingga karakteristik sistem yang ditampilkan disini belum tentu mewakili karakteristik sistem yang sebenarnya. Kondisi temperatur lingkungan pada tiap percobaan juga tidak sama sehingga juga berpotensi untuk menimbulkan kesalahan pada data yang didapatkan.

- Sumber arus PLN 220 VAC dengan putaran 2000 rpm = Hijau
COP= 7.44
- Sumber arus PLN 220 VAC dengan putaran 3500 rpm = Merah
COP= 6.8
- Sumber arus batere 12 VDC dengan putaran 2000 rpm = Hitam
COP= 6.4
- Sumber arus batere 12 VDC dengan putaran 3500 rpm = Biru
COP= 5.7

Dari data COP yang dipaparkan di atas dapat kita interpretasikan bahwa:

- COP sistem dengan kecepatan putaran motor 3500 rpm lebih rendah daripada sistem dengan putaran 2000 rpm. Ini disebabkan karena sistem dengan putaran 3500 rpm menyerap lebih besar daripada menggunakan putaran 2000 rpm sedangkan beban pendinginannya sama.
- COP sistem dengan Sumber listrik PLN lebih tinggi daripada yang menggunakan batere. Hal ini bisa disebabkan karena daya yang dikeluarkan oleh batere cenderung lebih tidak stabil dibandingkan sumber PLN, sehingga serapan daya sistem dengan batere lebih besar
- Nilai COP yang terlalu besar disini bisa disebabkan karena waktu pengambilan data yang kurang tepat, sistem yang belum *steady*



BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian *Green Medical Box* ini maka dapat disimpulkan bahwa :

1. COP sistem dengan kecepatan putaran motor 3500 rpm lebih rendah daripada sistem dengan putaran 2000 rpm. Ini disebabkan karena sistem dengan putaran 3500 rpm menyerap lebih besar daripada menggunakan putaran 2000 rpm sedangkan beban pendinginannya sama.
2. COP sistem dengan Sumber listrik PLN lebih tinggi daripada yang menggunakan batere. Hal ini bisa disebabkan karena daya yang dikeluarkan oleh batere cenderung lebih tidak stabil dibandingkan sumber PLN, sehingga serapan daya sistem dengan batere lebih besar
3. Daya maksimum yang diserap oleh sistem dengan kecepatan putaran motor 3500 rpm cenderung lebih besar daripada yang diserap oleh sistem dengan kecepatan putaran motor 2000 rpm. Tetapi pola ini tidaklah selalu konstan karena sistem dilengkapi dengan AEO (*Adaptive Energy Optimization*) *Technology* yang secara otomatis mengatur putaran motor kompresor sesuai dengan beban pendinginan yang ada
4. Temperatur set poin pada cooler dan freezer belum tercapai selama 120 menit percobaan. Ini bisa disebabkan oleh banyaknya rugi-rugi termal yang dialami sistem.

6.2 SARAN

Pada pengujian *Green Medical Box* ini penulis menyarankan beberapa hal untuk memperbaiki kinerja sistem yaitu

1. Memperbaiki pengelasan yang membungkus insulasi karena pada *Green Medical box* ini hanya menggunakan las titik sehingga ada *heat transfer* yang cukup besar yang masuk ke kabin sehingga menambah beban kompresor.
2. Sebaiknya ukuran kabin *cooler* dan *freezer* diperkecil atau mengganti kompresor dengan kapasitas yang lebih besar sesuai dengan beban yang harus diatasi jika *cooler* dan *freezer* bekerja bersamaan.
3. Sebaiknya konstruksi sistem diperbaiki sehingga lebih mudah untuk melakukan *troubleshooting*
4. Sebaiknya jumlah *thermocouple* yang dipasang pada sistem ditambah sehingga didapatkan lebih banyak data yang memudahkan proses analisa
5. Jika menggunakan batere sebaiknya tidak dalam posisi *stand alone* karena jika daya pada batere tidak mencukupi untuk sistem maka akan mengurangi performa sistem secara drastis. Sebaiknya batere dalam posisi selalu terisi ulang.
6. Pada proses pengambilan data yang telah kami lakukan terlihat indikasi bahwa panjang kapiler yang digunakan tidak sesuai dengan yang dibutuhkan oleh sistem, sehingga dianjurkan untuk merancang kembali ukuran kapiler agar didapatkan performa sistem yang lebih baik

DAFTAR REFERENSI

- [1] Althouse, Andrew D., Turnquist, Carl H., and Bracciano, Alfred F., *Modern Refrigeration and Air Conditioning*, Published By The Goodheart-Willcox Company Inc., South Holland, Illinois, 1982.
- [2] Arora, CP, Indian Institute of Technology, *Refrigeration and Air Conditioning*, Tata McGraw-Hill Publishing Company limited, New Delhi, 1983
- [3] Dossat, Roy J., *Principles of Refrigeration*, SI version, Second Edition, Prentice Hall Career & Technology Inc., New Jersey, 1991.
- [4] Handoko, Alat kontrol Mesin Pendingin, PT. Ichtiar Baru, Jakarta, 1987
- [5] Jones, W Jerold, Stoecker, F Wilbert, terj. Supratman Hara, *Refrigeran dan Pengkondisian udara*, Edisi kedua, Erlangga, Jakarta, 1994
- [6] www.danfoss.com/compressors



LAMPIRAN

Data menggunakan RPM 2000

Menit ke-	P_{suction} (barg)	$P_{\text{discharge}}$ (barg)	T_{freezer} ($^{\circ}\text{C}$)	T_{cooler} ($^{\circ}\text{C}$)	V volt	I (A)	P (Watt)
0	2.9	2.9	24.0	24.0	11.615	0.505	5.860
5	1.2	4.4	17.9	20.3	10.794	9.522	102.200
10	0.9	4.4	10.2	15.5	10.559	10.378	110.000
15	0.8	4.2	5.9	12.6	10.378	11.223	116.800
20	0.8	4.4	3.6	10.7	10.574	11.367	120.100
25	0.8	4.2	2.2	9.5	10.563	11.349	119.800
30	0.7	4.4	1.5	8.6	10.556	11.312	119.700
35	0.7	4.2	1.0	8.0	10.554	11.319	119.500
40	0.8	4.2	0.6	7.4	10.540	11.330	119.400
45	0.7	4.2	0.4	7.0	10.530	11.310	119.400
50	0.7	4.4	0.3	6.7	10.530	11.300	119.000
55	0.8	4.2	0.2	6.5	10.380	11.190	116.600
60	0.7	4.4	0.1	6.3	10.390	11.210	116.600
65	0.7	4.4	-0.1	6.0	10.490	11.240	118.000
70	0.7	4.2	-0.2	5.9	10.480	11.280	118.000
75	0.7	4.4	-0.4	5.7	10.490	11.290	118.500
80	0.7	4.2	-0.4	5.5	10.480	11.250	118.000
85	0.6	4.2	-0.5	5.4	10.470	11.300	118.300
90	0.7	4.2	-0.6	5.4	10.470	11.280	118.300
95	0.8	4.2	-0.6	5.4	10.470	11.280	118.100
100	0.7	4.4	-0.6	5.4	10.470	11.290	118.300
105	0.7	4.4	-0.5	5.4	10.460	11.320	118.600
110	0.7	4.4	-0.4	5.4	10.460	11.320	118.500
115	0.8	4.4	-0.2	5.4	10.463	11.329	118.400
120	0.7	4.6	0.0	5.4	10.471	11.282	118.300

Data menggunakan RPM 3500

Menit ke-	P _{suction} (barg)	P _{discharge} (barg)	T _{freezer} (°C)	T _{cooler} (°C)	V volt	I (A)	P (Watt)
0	2.9	2.9	27.0	27.0	11.615	0.505	5.860
5	1.2	4.8	20.3	22.7	10.678	11.590	123.550
10	0.9	4.6	12.3	17.6	10.670	11.550	123.330
15	0.9	4.4	7.5	14.4	10.660	11.490	122.670
20	0.8	4.4	5.1	12.5	10.660	11.510	122.700
25	0.8	4.4	3.6	11.1	10.640	11.510	112.560
30	0.8	4.4	2.5	9.9	10.600	11.500	122.240
35	0.8	4.4	1.9	9.0	10.630	11.500	122.220
40	0.8	4.2	1.4	8.3	10.630	11.440	121.840
45	0.7	4.4	1.1	7.8	10.630	11.450	121.630
50	0.8	4.2	0.9	7.4	10.630	11.440	121.760
55	0.7	4.4	0.6	7.0	10.620	11.480	121.870
60	0.8	4.4	0.3	6.7	10.602	11.454	121.450
65	0.7	4.4	0.0	6.4	10.562	11.407	120.480
70	0.7	4.4	-0.1	6.2	10.565	11.423	120.470
75	0.7	4.4	-0.2	6.0	10.562	11.365	120.110
80	0.7	4.2	-0.2	5.8	10.565	11.378	120.140
85	0.7	4.2	-0.3	5.6	10.549	11.358	119.830
90	0.7	4.2	-0.3	5.6	10.545	11.373	119.830
95	0.8	4.2	-0.3	5.5	10.537	11.354	119.540
100	0.7	4.4	-0.4	5.3	10.536	11.357	119.730
105	0.7	4.4	-0.5	5.2	10.540	11.346	119.590
110	0.7	4.2	-0.5	5.0	10.591	10.600	112.530
115	0.4	5.0	-2.4	5.0	10.636	10.606	112.780
120	0.4	5.0	-4.0	5.3	10.640	10.581	112.970



Compressor sectional view

