



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI EKSPERIMENTAL PENERAPAN SISTEM
PENDINGIN DIFUSI ABSORPSI DENGAN
MEMANFAATKAN GAS BUANG SEPEDA MOTOR**

SKRIPSI

HANIF FAJAR

07 06 26 70 42

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

DEPOK

JUNI 2011



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI EKSPERIMENTAL PENERAPAN SISTEM
PENDINGIN DIFUSI ABSORPSI DENGAN
MEMANFAATKAN GAS BUANG SEPEDA MOTOR**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar sarjana teknik**

HANIF FAJAR

07 06 26 70 42

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

DEPOK

JUNI 2011

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar**

Nama : Hanif Fajar

NPM : 0706267042

Tanda Tangan : 

Tanggal : 1 Juli 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Hanif Fajar
NPM : 0706267042
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Studi Eksperimental Penerapan Sistem Pendingin
Difusi Absorpsi dengan Memanfaatkan Gas Buang
Sepeda Motor

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ardiyansyah, S.T, M.Eng. (.....)
Penguji : Dr. Agus Pamitran S.T, M.Eng. (.....)
Penguji : Dr. Ir. Engkos A. Kosasih M.T (.....)

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 1 Juli 2011

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat rahmat, dan barakah Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini tepat pada waktunya. Penulisan skripsi ini dilakukan untuk memenuhi salah satu syarat mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Banyak pihak yang baik secara langsung maupun tidak langsung membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, ucapan terima kasih saya ucapkan sebesar-besarnya kepada:

- 1) Usman dan Nuriyah selaku orang tua tercinta dan keluarga saya atas segala dukungan, doa semangat yang tidak pernah henti diberikan pada saya;
- 2) Ardiyansyah S.T, M.Eng selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu memberikan pengarahan, diskusi, dan bimbingan serta persetujuan sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik;
- 3) Sinta Nurwahyuni selaku kakak yang senantiasa memberikan dukungan;
- 4) Ukik Sheli Arsani, atas segala keceriaan, semangat dan kesabarannya;
- 5) Dr. Ir. Harinaldi, M.Eng selaku kepala Departemen Teknik Mesin FTUI.
- 6) Semua dosen DTM FTUI yang telah memberi saran dan masukan-masukan yang berharga;
- 7) Adam Adiwinata, Ridho Irwansyah, Hedriawan A.P, Kapa Cossa, Sabdo W, Gilang AIV, Hamdalah H selaku mahasiswa di Lab Applied Heat Transfer serta seluruh teman-teman teknik mesin UI 2007.
- 8) Mas Yasin, Mas Supri serta seluruh karyawan DTM FTUI atas segala bantuan dan kemudahan bagi saya dalam menuntut ilmu di FT UI.

Akhir kata, saya berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Depok, Juni 2011

Penulis

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

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

Nama : Hanif Fajar
NPM : 0706267042
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

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 :

**STUDI EKSPERIMENTAL PENERAPAN SISTEM PENDINGIN DIFUSI
ABSORPSI DENGAN MEMANFAATKAN GAS BUANG SEPEDA
MOTOR**

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 : 1 Juli 2011
Yang menyatakan


(Hanif Fajar)

ABSTRAK

Nama : Hanif Fajar
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Studi Eksperimental Penerapan Sistem Pendingin Difusi
Absorpsi dengan Memanfaatkan Gas Buang Sepeda Motor

Indonesia merupakan Negara kepulauan yang mempunyai banyak warga yang berprofesi sebagai nelayan. Saat ini, nelayan mengalami kendala pada sistem distribusi produk hasil tangkapannya. Nelayan mengalami kerugian karena kondisi ikan hasil tangkapan mengalami penurunan kualitas saat distribusi. Oleh karena itu, diperlukan suatu teknologi yang dapat mengatasi masalah tersebut. salah satu teknologi yang sesuai adalah sistem pendingin absorpsi yang dapat menjaga suhu tempat penyimpanan ikan agar kualitas ikan hasil tangkapan dapat terjaga. Teknologi absorpsi memiliki kelebihan lebih ramah lingkungan karena refrigerant yang digunakan adalah ammonia yang tidak merusak lapisan ozon sebagaimana refrigerant CFC yang banyak digunakan. Energy yang digunakan pada alat ini memanfaatkan gas buang dari kendaraan bermotor sehingga mendorong upaya konservasi energy. Pengujian dilaksanakan dengan membuat beberapa desain guna memperoleh desain optimal dengan hasil pendinginan yang efektif. Pengujian dilakukan dengan memerikan beban udara dan beban air. Dengan pengujian dicari nilai Coefficient of Performance dari sistem yang telah dibuat. Dari hasil eksperimen, didapatkan nilai COP sistem DAR yang digunakan sebesar 0.81 untuk beban udara 50,5L dan air 0.5L, serta 0.36 untuk beban udara sebesar 51L.

Kata kunci :
Sistem pendingin Absorpsi

ABSTRACT

Name : Hanif Fajar
Field of Study : Mechanical Engineering
Title : Experimental Study of Diffusion Absorption Refrigeration System Application Using Motorcycle's Heat Waste

Indonesia is an archipelagic nation which has many residents who work as fishermen. Currently, fishermen have constraints on product distribution systems catch. Fishermen suffered losses because of the condition of the fish that has decreased in its quality while of the distribution. Therefore, we need a technology that can resolve the issue. One of appropriate technology is absorption refrigeration system that can keep the storage temperature of fish in order to keep the quality of the fish to be maintained. Absorption technology has advantages because it is more environmentally friendly. Its refrigerant is ammonia which does not damage the ozone layer such as CFCs which is widely used refrigerant. Energy used in this appliance comes by utilizing exhaust gas from motor vehicles that promote energy conservation efforts. Tests carried out by making some design in order to obtain an optimal design with effective cooling results. Testing is done by describing the air loads and loads of water. By the testing, the value Coefficient of Performance of systems that have been made would be known. From the experimental results, obtained DAR system gives COP value of 0.81 used for 50.5L of air load and 0.5L of water, and 0.36 for 51L of air load.

Keyword :
Absorption Refrigeration.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR SINGKATAN.....	xiv
DAFTAR ISTILAH DAN SIMBOL.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Pembatasan Masalah	4
1.5 Metodologi Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Sistem Refrigerasi.....	7
2.2 Refrigerator.....	8
2.2.1 Sistem Kompresi Uap	9
2.2.2 Sistem Absorpsi	10
2.2.2.1 Diffusion Absorption Refrigeration (DAR) Cycle	16
2.2.2.2 Kinerja Sistem Absorpsi.....	18
2.3 Refrigerant.....	19
2.3.1 Kombinasi Refrigeant-Absorbent pada sistem pendingin absorpsi	20
2.3.1.1 Ammonia Water systems	21
2.3.1.2 Ammonia Lithium Bromide systems	22
2.3.1.3 Ammonia Water-Lithium Bromide systems	23
2.3.1.4 Ammonia Water-Lithium Bromide systems	24
2.3.4.3 Water- Lithium Bromide systems	24
BAB III PERANCANGAN DAN PERAKITAN SISTEM KOTAK	
PENDINGIN ABSORPSI	25
3.1 Kriteria Spesifikasi Sistem Pendingin Absorpsi.....	25
3.2 Perancangan Sistem	26
3.2.1 Desain 1	26
3.2.2 Desain 2	30
3.2.3 Desain 3	33
3.3 Proses Perancangan dan Pembuatan	34
3.3.1 Desain 1	34
3.3.2 Desain 2	35
3.3.3 Desain 3	35
BAB IV PENGUJIAN SISTEM KOTAK PENDINGIN ABSORPSI.....	37
4.1 Tujuan Pengujian	37
4.2 Komponen Pengujian	37
4.2.1 Termokopel.....	37

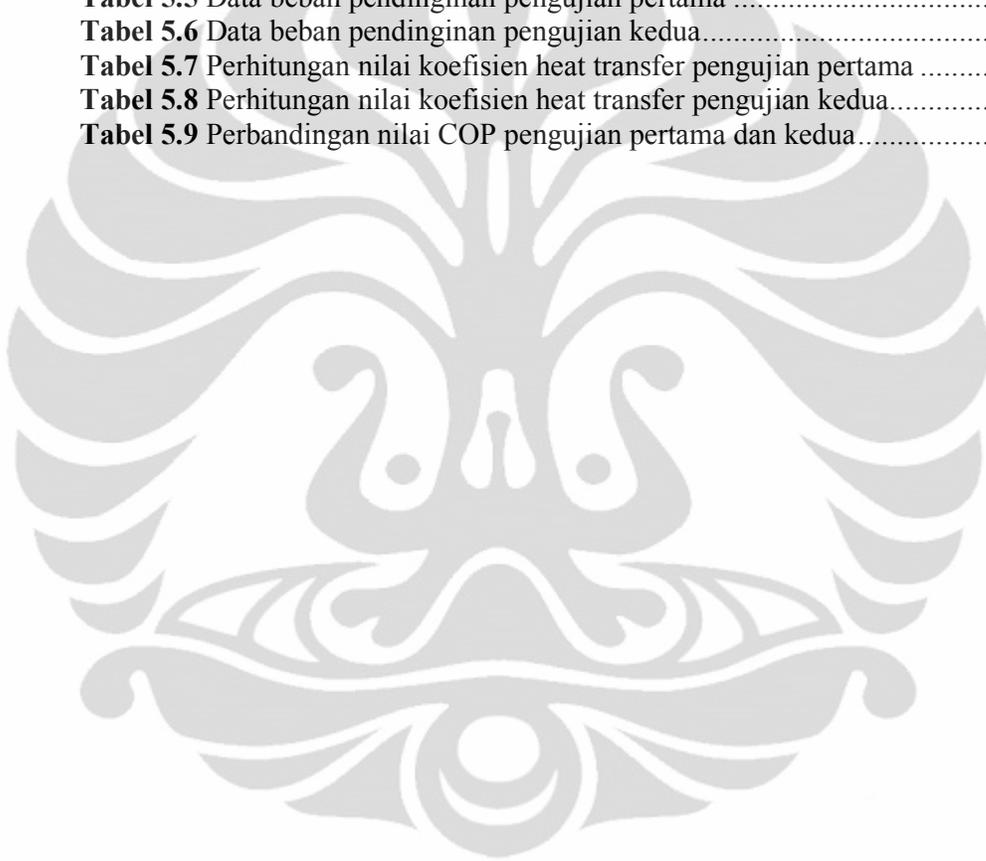
4.2.2	Modul <i>National Instrument</i>	38
4.2.3	<i>National Instrument Data Aquisition</i>	39
4.2.4	Bejana Ukur	40
4.2.5	Kabin <i>Refrigerator</i>	40
4.3	Instalasi Pengujian	41
4.3.1	Uji Performance Mesin Absorpsi	41
4.3.2	Pengujian Desain 1	42
4.3.3	Pengujian Desain 2	44
4.3.4	Pengujian Desain 3	45
4.4	Variasi Pengambilan Data	47
BAB V	HASIL DAN ANALISA	48
5.1	Analisa Rancangan & Grafik	48
5.1.1	Desain 1	48
5.1.2	Desain 2	50
5.1.3	Desain 3	52
5.2	Analisa Sistem Studi Eksperimental	58
5.3	Analisis Perhitungan	61
5.3.1	Perhitungan Q Generator	62
5.3.2	Perhitungan Beban Pendinginan	62
5.3.3	Perhitungan <i>Heat Loss</i>	63
5.3.4	Perhitungan <i>Coefficient of Performance(COP)</i>	66
5.3.5	Analisa <i>Coefficient of Performance(COP)</i>	67
BAB VI	KESIMPULAN DAN SARAN	69
6.1	Kesimpulan	69
6.2	Saran	70
DAFTAR PUSTAKA		72
LAMPIRAN		74

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Siklus kerja sistem pendingin kompresi uap.....	9
Gambar 2.2	Diagram siklus refrigerasi absorpsi.....	10
Gambar 2.3	Diagram siklus refrigerasi absorpsi difusi.....	17
Gambar 2.4	Diagram system absorpsi ammonia-water.....	21
Gambar 2.5	Diagram system absorpsi ammonia-water-hydrogen.....	23
Gambar 2.6	Diagram siklus absorpsi water-lithium bromide.....	24
Gambar 3.1	Gambar desain 1 sistem absorpsi pada sepeda motor.....	26
Gambar 3.2	Mesin Absorpsi.....	27
Gambar 3.3	Tabung pemanas.....	28
Gambar 3.4	Box dan Dudukan box.....	29
Gambar 3.5	Pipa fleksibel.....	29
Gambar 3.6	Hasil perancangan Desain 2.....	30
Gambar 3.7	Pipa exhaust motor pada desain 2.....	31
Gambar 3.8	Pipa tembaga pada box.....	32
Gambar 3.9	Pompa akuarium.....	32
Gambar 3.10	Aeroflex.....	33
Gambar 3.11	Hasil Perancangan Desain 3.....	33
Gambar 3.12	Pipa exhaust motor pada desain 3.....	34
Gambar 4.1	Sensor Termokopel.....	37
Gambar 4.2	(a) Modul National Instrument, (b) channel modul NI9213.....	38
Gambar 4.3	Data aquisisi National Instrument.....	39
Gambar 4.4	Dimensi cDAQ-9172 dalam mm(inci).....	39
Gambar 4.5	Bejana ukur pyrex.....	40
Gambar 4.6	Box sebagai kabin refrigerator.....	40
Gambar 4.7	Instalasi Uji performance mesin absorpsi.....	41
Gambar 4.8	Skema uji performance.....	42
Gambar 4.9	Skema Pengujian Desain 1.....	43
Gambar 4.10	Skema Pengujian Desain 2.....	45
Gambar 4.11	Skema Pengujian Desain 3.....	46
Gambar 5.1	Hasil Pembuatan Desain 1.....	48
Gambar 5.2	Grafik Hasil Pengujian Desain 1.....	49
Gambar 5.3	Generator pada Mesin Absorpsi.....	50
Gambar 5.4	Hasil Pembuatan Desain 2.....	51
Gambar 5.5	Grafik Hasil Pengujian Desain 2.....	51
Gambar 5.6	Hasil Pembuatan Desain 3.....	52
Gambar 5.7	Grafik Hasil Pengujian Desain 3 dengan Beban Udara.....	53
Gambar 5.8	Grafik Penurunan Temperatur Kabin pada Pengujian Desain 3 dengan Beban Udara.....	54
Gambar 5.9	Grafik Hasil Pengujian Desain 3 dengan Beban Udara dan Air.....	55
Gambar 5.10	Grafik penurunan temperatur kabin pada pengoperasian lemari pendingin dalam variasi daya masukan.....	56
Gambar 5.11	Grafik Perbandingan Pengujian 1 (beban udara) dengan Pengujian 2 (beban udara dan air) pada Desain 3.....	57
Gambar 5.12	Grafik Suhu generator dan Suhu Evaporator.....	59
Gambar 5.13	Grafik waktu kestabilan suhu generator.....	61
Gambar 5.14	Grafik COP desain 3.....	68

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Pasangan refrigeran dan <i>absorbents</i>	15
Tabel 3. 1 Daftar Kriteria Desain Sistem Pendingin Absorpsi	25
Tabel 5.1 Hasil Pengujian Sistem	58
Tabel 5.2 Waktu Stabil Suhu Generator	60
Tabel 5.3 Kalor Generator Pengujian pertama.....	62
Tabel 5.4 Kalor Generator Pengujian Kedua	62
Tabel 5.5 Data beban pendinginan pengujian pertama	62
Tabel 5.6 Data beban pendinginan pengujian kedua.....	63
Tabel 5.7 Perhitungan nilai koefisien heat transfer pengujian pertama	64
Tabel 5.8 Perhitungan nilai koefisien heat transfer pengujian kedua.....	65
Tabel 5.9 Perbandingan nilai COP pengujian pertama dan kedua.....	67



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data pengujian



DAFTAR SINGKATAN

<i>c</i>	Sisi dingin peltier <i>cold side</i>
<i>h</i>	Sisi panas peltier <i>hot side</i>
<i>m</i>	Nilai rata-rata
<i>DV</i>	<i>Diminishing Value</i>



DAFTAR ISTILAH DAN SIMBOL

Simbol	Arti	Satuan
A	Luas	m^2
c_p	Kalor spesifik pada tekanan konstan	J/kg.K
G	Area/Length dari termoelektrik	cm
h	Koefisien perpindahan kalor konveksi	W/m^2K
k	Konduktivitas termal	$W/m.K$
l/L	Panjang	m
N	Jumlah Termokopel	
P	Daya	W
q	Laju perpindahan kalor	W
Q_c	Beban Pendinginan	
R_t	Hambatan termal total	$^{\circ}C/W$
t	Tebal	m
T	Temperatur	$^{\circ}C$
T_a	Temperatur Lingkungan	$^{\circ}C$
T_L	Temperatur Kabin	$^{\circ}C$
T_s	Temperatur Generator	$^{\circ}C$
T_m	Temperatur rata-rata	$^{\circ}C$
U	Koefisien perpindahan kalor keseluruhan	W/m^2K
x	Jarak	m
Huruf Yunani		
η	<i>Efficiency</i>	-
Subskrip		
abs	Absorpsi	
h	Sisi panas	
c	Sisi dingin	

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan Negara kepulauan yang memiliki luas laut lebih besar dibanding daratannya. Hal ini mendorong banyak Warga Negara Indonesia yang memiliki pekerjaan sebagai nelayan. Kualitas dari hasil tangkapan ikan para nelayan diukur dari tingkat kesegaran ikan. Dalam keadaan kualitas yang baik omset dari hasil tangkapan ikan dapat bernilai jual tinggi. Namun, terdapat permasalahan utama yang dapat menyebabkan menurunnya kualitas yang berujung menurunnya nilai jual dari hasil tangkapan laut para nelayan, yaitu ketidaksegaran hasil tangkapan yang disebabkan oleh ketidaktepatan penggunaan transportasi pembawa hasil laut dari tengah laut menuju Tempat Pelelangan Ikan. Hal ini terutama sangat berpengaruh terhadap udang, yang sangat mudah menurun kesegarannya. Saat ini, nelayan mencoba menjaga kesegaran ikan dengan meletakkan ikan di kotak pendingin yang berisikan es batu. Akan tetapi, tingginya suhu lingkungan akan mempermudah es mencair dan menyebabkan pendinginan tidak optimal.

Transportasi hasil perikanan menjadi bagian penting dari rantai pendingin (*cold chain*) dari nelayan hingga konsumen yang menentukan kualitas dan harga ekonomi produk ikan. Hal ini melatarbelakangi timbulnya kebutuhan terhadap alat angkutan hasil perikanan yang sesuai dengan kondisi lingkungan, dapat diandalkan serta ramah lingkungan.

Dengan adanya penurunan kualitas dari hasil tangkapan nelayan tersebut, nilai ekonomi dari komoditas tersebut menjadi menurun pula. Kandungan gizi dari hasil tangkapan juga menurun ketika kesegaran tidak terjaga. Untuk mengatasi masalah tersebut, maka dibutuhkan solusi pendinginan agar kesegaran terjaga.

Teknologi pendingin yang digunakan pada kendaraan angkutan laut meliputi motor, sistem pendingin dan kontainer pengangkut. Sistem pendingin

yang telah secara luas digunakan adalah sistem kompresi uap dengan komponen dasar kompresor, kondenser dan evaporator. Sistem tersebut mengambil daya putaran mesin untuk menekan uap bertekanan tinggi pada kompresor, sehingga meningkatkan konsumsi bahan bakar serta emisi gas buang kendaraan. Sistem kompresi uap juga berpotensi mencemari lingkungan karena penggunaan freon sebagai refrijeran yang rentan terlepas ke atmosfer. Refrigerant R22 yang digunakan pada system kompresi uap memiliki residu yang tidak ramah lingkungan. Residu yang terbuang ke lingkungan dapat merusak lapisan ozon yang ada di bumi. Hal ini juga mendorong pencarian teknologi yang dapat lebih ramah lingkungan tanpa meningkatkan penggunaan *Freon*.

Chlorine buatan manusia, khususnya *chloroflourocarbons* (CFC), berdampak buruk bagi lingkungan yaitu menyebabkan penipisan lapisan ozon di bumi. Hal ini menimbulkan sinar ultraviolet yang mengenai bumi menjadi lebih banyak kuantitasnya. Sinar ultraviolet ini berbahaya bagi manusia karena dapat merusak jaringan kulit manusia. Selain itu, beberapa bahan perusak ozon buatan manusia juga memicu terjadinya *Greenhouse Effect*. Oleh karena itu, menghilangkan penggunaan CFC merupakan salah satu hal penting dalam mencegah perubahan iklim (Europe Comission, 2011). Pengurangan penggunaan dari *Ozone-depleting substance* dapat menunda efek perubahan iklim selama 8-12 tahun.

Tinjauan terhadap kendaraan yang menggunakan motor pembakaran dalam, secara umum menunjukkan efisiensi panas sekitar 40% (Tassou, 2009). Potensi panas buang motor tersebut dapat dimanfaatkan sebagai sumber panas untuk membangkitkan efek pendinginan menggunakan sistem pendingin absorpsi. Dalam aplikasinya, pemanfaatan panas mengambil panas dari gas buang sehingga hemat energi. Hal ini menjadi kelebihan, karena pada sistem kompresi uap yang telah ada, energi yang dipakai diambil dari putaran mesin. Akibatnya penggunaan bahan bakar yang diperlukan menjadi meningkat. Sistem pendingin absorpsi ini, menggunakan panas buangan dari motor. Pemanfaatan gas buang ini akan meningkatkan efisiensi dari pemakaian bahan bakar. Untuk pemakaian bahan bakar yang diperlukan motor juga tidak memerlukan jumlah yang besar karena sistem pendingin absorpsi tidak mengambil putaran daya mesin motor. Sistem

absorpsi yang digunakan juga tidak menimbulkan gas buang karena tidak menggunakan bahan bakar, melainkan hanya mengambil panas dari gas buang motor. Teknologi yang bebas dari lingkungan akan mengurangi emisi gas buang. Akibatnya, teknologi semacam itu ramah lingkungan. Refrigerant yang digunakan pada teknologi yang akan diaplikasikan adalah ammonia. Hal tersebut karena ammonia memiliki nilai kalor laten yang lebih tinggi dibanding Lithium bromide. Ammonia memiliki nilai kalor laten 1369 kJ/kg pada suhu -33.34°C sedangkan air yang digunakan pada sistem absorpsi air-lithium bromide, kalor laten yang dimiliki hanya 2260 kJ/kg pada suhu 100°C . Selain itu, sistem absorpsi air-lithium bromide memiliki sifat soluble yang lebih sulit dibanding sistem ammonia-air.

1.2 Perumusan Masalah

Dalam proses pembuatan sistem pendingin absorpsi untuk lemari pendingin ini, dibutuhkan suatu unit sistem pendinginan yang mampu bekerja dengan performa yang optimal sehingga menghasilkan koefisien performa yang baik.

Dalam penelitian yang dilakukan kali ini, *prototype* alat uji menggunakan mesin pendingin absorpsi yang menggunakan cairan ammonia sebagai refrigerant serta memanfaatkan panas dari gas buang sebuah sepeda motor.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk merancang bangun sebuah sistem pendingin absorpsi yang dapat menjaga kualitas tangkapan ikan nelayan agar kualitas terjaga dan dapat memanfaatkan gas buang motor yang digunakan serta mengurangi penggunaan refrigerant yang dapat merusak lapisan ozon pada sistem yang telah ada. Sistem lemari pendingin berbasis sistem absorpsi yang dihasilkan diuji unjuk kerjanya dengan variasi jumlah beban pendinginan.

1.4 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah pada penelitian ini meliputi :

1. Merancang dan membuat sistem pendingin absorpsi.
2. Panas yang digunakan pada generator sistem adalah panas gas buang pada sepeda motor.
3. Transfer dingin menggunakan heat exchanger dengan fluida air.
4. Volume lemari pendingin yang digunakan untuk pengujian adalah kabin lemari pendingin yang terdapat di pasaran dengan kapasitas 40L.

1.5 Metodologi Penelitian

Dalam penelitian ini, metodologi yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Langkah ini merupakan proses pembelajaran dengan pencarian informasi dari materi yang terdapat dalam buku-buku, jurnal, maupun situs-situs internet yang terkait dengan penelitian yang dilakukan.

2. Pengujian Sistem

Langkah ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik dan performa sistem absorpsi yang akan digunakan dalam penelitian.

3. Perancangan Sistem Pendingin Absorpsi

Proses ini dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa factor antara lain segi bentuk, geometri, susunan sistem, pemilihan komponen-komponen yang akan digunakan, kemudahan dalam proses produksi dan kemudahan dalam penggunaan alat bagi konsumen.

4. Pembuatan Prototipe

Pembuatan prototipe dilakukan untuk mengetahui performa dari alat yang telah dirancang.

5. Pengujian Performa Kerja Sistem Pendingin Absorpsi

Pengujian sistem dilakukan dengan mengubah kondisi kerja seperti beban pendinginan dari sistem.

6. Analisa dan Kesimpulan Hasil Pengujian

Dari pengujian performa, akan didapatkan data yang selanjutnya dilakukan pengolahan data, proses analisa terhadap grafik performa

sistem pendinginan absorpsi yang dilakukan. Dari hasil analisa data performa sistem pendingin tersebut, akan diketahui kinerja dari sistem pendinginan absorpsi yang dibangun.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini dilakukan berdasarkan bab-bab sebagai berikut

BAB 1 PENDAHULUAN

Dalam bab 1 ini akan dijelaskan tentang latar belakang dilakukannya penelitian dan dibuatnya skripsi ini, perumusan masalah, tujuan penelitian, pembatasan masalah, metodologi penelitian, serta sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini mendeskripsikan tentang berbagai teori yang mendasari penelitian serta pengembangan sistem pendinginan yang ada saat ini, serta kemungkinan yang untuk pengembangan sistem pendingin absorpsi yang akan dilakukan.

BAB 3 PERANCANGAN DAN PERAKITAN SISTEM PENDINGIN ABSORPSI

Bab ini mendeskripsikan langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian yang dimulai dari perancangan alat, sistematika penelitian dan proses pengambilan data yang dilakukan.

BAB 4 PENGUJIAN LEMARI PENDINGIN ABSORPSI

Bab ini menjelaskan langkah-langkah yang dilakukan dalam pengambilan data performa lemari pendingin absorpsi, mulai dari persiapan hingga pelaksanaan pengambilan data, serta penjelasan mengenai peralatan yang digunakan dalam keseluruhan proses pengujian dan pengambilan data performa lemari pendingin absorpsi.

BAB 5 HASIL DAN ANALISA

Bab ini menunjukkan bagaimana pengolahan data sampai didapatkan grafik data performa sistem pendingin absorpsi agar dapat diketahui hasilnya dan dianalisa performanya.

BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam bab ini akan diberikan kesimpulan yang didapatkan dari seluruh analisa performa sistem pendingin yang telah dilakukan dan dilengkapi dengan saran untuk pengembangan desain selanjutnya.



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Refrigerasi

Sistem refrigerasi didefinisikan sebagai “proses pencapaian dan mempertahankan temperatur volume kontrol dibawah temperatur lingkungan sekitar”. Penerapan sistem refrigerasi berupa mesin pendingin pertama kali dilakukan oleh William Cullen di Universitas Glasgow Skotlandia pada tahun 1756. Cullen menggunakan pompa untuk membuat vakum sementara wadah *dietil eter* yang kemudian direbus dan menyerap panas dari udara sekitarnya. Dalam penelitian tersebut bahkan dihasilkan sejumlah kecil es, namun saat itu aplikasi yang diajukan oleh Cullen dianggap tidak praktis (EE IIT, 2008). Sistem refrigerasi menerapkan refrigerasi yang merupakan ilmu untuk membuat keadaan yang lebih dingin pada suatu tempat atau ruangan dibandingkan dengan lingkungannya (Prasad, 2007). Tujuan dari refrigerasi ini adalah untuk mencapai dan menjaga temperatur ruangan yang lebih rendah dari lingkungan. Hal ini dapat dicapai dengan cara memindahkan panas dari tempat yang ingin didinginkan ke lingkungan yang memiliki temperatur lebih rendah. Pada zaman dahulu, metode ini dilakukan menggunakan es. Pada awalnya es didapat dari daerah yang memiliki iklim dingin, disimpan selama musim dingin untuk digunakan pada saat musim panas datang. Eropa, Amerika dan Iran membangun rumah penyimpanan es menggunakan bahan isolasi dari alam seperti remahan kayu yang kemudian digantikan oleh gabus. Es disimpan pada tempat tersebut untuk kemudian digunakan saat musim panas tiba.

Adalah Frederic Tudor atau “si Raja Es”, orang yang pertama kali melakukan perdagangan es secara masal pada tahun 1806. Dia memotong es dari Sungai Hudson serta Danau Massachusetts untuk kemudian mengekspornya ke berbagai negara termasuk India (Arora, 2010).

Pada 1805, seorang penemu dari Amerika bernama Oliver Evans mendesain sistem refrigerasi dengan dasar “*sistem kompresi uap*”. Namun desain alat ini tidak pernah dibuat. Pada tahun 1834 sistem refrigerasi kompresi uap pertama dipatenkan oleh Jacob Perkins dimana dia membuat sebuah prototype yang berkerja dengan baik, namun penemuan itu tidak sukses secara komersil. Alexander Twining memulai percobaan dengan sistem refrigerasi kompresi uap pada tahun 1848 dan mendapatkan paten pada 1850 dan 1853. Dia dikenal sebagai orang pertama kali membuat sistem pendingin secara komersil di Amerika Serikat pada 1856.

Sistem refrigerasi absorpsi gas menggunakan ammonia yang terlarut dalam air pertama kali dikembangkan oleh Ferdinand Carrié dari Perancis pada 1859 dan dipatenkan pada 1860. Karena masalah bahaya keracunan akibat ammonia, sistem ini tidak dikembangkan untuk rumah tangga. Lemari es pertama kali yang diproduksi masal di Amerika Serikat diproduksi pada tahun 1911.

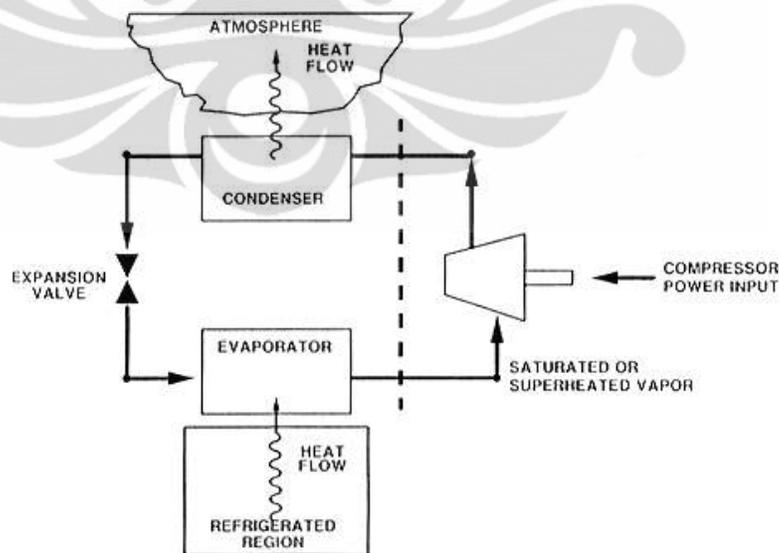
2.2 Refrigerator

Refrigerator atau yang biasa disebut “*kulkas*” atau lemari pendingin adalah aplikasi sistem pendingin yang terdiri dari kotak yang terinsulasi termal dan sistem refrigerasi untuk memindahkan panas dari dalam lemari es ke lingkungan luar, dan mendinginkan isi lemari pendingin mencapai temperatur dibawah ambient. Pada umumnya teknik refrigerasi ini bertujuan untuk mengurangi laju pengrusakan bahan makanan yang disimpan di dalam lemari pendingin. Lemari pendingin merupakan penemuan modern menggantikan “*icebox*” yang sebelumnya merupakan aplikasi umum yang digunakan hampir satu setengah abad sebelumnya.

Saat ini, ada beberapa sistem refrigerasi yang telah ditemukan dan diaplikasikan. Sistem tersebut yaitu Sistem Kompresi Uap dan Sistem Absorpsi.

2.2.1 Sistem Kompresi Uap

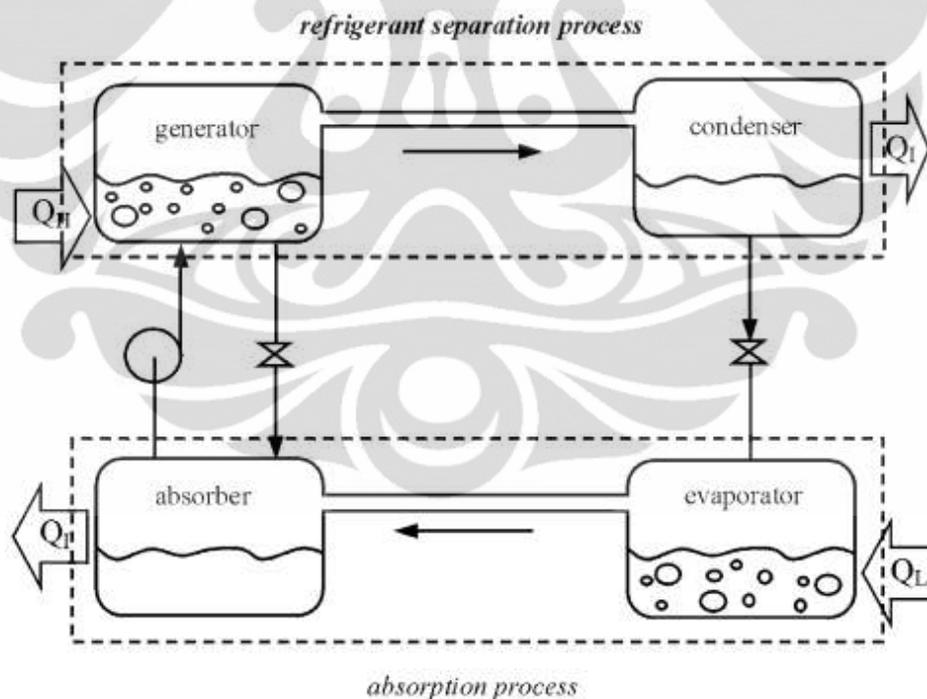
Ada beberapa macam teknik refrigerasi yang digunakan untuk aplikasi sistem refrigerasi lemari es yang umum digunakan meliputi, siklus kompresi uap dan absorpsi. Sistem siklus kompresi uap merupakan sistem yang paling banyak digunakan dalam aplikasi refrigerasi sehari-hari. Pada siklus ini, refrigerant seperti R134a dialirkan masuk ke dalam kompresor dalam keadaan uap bertekanan rendah. Uap refrigerant kemudian dikompres keluar kompresor sebagai uap bertekanan tinggi (high-pressure superheated vapor). Uap bertekanan tinggi kemudian dialirkan melalui kondenser dimana terjadi pendinginan akibat pertukaran panas dengan udara luar. Dalam kondenser refrigerant berubah fase menjadi liquid kembali. Selanjutnya refrigerant cair dilairkan menuju katup ekspansi dimana tekanan refrigerant akan diturunkan kembali. Penurunan tekanan secara drastis ini mengakibatkan refrigerant berubah dalam fase campuran antara liquid dan uap. Campuran fase dari refrigerant tersebut kemudian masuk dalam evaporator. Dalam evaporator terjadi proses pengambilan panas dari lingkungan kemudian fase refrigerant berubah menjadi uap sempurna yang akan kembali ke kompresor untuk kembali melakukan siklus refrigerasinya (ASHRAE, 2005).



Gambar 2. 1 Siklus kerja sistem pendingin kompresi uap

2.2.2 Sistem Absorpsi

Siklus pendinginan absorpsi memiliki siklus yang sama dengan siklus pendingin kompresi uap. Persamaan yang ada yaitu keduanya menggunakan refrigerant yang bersifat volatile yang mana mengalami evaporasi pada tekanan rendah di evaporator dan berkondensasi pada tekanan tinggi di condenser. Kedua siklus tersebut juga menggunakan temperatur ambient untuk mengkondensasikan uap bertekanan dan bersuhu tinggi. Perbedaan utama kedua sistem adalah metode yang diterapkan untuk mensirkulasikan refrigerant mealui sistem ketika menjaga perbedaan tekanan antara proses vaporisasi dan kondensasi. Perbedaan lain adalah kebanyakan sistem pendingin kompresi uap menggunakan refrigerant Clourofouorocarbon yang mana saat ini pemakaiannya dibatasi karena dapat merusak lapisan ozon. Gambar di bawah ini akan mejelaskan siklus sistem refrigerasi absorpsi.



Gambar 2. 2 Diagram siklus refrigerasi absorpsi

Sistem refrijerasi absorpsi terdiri dari empat bagian utama, yaitu evaporator dan absorber pada sistem bertekanan rendah serta generator dan condenser pada sistem bertekanan tinggi. Sistem ini menggunakan dua fluida yaitu refrigerant dan absorbent. Absorbent nantinya mengalir dari absorber menuju generator dan kembali ke absorber.

Refrigerant yang digunakan mengalami proses vaporisasi dengan menyerap kalor dari absorbent yang terdapat pada heat exchanger. Uap refrigerant yang dihasilkan ini mengalami kompresi sehingga meningkatkan suhu dan tekanan saturasinya. Uap refrigerant kemudian terserap oleh cairan absorbent yang terdapat pada absorber. Absorbent ini memiliki sifat menarik uap refrigerant. Karena uap refrigerant terhisap absorbent, tekanan parsial dari refrigerant mengalami penurunan yaitu menurunkan tekanan pada ruang absorber. Hal tersebut mengakibatkan refrigerant mengalir dari bagian evaporator bersuhu tinggi(keluaran) menuju absorber. Refrigerant mengalami penurunan tekanan uap di absorber sehingga proses absorption ini melepaskan kalor laten yang diserap di evaporator. Refrigerant mengalami perubahan fasa menjadi cairan selama proses absorpsi. Refrigerant ini menukar kalor laten dengan campuran larutan yang terdapat pada absorber. Kalor laten ini harus dapat dihilangkan untuk menjaga sistem refrijerasi. Pada absorber ini suhu refrigerant menurun karena terjadi pencampuran antara refrigerant dengan absorbent dan juga terdapat penurunan tekanan. Fraksi massa awal absorbent tinggi sehingga menarik uap dari refrigerant. Selanjutnya campuran ini menuju generator untuk mengalami pemisahan. Jika pemisahan larutan tidak berhasil, maka pendinginan tidak akan terjadi. Absorbent menjadi campuran dengan refrigerant yang pada akhirnya menjadi larutan tak jenuh(lemah) yang tidak mampu menarik uap refrigerant.

Generator merupakan bagian pemisah larutan tak jenuh refrigerant yang menggunakan energy panas. Energy panas yang biasa digunakan dapat berupa energy langsung yaitu pembakaran bahan bakar minyak ataupun dengan energy listrik. Untuk energy tak langsung adalah sistem pemanas yang menggunakan sumber panas uap

atau gas buang suatu turbin atau mesin. Generator yang memanfaatkan panas buangan disebut *heat recovery generator*. Refrigerant yang terpisah dari larutan tak jenuh menuju condenser. Ketika terjadi pemisahan pada generator, otomatis fraksi massa absorbent meningkat lagi menjadi larutan jenuh sehingga dapat menghisap uap refrigeran kembali.

Refrigerant di generator mengalami perubahan fasa menjadi uap karena menerima kalor laten. Selanjutnya uap refrigerant menuju condenser dan mengalami kondensasi. Kondensasi ini membuat refrigerant mengalami penurunan suhu dan fasanya menjadi cair. Selanjutnya cairan refrigerant mengalami vaporisasi karena menerima kalor laten dari absorbent dan siklus berlanjut lagi (Dossat, 2001).

Sistem absorpsi menggunakan generator sebagai pengganti kerja kompresor pada sistem kompresi uap. Sistem absorpsi memiliki kelebihan dibandingkan dengan sistem sistem kompresi uap yaitu tidak menggunakan komponen bergerak di dalam sistemnya, dapat menggunakan sumber energi panas apapun dan tidak menimbulkan suara dalam kondisi kerjanya. Pada aplikasi rumah tangga, kulkas absorpsi menggunakan electric heater sebagai sumber energy generator. Contoh paling umum untuk menjelaskan sistem evaporasi adalah proses terjadinya keringat pada tubuh manusia. Air keringat menguap dan diserap oleh udara membawa panas dari tubuh.

Dari ditemukannya sistem absorpsi refrigerasi, pasangan amoniak-air sebagian besar telah digunakan. Kedua cairan sangat stabil pada suhu operasional yang luas dan dalam berbagai tekanan. Amoniak memiliki entalpi penguapan tinggi, yang diperlukan untuk kinerja sistem yang optimal. Sistem ini dapat digunakan pada suhu rendah, sebagaimana titik beku amonia adalah -77 C . Selain itu, pasangan amonia-air ramah lingkungan dan hanya membutuhkan biaya rendah (Sriksirin, 2001). Kerugian sistem amoniak air yaitu membutuhkan komponen tambahan. Di sisi lain, operasi di atas tekanan atmosfer adalah keuntungan besar. Meskipun amonia-air sistem sebelumnya diterapkan untuk produksi pendinginan dan es, aplikasi terbaru didominasi pada pengkondisian udara, yang mana pasangan air-lithium bromide juga

bisa digunakan (Chuaa et al, 2002; Costa, 1988;. Lazarrin et al, 1996; Wu dan Schulden, 1995) menyajikan sebuah siklus Carnot dimodifikasi untuk panas mesin dengan menggunakan limbah panas bersuhu tinggi. Köhler et al. (1997) merancang, membangun dan menguji prototipe sistem pendingin absorpsi untuk pendinginan truk menggunakan panas dari gas buang. Siklus refrigerasi disimulasikan dengan model komputer dan divalidasi oleh data uji. Energi yang diperoleh dari gas buang dianalisis untuk meninjau penggunaan truk di lalu lintas kota, jalan gunung dan jalan datar. Prototipe menunjukkan koefisien kinerja sekitar 27%, tapi simulasi menunjukkan bahwa sistem dapat ditingkatkan dua kali lipat. Hasil penelitian menunjukkan sistem sebagai alternatif yang menarik untuk mengemudi jarak jauh pada jalan datar.

Zhao et al. (2003) meneliti dua kombinasi sistem absorpsi/siklus pendinginan kompresi menggunakan amonia dan air sebagai fluida kerja. Siklus dikombinasikan dengan satu rangkaian larutan yang merupakan chiller penyerapan konvensional dengan kompresor mekanik, menggunakan kerja dan output panas dari mesin. Siklus dikombinasikan dengan dua rangkaian larutan yang merupakan versi umum dari siklus sebelumnya, yang mana kondensor dan evaporator digantikan oleh penyerap kedua dan generator kedua. Rasio utama energi, yang didefinisikan sebagai rasio dari desain pendinginan kapasitas dan masukan energi total mesin, meningkat pesat untuk siklus kombinasi dibandingkan dengan siklus kompresi mesin konvensional yang bekerja dengan amonia murni. Para peneliti menyimpulkan bahwa siklus dikombinasikan dengan dua rangkaian solusi merupakan pilihan yang terbaik.

Qin et al. (2007) mengembangkan gas buang AC-driven otomotif bekerja pada pasangan hidrida baru. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daya dan koefisien kinerja sistem pendingin meningkat sedangkan suhu pendinginan minimum menurun dengan meningkatnya suhu sumber panas. Parameter sistem perpindahan panas masih perlu ditingkatkan untuk performa yang lebih baik.

Huangfu et al. (2007) merancang dan mengembangkan suatu prototipe eksperimental dari Integrated Thermal Management Controller (ITMC) untuk sistem

kogenerasi berbasis mesin pembakaran internal. Berdasarkan prinsip pipa panas konduktansi variabel, penulis mempresentasikan konsep ITMC untuk aplikasi sistem sistem cogeneration mesin berbasis IC. Melalui pembentukan prototipe ITMC eksperimental, prinsip kerja ITMC terverifikasi, menyediakan referensi untuk perangkat praktis masa depan. Hal ini menunjukkan bahwa prototipe yang dikembangkan secara efektif dapat mengontrol suhu dalam kondisi kerja variabel.

Sistem absorpsi menggunakan fluida kerja yang terdiri dari refrigeran dan *absorbents* atau penyerap refrigeran. Terdapat dua jenis fluida *absorbents* dalam sistem absorpsi yaitu, *nonvolatile* atau fluida *absorbent* yang memiliki fase uap yang hanya terdiri dari refrigeran murni tanpa terdapat zat *absorbent* yang terkondensasi, *volatile* atau fluida *absorbent* yang memiliki variasi konsentrasi refrigeran pada fase uapnya. Setiap pasangan refrigeran dan *absorbent*-nya harus memenuhi beberapa pertimbangan yaitu (ASHRAE, 2005):

1. Tidak memiliki fase padat pada kondisi temperatur kerjanya.
2. Refrigeran harus lebih mudah menguap dibandingkan dengan *absorbent*-nya bahkan *absorbent* diharapkan tidak dapat menguap pada kondisi temperatur kerjanya.
3. *Absorbent* harus memiliki gaya tarik-menarik yang kuat terhadap uap refrigeran.
4. Tekanan saat sistem beroperasi harus berada dalam batas yang wajar karena semakin tinggi tekanan operasi sistem maka dibutuhkan material yang tahan terhadap tekanan atau memiliki dinding yang lebih tebal sedangkan tekanan yang rendah memerlukan volume yang lebih besar.
5. Memiliki stabilitas kimia yang baik karena fluida kerja tersebut harus mampu menghadapi kondisi ekstrim pada saat penggunaannya. Zat yang tidak stabil secara kimia dapat menghasilkan gas, endapan yang tidak diinginkan bahkan dapat menyebabkan korosi.

6. Mayoritas fluida kerja absorpsi menyebabkan korosi pada material yang digunakan sebagai konstruksi sistem. Oleh karena itu dibutuhkan zat pencegah korosi dalam fluida absorpsi.
7. Fluida kerja absorpsi harus memenuhi faktor keselamatan dengan memberikan kode yang menginformasikan fluida tersebut merupakan zat berbahaya seperti racun, mudah terbakar, bertekanan tinggi.
8. *Transport properties*, fluida kerja yang memiliki nilai viskositas yang lebih rendah dapat mengurangi daya pompa yang digunakan.
9. Refrigeran harus memiliki nilai *latent heat* yang tinggi sehingga laju sirkulasi refrigeran dan *absorbent* bisa diminimalkan.
10. Fluida kerja harus memiliki nilai *global warming potential* (GWP) dan *ozone depletion potential* (ODP) yang rendah.

Tabel 2. 1 Pasangan refrigeran dan *absorbents* (Macriss, 1989)

Refrigeran	Absorbents
H ₂ O	Salts
	Alkali halides
	LiBr
	LiClO ₃
	CaCl ₂
	ZnCl ₂
	ZnBr
	Alkali nitrates
	Alkali thiocyanates
	Bases
	Alkali hydroxides
	Acids

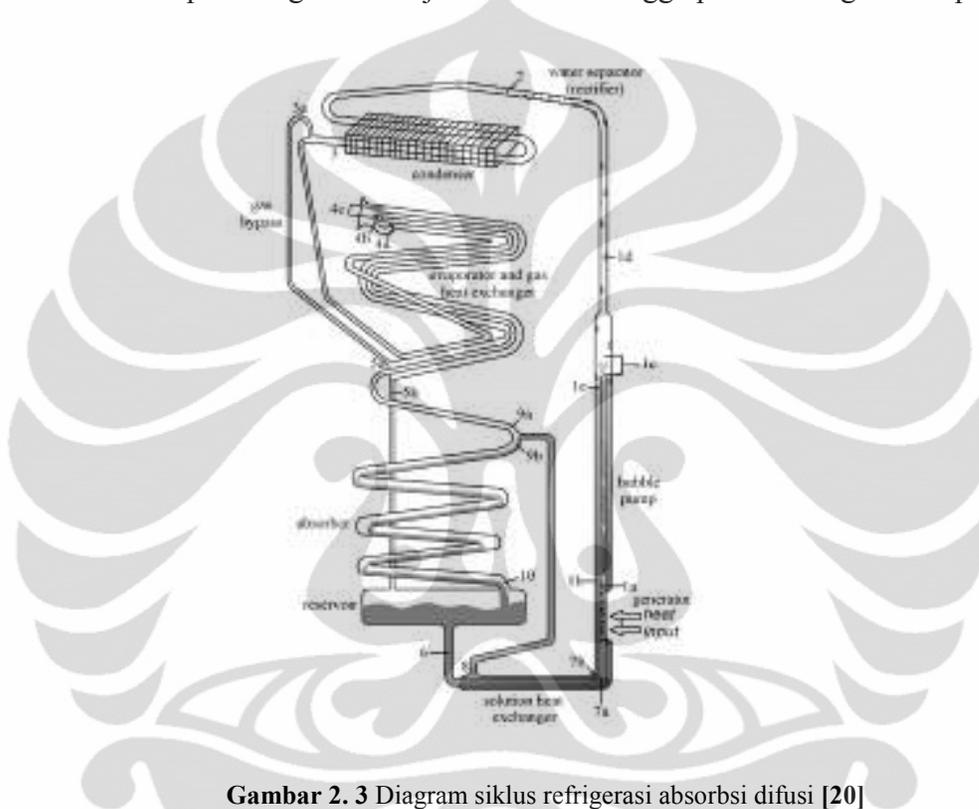
	H ₂ SO ₄
	H ₃ PO ₄
NH ₃	H ₂ O
	Alkali thiocyanates
TFE	NMP
(organic)	E181
	DMF
	Pyrrolidone
SO ₂	Organic solvents

Refrigeran air dengan *absorbent* lithium bromide dan refrigeran ammonia dengan *absorbent* air merupakan fluida kerja yang umum digunakan saat ini. Pasangan ammonia dengan air hampir memenuhi semua pertimbangan diatas namun memiliki nilai *volatility* yang rendah sehingga dibutuhkan tekanan kerja yang tinggi.

2.2.2.1 Diffusion Absorption Refrigeration (DAR) Cycle

Siklus DAR ditemukan pada tahun 1920 yang menggunakan ammonia sebagai refrigerant dan air sebagai absorbent sebagai gabungan fluida yang bekerja bersamaan dengan tambahan gas hydrogen sebagai gas inert tambahan. Sistem DAR ini tidak memerlukan bagian yang bergerak sehingga lebih tenang dibandingkan sistem lain yang menggunakan pompa ataupun compressor. Sistem DAR menerapkan dua prinsip utama yaitu difusi dan absorpsi. Difusi menjelaskan penyebaran partikel melalui gerak acak dari daerah konsentrasi tinggi ke daerah konsentrasi rendah. Ketergantungan waktu distribusi statistik dalam ruang diberikan oleh persamaan difusi. Konsep difusi terikat dengan transfer massa yang didorong oleh gradien konsentrasi, tetapi difusi masih bisa terjadi ketika tidak ada gradien konsentrasi (tapi tidak akan ada fluks bersih) (Havlin, 2000). Pada sistem DAR, proses difusi terjadi pada evaporator yaitu ammonia yang berkonsentrasi tinggi berdifusi dengan hydrogen menuju absorber yang mana kandungan ammonia lebih sedikit.

Prinsip yang kedua yaitu absorpsi terjadi pada absorber. Air yang digunakan sebagai absorbent memiliki sifat penarik uap ammonia. Uap ammonia yang keluar dari evaporator, mengalami gaya serap dari air yang memiliki sifat penyerap uap ammonia. Dengan adanya kedua prinsip tersebut yaitu difusi dan absorpsi, maka ammonia dapat mengalir menuju absorber sehingga proses refrigerasi dapat berjalan.



Gambar 2.3 Diagram siklus refrigerasi absorpsi difusi [20]

Sistem absorpsi menggunakan 3 substansi dalam prosesnya yaitu ammonia, hidrogen, dan air pada tekanan yang cukup untuk mengkondensasi ammonia pada temperatur ruang (Gambar 2.3). Saat panas diberikan pada generator(1a), campuran ammonia dan air menguap dan bergerak menuju kondenser(3), sebelum melalui kondenser terdapat “*water separator*”(2). Di sini, uap ammonia dalam larutan tidak jenuh(1d) kembali menuju generator sedangkan uap jenuh ammonia menuju kondenser. Sirkulasi udara melalui fin dari kondenser memindahkan panas dari uap ammonia sehingga ammonia terkondensasi menjadi ammonia cair kemudian mengalir ke evaporator(4). Ammonia yang tidak terkondensasi kemudian mengalir menuju reservoir(10) melalui gas bypass(3a). Ammonia yang terkondensasi dan gas heat

exchanger bertemu di evaporator menimbulkan pendinginan sebelum ekspansi. Pada masukan evaporator, ammonia cair bertemu hydrogen dari absorber setelah melalui gas heat exchanger dan mengalami penurunan tekanan parsial. Hydrogen dari absorber menurunkan suhu ammonia pada tabung bagian dalam. Campuran ammonia cair dan hydrogen mengalir di dalam tabung bagian luar dan meninggalkan evaporator(5b), yang kemudian menuju reservoir dan masuk ke absorber melalui bagian bawah(10) . Selanjutnya campuran mengalir naik menuju larutan tak jenuh yang masuk ke absorber melalui bagian atas(9b) setelah melewati heat exchanger larutan. Uap ammonia diserap dari larutan tak jenuh menjadi larutan jenuh yang mengalir menuju reservoir(10) dan menuju ke generator kembali(6). Hydrogen tidak terserap dan kembali ke evaporator dengan sisa ammonia yang tidak terserap (Zohar, 2005).

Siklus berlangsung terus-menerus selama panas generator tetap diberikan. Penggunaan ammonia sebagai refrigerant memiliki keuntungan tersendiri karena dapat menghasilkan temperatur yang cukup rendah. Selain itu tidak terdapatnya sistem yang bergerak juga merupakan salah satu keunggulan dari sistem absorpsi ini.

2.2.2.2 Kinerja Sistem Absorpsi

Nilai COP adalah suatu nilai yang menunjukkan jumlah kalor yang dipindahkan dari sistem ke lingkungan dibagi dengan jumlah energi yang digunakan. Perhitungan nilai COP secara garis besar mengikuti persamaan berikut :

$$COP = \frac{Q_c}{P} \dots\dots\dots(2.1)$$

Q_c : Beban pendinginan

P : Daya yang digunakan

Namun dalam perkembangannya nilai COP memiliki persamaan yang berbeda dari setiap sistem pendingin yang berbeda.

Nilai COP untuk sistem pendingin absorpsi mengikuti persamaan :

$$COP = \frac{\text{desired output}}{\text{requaired input}} = \frac{Q_L}{Q_{gen}} \dots\dots\dots(2.2)$$

$$COP_{Optimum} = \left(1 - \frac{T_a}{T_s}\right) \left(\frac{T_L}{T_a - T_L}\right) = \frac{T_L(T_s - T_a)}{T_s(T_a - T_L)} \dots\dots\dots(2.3)$$

Ta : Temperatur lingkungan

TL : Temperatur kabin

Ts : Temperatur generator

2.3 Refrigerant

Refrigerant merupakan cairan kerja yang digunakan pada sistem refrigerasi mekanik. Refrigerant mengalirkan panas dari sistem ke sekitarnya. Refrigerant pada siklus kompresi uap merupakan cairan kerja yang dapat menguap dan juga berkondensasi ketika menyerap dan melepas energy panas. Refrigerant yang tepat harus memenuhi sifat kimia, fisika serta termodinamika yang membuatnya aman digunakan dan bernilai ekonomis. Dalam pemakaiannya, tidak ada refrigerant yang ideal. Hal ini karena pendekatan kondisi refrigerant yang ideal disesuaikan dengan kondisi dan keperluan dari sistem yang dibutuhkan. Table berikut merupakan refrigerant-refrigerant yang dapat digunakan. Akan tetapi saat ini, beberapa refrigerant sudah tidak diproduksi karena merusak lapisan ozon. Pemilihan refrigerant saat ini, lebih dipengaruhi sifat keamanan dan keramahan terhadap lingkungan. Sebagai contoh, ammonia merupakan refrigerant yang tidak merusak ozon tetapi masih beresiko untuk pemakaian secara umum karena beracun dan eksplosif. Karena itulah, pertimbangan akan penggunaan suatu zat sebagai refrigerant harus memenuhi karakteristik yang tepat untuk suatu refrigerant.

- a. Toxicity
Refrigerant yang akan digunakan harus tidak beracun pada keadaan murni dan ketika tercampur dengan udara.
- b. Flammability dan Explosiveness
Refrigerant sebaiknya tidak mudah terbakar dan tidak mudah meledak pada keadaan murni dan pada saat tercampur dengan udara.
- c. Refrigeration Systems Reaction
Refrigerant seharusnya tidak bereaksi dengan minyak pelumas pada sistem atau material yang digunakan pada konstruksi peralatan.
- d. Efek Moisture pada integritas sistem refrigerasi
Refrigerant seharusnya tidak bereaksi dengan uap air yang terdapat pada semua sistem refrigerasi.
- e. Pertimbangan Ekonomi, Lingkungan dan lainnya
Refrigerant seharusnya menarik secara ekonomi dan ramah lingkungan, tidak merusak lapisan ozon.

2.3.1 Kombinasi Refrigerant – Absorbent pada sistem pendingin absorpsi

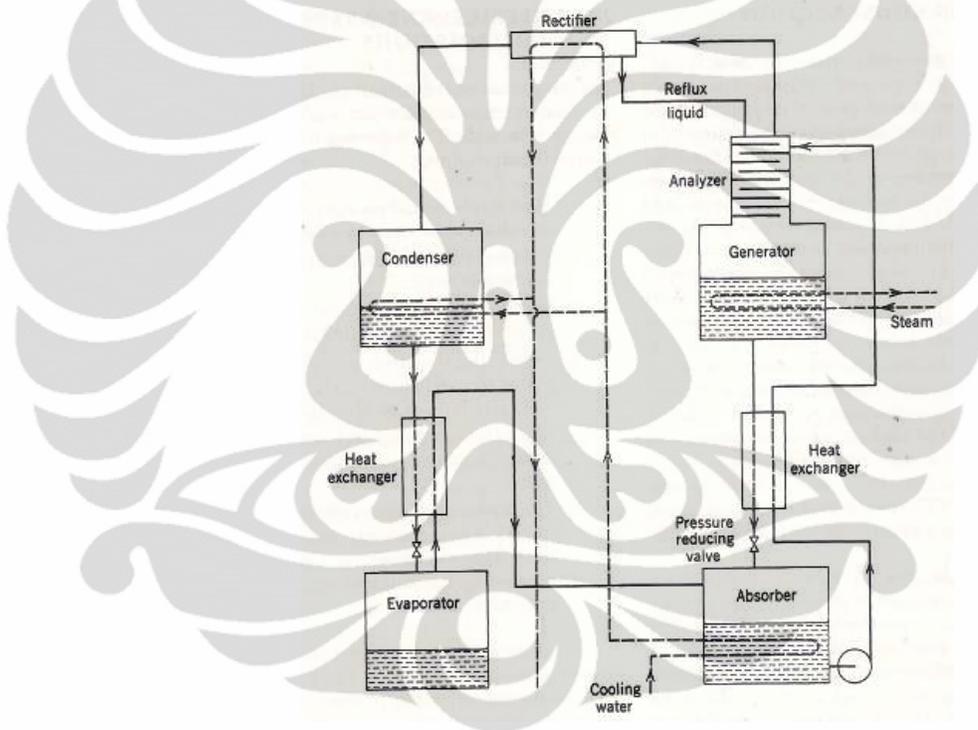
Pada pemilihan refrigerant maupun absorpsi, keduanya memiliki karakteristik yang harus dipenuhi dalam penggunaannya. Karakteristik pemilihan tersebut sebagai berikut.

- a. Keduanya harus aman, stabil dan tidak korosif baik untuk tiap senyawa maupun campurannya.
- b. Absorbent harus memiliki sifat menarik (affinity) yang kuat terhadap uap refrigerant.
- c. Kedua fluida harus sesuai sifat campurannya dengan rentang kondisi operasinya.
- d. Idealnya, absorbent harus memiliki volatility yang rendah sehingga uap refrigerant akan meninggalkan generator dengan sedikit absorbent.
- e. Refrigerant harus memiliki nilai kalor laten yang tinggi agar dapat menjaga laju aliran refrigerant.

- f. Tekanan kerja dari fluida harus rendah, mendekati tekanan atmosfer. Hal ini akan memudahkan struktur sistem.

Secara umum terdapat dua kombinasi refrigerant dan absorbent yang digunakan saat ini. Kombinasi tersebut yaitu Ammonia-water systems dan water-lithium bromide systems. Kedua kombinasi tersebut digunakan pada aplikasi besar karena memerlukan bagian pompa dalam operasionalnya (Dossat, 2001).

2.3.1.1 Ammonia-water systems

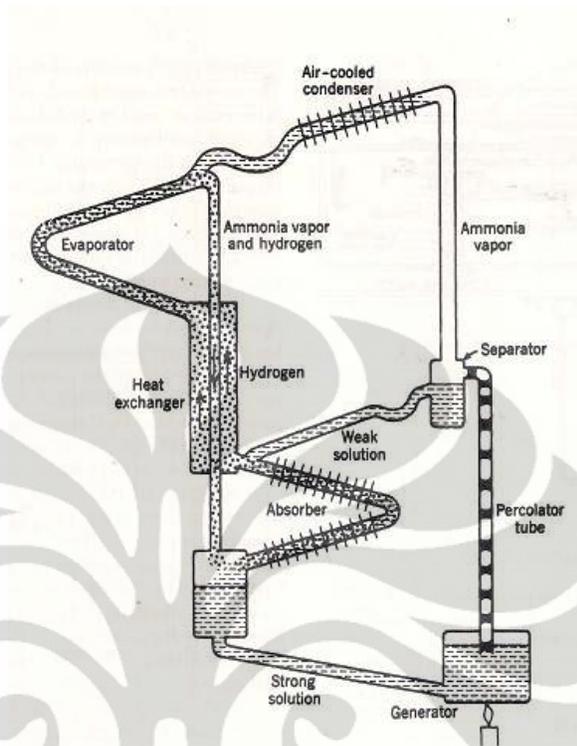


Gambar 2. 4 Diagram system absorpsi ammonia-water (Dossat, 2001)

Ammonia memiliki nilai kalor laten yang tinggi, mengurangi biaya refrigerant dan meringkaskan ukuran peralatan. Air memiliki affinity yang tinggi dalam menarik uap ammonia di evaporator. Kekurangan dari ammonia adalah sistem kerja memerlukan tekanan tinggi dan sifat ammonia yang beracun. Absorbent sistem yaitu air memiliki sifat volatile yang kurang maksimal. Akibatnya pada saat di generator, campuran tidak terurai sempurna yang mengakibatkan terdapat uap air yang nantinya

mengurangi efek pendinginan dan juga mengurangi kapasitas refrigerant ke evaporator. Karenanya dalam aplikasinya, sistem perlu diberikan analyzer dan rectifier. Analyzer berfungsi sebagai ruang distilasi. Suhu saturasi air lebih tinggi sehingga menyebabkan air akan terkondensasi dan kembali ke generator. Rectifier merupakan bagian yang berfungsi sebagai precondenser untuk menghilangkan uap air sehingga uap air kembali ke analyzer.

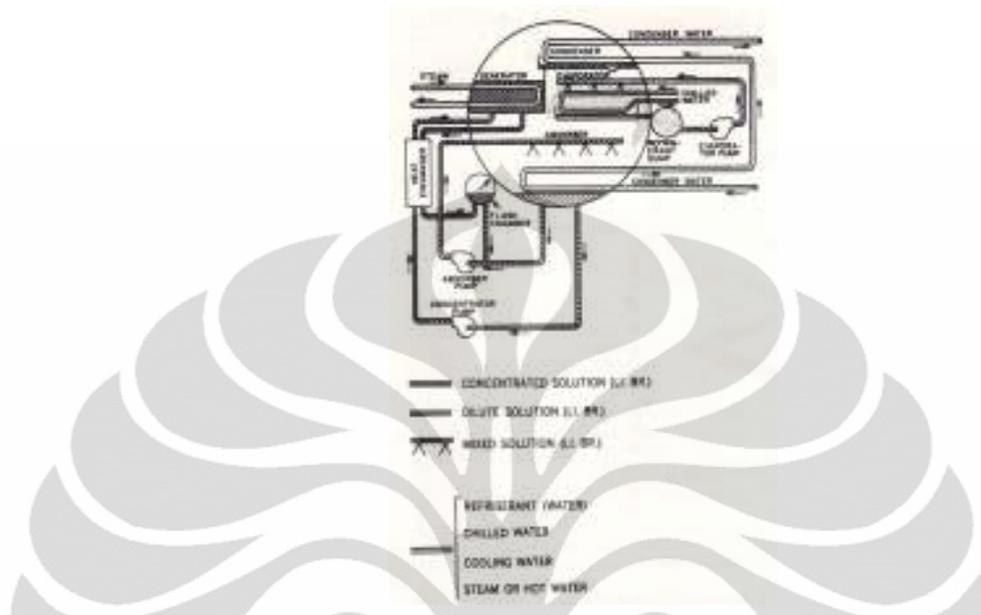
Pada aplikasi skala kecil, sistem ammonia-air memerlukan tambahan gas inert, contoh hydrogen. Dengan tambahan gas tersebut, maka pompa dapat dihilangkan dari sistem. Biasanya sistem ammonia-water-hydrogen menggunakan sumber panas generator dari energy listrik. Sistem dengan tambahan gas inert disebut sistem absorpsi domestik. Sistem ini menerapkan hukum Dalton tentang Tekanan Parsial. Teori ini bahwa tekanan total dari campuran gas dan uap merupakan jumlah dari tekanan parsial dari setiap gas atau uap pada campuran. Pada sistem ini, tekanan total dari gas inert, refrigerant dan absorbent sama di semua sistem. Hydrogen berada pada bagian bertekanan rendah yaitu absorber dan evaporator. Tekanan parsial dari ammonia pada bagian tersebut lebih rendah dibanding generator dan condenser. Tekanan parsial ammonia pada bagian bertekanan rendah hanya 10% dari tekanan parsial pada bagian bertekanan tinggi. Karena titik didih ammonia adalah fungsi dari tekanan parsial, maka dengan menurunkan tekanan parsial memungkinkan untuk menguapkan ammonia pada suhu yang cukup rendah. Dengan kata lain, gas inert memungkinkan ammonia untuk menguap pada tekanan dan suhu rendah yang mana juga mengkondensasi tekanan dan suhu tinggi di condenser.



Gambar 2. 5 Diagram System absorpsi ammonia-water-hydrogen (Dossat, 2001)

Larutan absorbent bersirkulasi melalui percolator tube yang merupakan pengganti pompa pada instalasi system yang besar. Panas yang diberikan ke generator mendidihkan ammonia sehingga uap mengalir ke atas. Hal ini menyebabkan absorbent ikut terbawa dan masuk ke separator. Karena gravitasi, maka absorbent mengalir menuju absorber. Hal inilah yang mengakibatkan hydrogen tidak berpindah ke bagian bertekanan tinggi. Ammonia masuk ke condenser dan berubah fasa menjadi cair kembali. Dilanjutkan masuk ke evaporator. Disini ammonia bercampur dengan gas hydrogen sehingga mengurangi tekanan uap secara maksimum. Ammonia menguap pada temperature rendah dan menyerap kalor laten dari lingkungan. Uap ammonia mengalir ke absorber karena penurunan tekanan parsial yang dihasilkan affinity dari air. Pergerakan ini juga mengakibatkan gas hydrogen terbawa menuju absorber. Akan tetapi karena hydrogen tidak terpengaruh affinity air maka gas hydrogen akan melalui absorber dan masuk kembali ke evaporator. Larutan tak jenuh kembali menuju generator dengan pengaruh gravitasi dan siklus berjalan kembali (Dossat, 2001).

2.3.1.2 Water-Lithium Bromide systems



Gambar 2. 6 Diagram siklus absorpsi water-lithium bromide (Dossat, 2001)

Pada system water-lithium bromide, air berfungsi sebagai refrigerant dan lithium bromide sebagai absorbent. Lithium bromide dipilih karena bersifat garam yang mempunyai affinity kuat dalam menarik uap air. Pemakaian system ini cukup sulit karena kondisi harus dijaga dengan teliti agar air dan lithium bromide dapat bersifat soluble (Dossat, 2001).

Refrigerant yang digunakan pada teknologi yang akan diaplikasikan adalah ammonia. Hal tersebut karena ammonia memiliki nilai kalor laten yang lebih tinggi dibanding Lithium bromide. Ammonia memiliki nilai kalor laten 1369 kJ/kg pada suhu -33.34°C sedangkan air yang digunakan pada sistem absorpsi air-lithium bromide, kalor laten yang dimiliki hanya 2260 kJ/kg pada suhu 100°C . Selain itu, sistem absorpsi air-lithium bromide memiliki sifat soluble yang lebih sulit dibanding sistem ammonia-air.

BAB III

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN SISTEM KOTAK PENDINGIN ABSORPSI

3.1 Kriteria Spesifikasi Sistem Pendingin Absorpsi

Dalam perancangan kotak pendingin absorpsi ini, ada beberapa kriteria yang harus diperhatikan dan dipenuhi dalam pembuatannya. Dengan pemberian kriteria ini diharapkan dapat menghasilkan alat yang sesuai dengan kondisi aplikasi. Beberapa kriteria yang diperlukan antara lain :

Tabel 3. 1 Daftar Kriteria Desain Sistem Pendingin Absorpsi

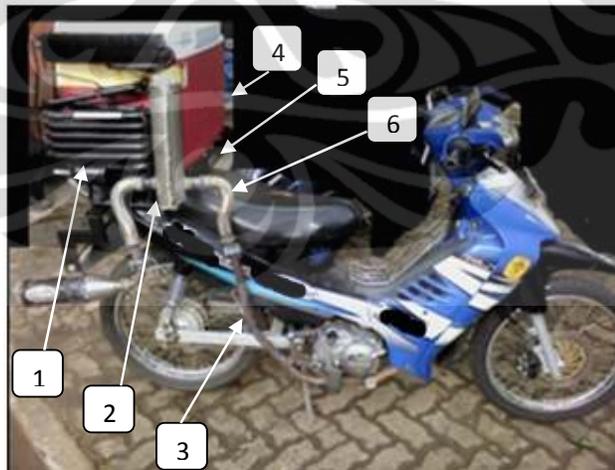
SPESIFIKASI	KRITERIA RANCANGAN
1. Fungsi	Mampu menjaga suhu kotak pendingin dan es yang ada pada kotak pendingin.
2. Konstruksi	Sederhana
3. Sistem Pendingin	Sistem pendingin yang menggunakan mesin absorpsi
4. Dimensi	Ringkas
5. Assembly	Mudah pemasangannya
6. Pemeliharaan	Perawatan mudah
7. Harga	Murah dengan menggunakan bahan baku standar yang mudah didapat di pasaran

3.2 Perancangan sistem

Perancangan sistem pendingin dengan penerapan sistem absorpsi ini dilakukan dengan tujuan dapat mendinginkan temperature kabin yang ada pada kotak penyimpanan ikan. Seperti diketahui, penyimpanan hasil tangkapan yang menggunakan es batu tidak dapat bertahan lama karena temperature lingkungan yang relatif tinggi. Sistem pendingin absorpsi yang dibuat diharapkan dapat menjadi sistem pendingin yang mudah digunakan dan mudah perawatannya. Perancangan dilakukan dengan memperhatikan penempatan alat rancangan agar aplikasi dapat optimal serta dapat menghasilkan performa yang efisien. Dalam perancangan sistem kotak pendingin absorpsi pada sepeda motor ini, terdapat tiga rancangan yang dibuat. Rancangan tersebut yaitu Desain 1, Desain 2, dan Desain 3.

3.2.1 Desain 1

Pada rancangan awal, kotak pendingin diletakkan dibagian belakang sepeda motor dengan tujuan memudahkan penggunaan alat. Rancangan dibuat ringkas dengan hanya memanjangkan pipa knalpot menuju generator yang dihubungkan dengan tabung penampung panas.



Gambar 3. 1 Gambar desain 1 sistem absorpsi pada sepeda motor

Keterangan :

1. Mesin Absorpsi
2. Tabung pemanas

3. Motor Exhaust
4. Box
5. Dudukan Box
6. Pipa fleksibel

Sistem pendingin absorpsi yang dibuat ini memiliki beberapa komponen yang memiliki fungsinya masing-masing. Berikut adalah komponen- komponen tersebut beserta penjelasan fungsinya.

1. Mesin Absorpsi

Sistem pendingin absorpsi menjadi prinsip kerja dari kotak pendingin absorpsi yang akan dibuat. Oleh karena itu, dibutuhkan mesin absorpsi yang ringkas dan sederhana. Mesin ini menggunakan ammonia sebagai refrigerant. Mesin yang digunakan adalah mesin absorpsi yang mudah dijumpai di pasaran. Dimensi mesin juga dipilih yang ringkas.



Gambar 3. 2 Mesin Absorpsi

2. Tabung Pemanas

Tabung pemanas dibuat dengan tujuan agar gas buang yang melewati tabung pemanas dapat terakumulasi suhunya di tabung tersebut. Hal ini bertujuan suhu yang terakumulasi dapat memansakan generator mesin absorpsi sehingga ammonia cair yang ada di dalam generator dapat berubah fasa menjadi uap ammonia. Tabung pemanas dibuat dengan ukuran panjang 30cm dan diameter 8cm.



Gambar 3.3 Tabung pemanas

3. Motor Exhaust

Motor Exhaust pada sepeda motor harus mengalami perubahan dengan harapan dapat memperoleh hasil performa yang optimal. Pemilihan bahan yang digunakan pada knalpot juga mengalami perubahan agar panas yang mencapai generator masih mempunyai suhu yang relative tinggi. Bentuk knalpot disesuaikan dengan ruang yang ada pada sepeda motor serta ditujukan agar dapat mencapai suhu optimal generator. Pada desain 1, pipa knalpot dipanjangkan hingga mencapai 110cm.

4. Box

Box yang digunakan sebagai kabin pendinginan adalah box dengan volume 51 Liter. Pemilihan box dengan kapasitas tersebut karena selama ini transportasi produk perikanan menggunakan box dengan kapasitas sejenis.



Gambar 3. 4 Box dan Dudukan box

5. Dudukan box

Dudukan box merupakan dudukan untuk penempatan mesin absorpsi pada sepeda motor. Dudukan ini dibuat dengan menyesuaikan ruang yang tersedia pada sepeda motor.

6. Pipa fleksibel

Pipa fleksibel disini digunakan karena dalam pembuatan desain 1 membutuhkan pipa yang mana dapat menjadi penghubung knalpot dengan tabung pemanas. Karena terdapat belokan yang mencapai 90° , maka pipa fleksibel dapat diaplikasikan.



Gambar 3.5 Pipa fleksibel

7. Isolator

Untuk menjaga panas dari mesin motor sampai ke generator, maka dibutuhkan isolator pada knalpot. Karenanya digunakan isolator guna menjaga panas dari mesin sepeda motor agar suhu yang mencapai generator dapat terjaga dan dapat menguapkan ammonia yang ada di dalam mesin absorpsi. Isolator yang digunakan pada knalpot yaitu asbes gulung dan aluminium foil.

3.2.2 Desain 2

Perancangan desain 1 memperoleh hasil yang tidak sesuai harapan. Oleh karena itu, desain mengalami perubahan menjadi desain 2 (Gambar 3.). Desain 2 mendapatkan perubahan yaitu mesin absorpsi diletakkan di samping motor dengan tujuan memperpendek panjang pipa motor exhaust. Suhu dingin dari mesin dipindahkan ke dalam box dengan menggunakan alat penukar kalor sederhana.



Gambar 3. 6 Hasil perancangan Desain 2

Pada Desain 2 (Gambar 3.6), komponen-komponen alat rancangan masih sama seperti desain 1 tetapi hanya ditambahkan alat penukar kalor dan pipa exhaust motor juga mengalami perubahan menjadi lebih pendek. Tabung pemanas juga dihilangkan pada desain 2. Komponen-komponen desain 2 yaitu:

1. Mesin absorpsi

Mesin absorpsi yang digunakan tetap sama. Perubahan yang dilakukan hanyalah peletakkan mesin menjadi di sebelah kanan motor dengan tujuan memperpendek pipa exhaust motor.

2. Box

Box yang digunakan tetap bervolume 51L. perubahan yang dilakukan yaitu box ditambahkan pipa tembaga di bagian dasarnya untuk mengalirkan dingin dari evaporator menuju box. Bagian dasar juga mengalami penggerindaan guna tempat memasukkan pipa tembaga yang dijadikan alat penukar kalor.

3. Pipa exhaust motor

Pipa exhaust motor dirubah panjangnya dengan menyesuaikan letak dari generator absorpsi. Pada desain 2 ini, panjang pipa exhaust motor menjadi 50cm dari lubang luaran mesin motor menuju generator mesin absorpsi.



Gambar 3. 7 Pipa exhaust motor pada desain 2

4. Alat penukar kalor

Alat penukar kalor pada desain 2 dibuat dengan tujuan mengalirkan temperature dingin dari evaporator menuju box dengan mengalirkan air dalam pipa tembaga. Alat penukar kalor ini menggunakan fluida air dengan bantuan pompa akuarium agar dapat mengalir dengan seterusnya. Alat penukar kalor yang dibuat terdiri dari komponen-komponen berikut.

a. Pipa Tembaga

Alat rancangan dipasang pada sepeda motor. Karena pemasangan mesin absorpsi diletakkan di samping kanan motor, maka temperature dingin di evaporator harus dipindahkan menuju kotak pendingin dengan heat exchanger. Kotak pendingin tidak dapat diletakkan di samping kanan sepeda motor berhimpitan dengan mesin absorpsi karena kesetimbangan dapat terganggu. Heat exchanger digunakan dengan menggunakan cairan etilen glikol yang dialirkan melalui pipa tembaga dengan dimensi diameter pipa 3/8 inci.



Gambar 3. 8 Pipa tembaga pada box

b. Plat Tembaga

Dalam pemindahan temperature dingin, aliran fluida bersuhu rendah dikonduksikan ke plat tembaga yang diletakkan di bagian dasar kotak pendingin.

c. Pompa Aquarium



Gambar 3. 9 Pompa akuarium

Aliran fluida untuk pemindahan suhu rendah dari evaporator tidak mampu berjalan secara alami. Oleh karena itu perlu pemasangan pompa yang dapat mengalirkan fluida. Pompa air untuk akuarium dapat digunakan karena dayanya rendah dan bias menggunakan sumber daya pada sepeda motor yaitu accumulator.

d. Selang

Selang digunakan sebagai tempat aliran fluida dari evaporator menuju kotak pendingin. Selang yang lebih fleksibel, sesuai dengan kondisi alat yang akan mengalami getaran saat digunakan.

e. Aroflex

Demi menjaga suhu fluida dari pengaruh lingkungan, selang penghubung dari evaporator menuju kotak pendingin harus diisolasi. Pengisolasian dilakukan dengan menambahkan aroflex.



Gambar 3. 10 Aroflex

3.2.3 Desain3

Dari perancangan yang dilakukan yaitu desain 1 dan desain 2, hasil percobaan kurang mencapai hasil yang diinginkan. Oleh karena itu, dilakukan perancangan ulang guna meningkatkan optimalisasi pendinginan. Desain 3 ini dilakukan dengan melakukan perubahan desain pipa exhaust motor dengan evaporator dihubungkan ke box sebagaimana desain 1.



Gambar 3. 11 Hasil Perancangan Desain 3

Desain 3 ini dibuat dengan memperpendek pipa exhaust motor yang kemudian dikondusikan dengan generator sistem agar dapat memanaskan

ammonia menjadi fasa uap. Desain 3 terdiri atas komponen mesin absorpsi, box dan pipa exhaust motor.

1. Mesin absorpsi

Mesin absorpsi yang digunakan merupakan mesin yang juga digunakan pada desain 1 dan desain 2. Mesin ini dipilih karena bentuk dan ukurannya ringkas. Hal ini memudahkan aplikasi pada sepeda motor.

2. Box

Box yang digunakan merupakan box yang juga digunakan pada desain 1 dan desain 2. Box dilubangi bagian sampingnya agar evaporator dari mesin absorpsi dapat berada di dalam box. Volume box adalah 51L.

3. Pipa exhaust motor

Pipa exhaust motor dibuat dengan panjang dari lubang gear box menuju generator sepanjang cm. Desain ini diambil dengan harapan suhu buangan dari mesin sepeda motor dapat terjaga sehingga ammonia pada generator dapat berubah fasa karena panas yang diterima.



Gambar 3.12 Pipa exhaust motor pada desain 3

3.3 Proses Perancangan dan Pembuatan

3.3.1.1 Desain 1

Desain 1 merupakan desain awal yang dibuat setelah mengetahui nilai performance dari mesin absorpsi. Sebelumnya telah dilakukan uji performance yang menghasilkan bahwa mesin dapat bekerja ketika suhu di generator mencapai lebih dari 120°C. desain 1 dibuat dengan menempatkan box yang digabungkan dengan mesin absorpsi di atas sepeda motor bagian belakang seperti gambar 3.2. Box sebelumnya dilubangi bagian sampingnya sesuai ukuran evaporator yang ada.

Tujuannya agar evaporator dapat berada di dalam box sehingga dapat mendinginkan suhu box secara langsung.

Generator dipanaskan dengan menggunakan gas buang motor. Gas buang motor dialirkan menuju generator melalui pipa knalpot yang dipanjangkan. Pipa knalpot dimodifikasi dengan menambah panjangnya yang selanjutnya dialirkan ke tabung pemanas yang diletakkan pada generator mesin absorpsi.

Untuk mempermudah rancangan, pipa knalpot ditambahkan dengan pipa fleksibel agar aliran dapat menuju tabung pemanas dengan optimal. Selain itu, sepanjang pipa knalpot diisolasi dengan menambahkan asbes gulung yang kemudian ditutup dengan aluminium foil.

3.3.2 Desain 2

Desain 2 dibuat karena ternyata suhu generator pada desain 1 tidak mencapai suhu optimal yang dapat menguapkan ammonia. Hal ini menyebabkan mesin absorpsi tidak bekerja karena siklus tidak berjalan. Ketika mesin tidak bekerja, maka suhu di evaporator tidak mengalami penurunan.

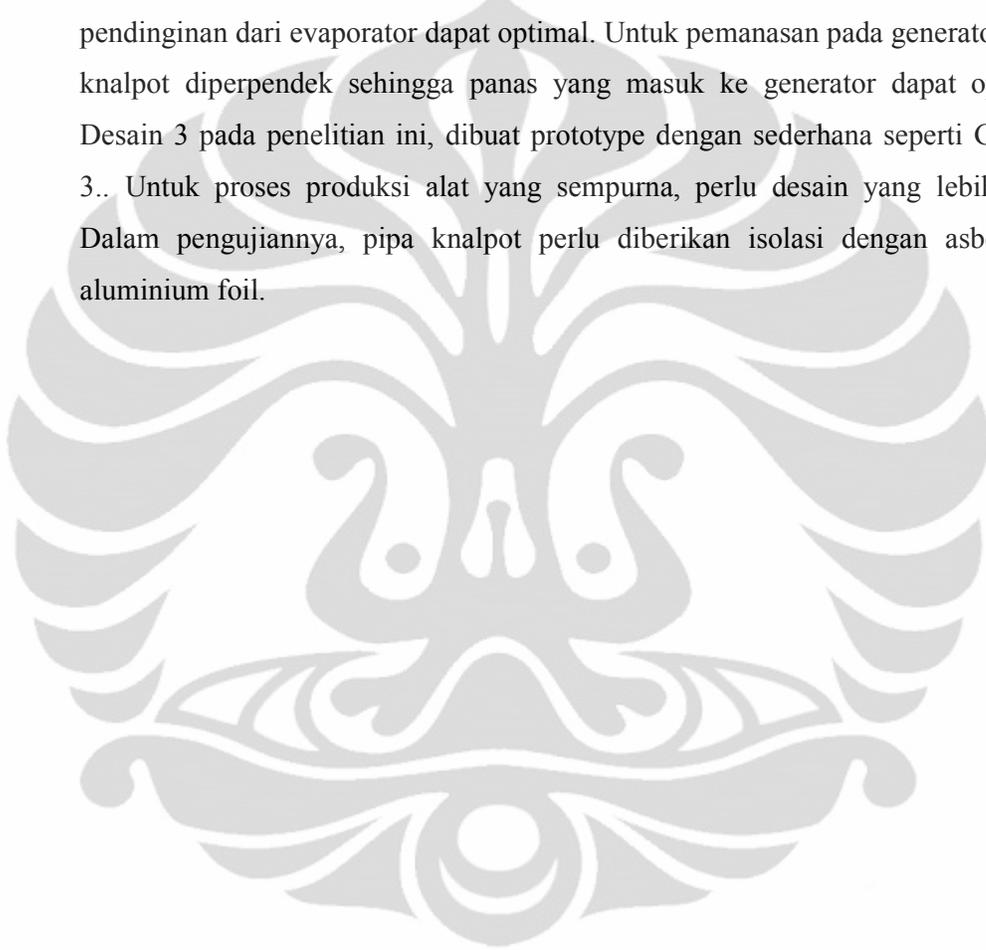
Desain 2 dibuat dengan rancangan merubah letak mesin absorpsi di bagian samping sepeda motor dengan box tetap pada bagian atas sepeda motor sebagaimana desain 1. Hal ini dilakukan agar pipa knalpot dapat diperpendek sehingga diharapkan suhu yang mencapai generator dapat optimal. Untuk memindahkan dingin yang ada pada evaporator, digunakan alat penukar kalor sederhana. Alat penukar kalor yang digunakan dengan mengalirkan air melalui pipa tembaga. Pipa tembaga diletakkan melalui evaporator yang diberikan sebuah kotak reservoir. Selanjutnya pompa ditambahkan guna mengalirkan air dari reservoir menuju pipa tembaga yang diletakkan di dasar box. Pipa tembaga kemudian diberikan plat tembaga pada bagian atasnya dengan tujuan dapat membuat permukaan box menjadi rata.

3.3.3 Desain 3

Desain 3 merupakan desain yang akhirnya digunakan karena desain 1 dan desain 2 kurang optimal. Desain 1 tidak optimal karena suhu generator tidak

terlalu tinggi sehingga mesin absorpsi tidak bekerja. Desain 2 sebenarnya sudah cukup mendinginkan suhu pada evaporator. Akan tetapi, alat penukar kalor tidak efektif karena volume box yang terlalu besar.

Desain 3 dirancang dengan menerapkan pertimbangan dari desain 1 dan desain 2. Mesin absorpsi diusahakan menempel langsung dengan box sehingga pendinginan dari evaporator dapat optimal. Untuk pemanasan pada generator, pipa knalpot diperpendek sehingga panas yang masuk ke generator dapat optimal. Desain 3 pada penelitian ini, dibuat prototype dengan sederhana seperti Gambar 3.. Untuk proses produksi alat yang sempurna, perlu desain yang lebih baik. Dalam pengujiannya, pipa knalpot perlu diberikan isolasi dengan asbes dan aluminium foil.



BAB IV

PENGUJIAN SISTEM KOTAK PENDINGIN ABSORPSI

4.1 Tujuan Pengujian

Proses pengujian yang dilakukan bertujuan untuk mendapatkan data-data yang akan digunakan untuk mengetahui performa dari kotak pendingin sistem absorpsi yang memanfaatkan panas dari gas buang sepeda motor, sehingga dapat diambil kesimpulan mengenai performa kotak pendingin yang telah dirancang. Pengujian yang dilakukan yaitu uji performance mesin absorpsi, pengujian desain 1, pengujian desain 2, dan pengujian desain 3.

4.2 Komponen Pengujian

Dalam melakukan proses pengujian performa dari kotak pendingin sistem absorpsi, dibutuhkan peralatan pendukung yang terdiri dari beberapa alat seperti sensor temperatur berupa termokopel dan data akuisisi.

4.2.1 Termokopel

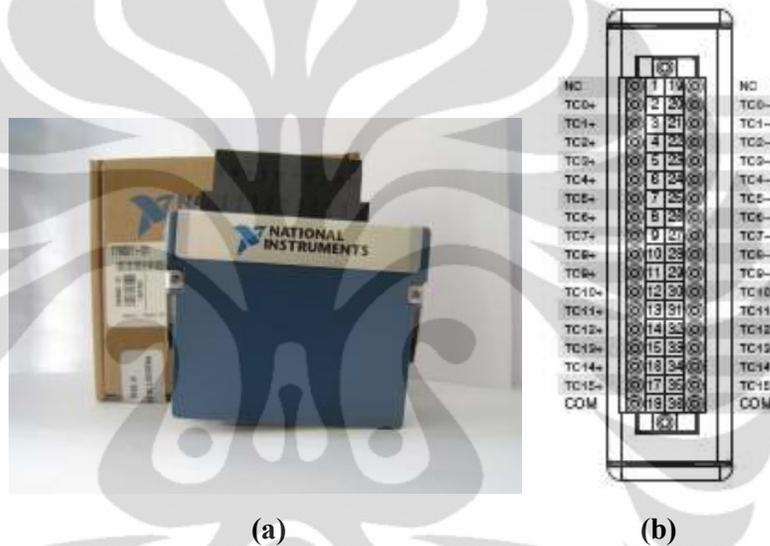


Gambar 4. 1 Sensor Termokopel

Termokopel adalah sensor pengukuran temperatur yang digunakan baik dalam proses pengujian performa kulkas absorpsi maupun kulkas peltier. Tipe

termokopel yang digunakan adalah termokopel tipe K yang umum digunakan, mudah dicari, lebih murah dan tersedia untuk rentang temperatur -200°C hingga 1200°C (Koestoer). Untuk keakuratan data yang didapat, termokopel harus diletakkan pada posisi yang tepat, karena pemasangan termokopel pada tempat yang tidak tepat akan mengakibatkan data yang tidak tepat akan menghasilkan data pengujian yang tidak akurat.

4.2.2 Modul *National Instrument*



Gambar 4.2 (a) Modul *National Instrument*, (b) susunan *channel* modul NI 9213

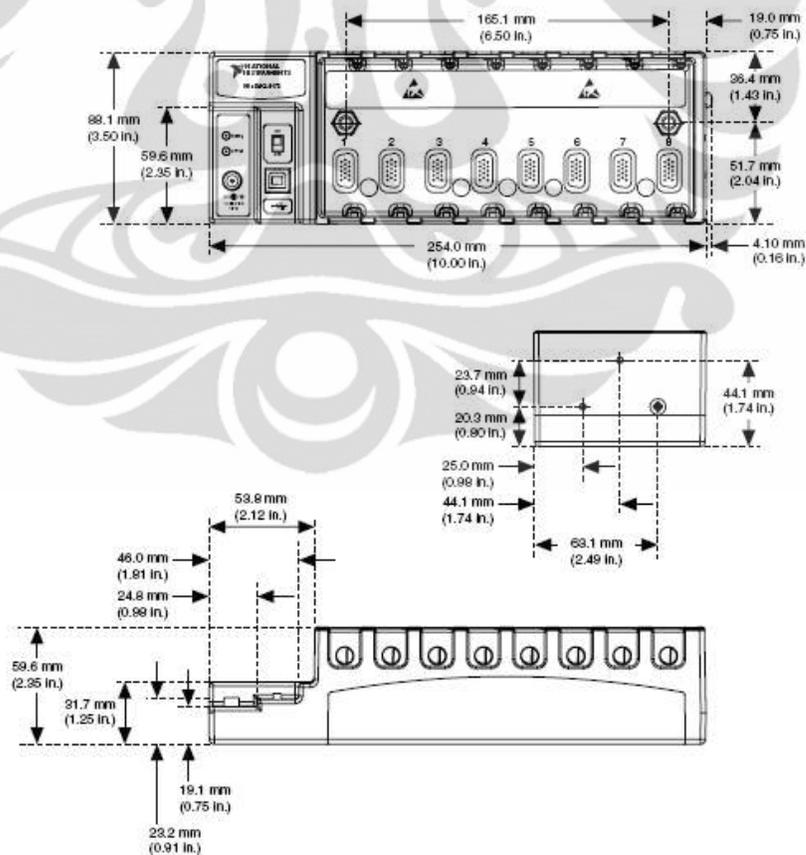
Modul yang digunakan adalah modul NI tipe 9213 yang memiliki 16 *channel* untuk masukan termokopel. Modul tipe ini selain memiliki *channel* yang memungkinkan untuk menggunakan termokopel dalam jumlah banyak, juga dapat digunakan untuk pengukuran termokopel tipe J, K, T, S, B, E, R, dan N. Modul ini menggunakan system *spring terminals* sebagai tempat memasang termokopel ke modul yang membuat pemasangannya lebih mudah (Manual book NI).

4.2.3 National Instrument Data Acquisition



Gambar 4.3 Data aquisisi National Instrument

NI DAQ yang digunakan adalah tipe *chassis* cDAQ-9178 NI Compact DAQ dengan 8 *slot* untuk modul NI. *Chassis* tipe mampu mengukur rentang yang sangat luas dari *analog* dan *digital* I/O dan sensor menggunakan *Hi-Speed USB 2.0 interface*.



Gambar 4.4 Dimensi cDAQ-9172 dalam mm (inci)[23]

4.2.4 Bejana Ukur



Gambar 4.5 Bejana ukur pyrex

Bejana ukur yang digunakan adalah bejana ukur yang terbuat dari pyrex dengan volume maksimum 1000ml. Bejana ini adalah tempat menampung air sebagai beban kalor untuk pengujian performa kotak pendingin sistem absorpsi yang memanfaatkan panas dari gas buang sepeda motor.

4.2.5 Kabin Refrigerator



Gambar 4.6 Box sebagai kabin refrigerator

Kabin refrigerator yang digunakan untuk pengujian performa kotak pendingin absorpsi adalah box dengan volume 51L yang telah dimodifikasi. Perubahan yang dilakukan

4.3 Instalasi Pengujian

4.3.1 Uji Performance Mesin Absorpsi

Pengujian awal yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengujian performance mesin absorpsi. Pengujian performance dilakukan untuk mengetahui kinerja mesin absorpsi. Dengan data tersebut, maka dapat dilakukan perbandingan antara mesin absorpsi dengan pemanas listrik dan mesin absorpsi dengan menggunakan panas dari gas buang sepeda motor. Proses pengujian performa mesin absorpsi dilakukan dengan melakukan hal berikut ini:

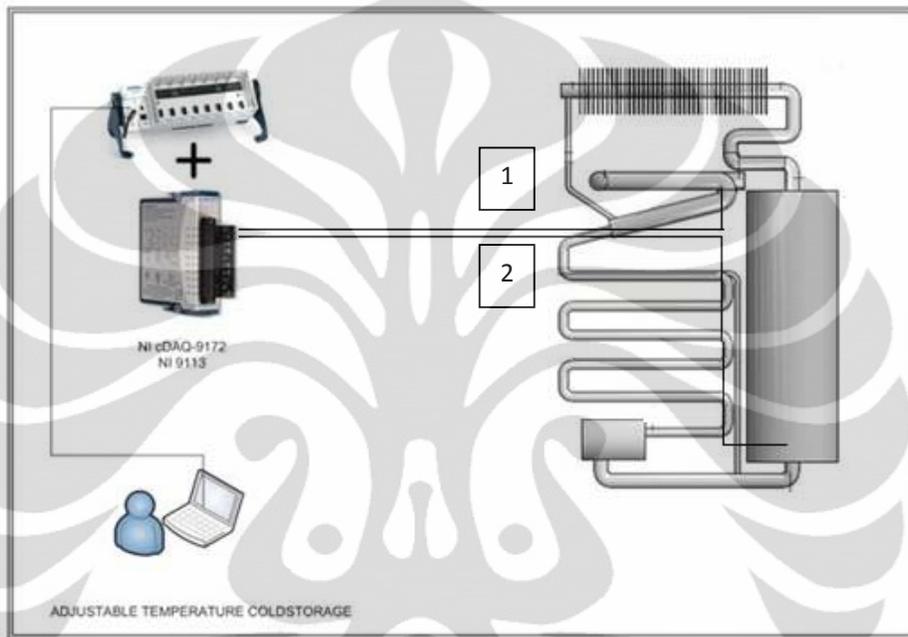
- a. Hubungkan mesin absorpsi dengan pemanas listrik yang dihubungkan dengan temperature controller.



Gambar 4.7 Instalasi Uji performance mesin absorpsi

- b. Letakkan termokopel pada titik-titik yang akan diamati. [ada pengujian kali ini, suhu yang akan dilihat adalah suhu generator dan suhu pada evaporator. Pengukuran dilakukan pada Laboratorium Applied Heat Transfer dengan suhu ambient 25°C. Dalam peletakkan termokopel, cat pelapis mesin harus dikelupas lebih dahulu agar data temperature yang didapatkan dapat akurat.
- c. Termokopel selanjutnya dihubungkan dengan modul National Instrument 9113 yang dapat menjadi data akuisisi.
- d. National instrument diaktifkan dan dihubungkan dengan computer yang mana pembacaannya menggunakan software LabView. Dengan software tersebut, dapat dilakukan set up terhadap tiap sensor yang dibutuhkan serta menjadi sarana check up apakah termokopel sudah tepat atau belum dalam penginstalannya.

- e. Dalam pengujian, aktifkan pembacaan data melalui Labview selama +/- 5 menit tanpa adanya pemanasan. Tujuan dari hal ini adalah agar diketahui suhu awal dari mesin absorpsi.
- f. Pengujian dilakukan dengan memberikan panas dengan sumber daya listrik AC selama 75 menit.



Gambar 4.8 Skema uji performance

Keterangan Gambar:

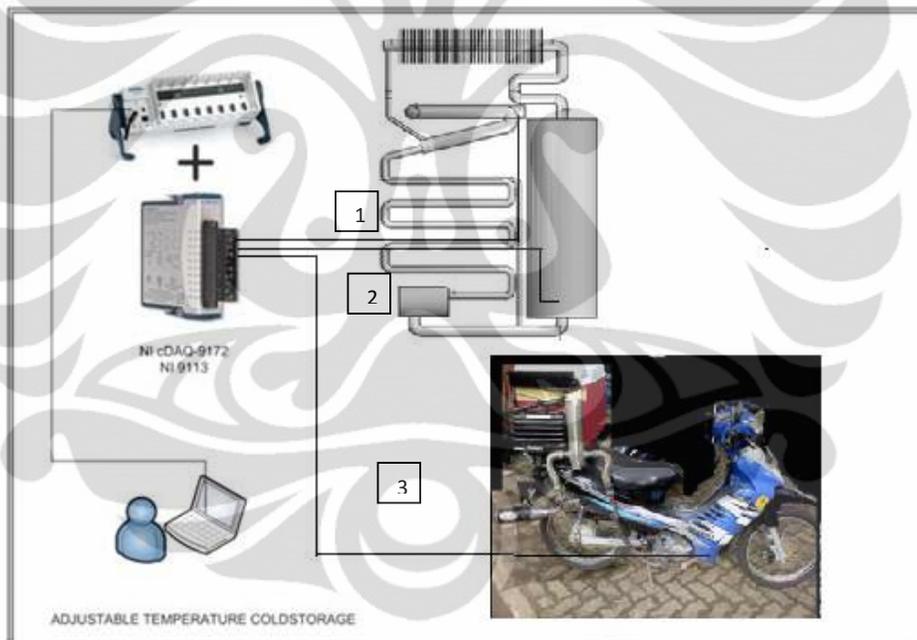
1. Termokopel dipasang pada evaporator
2. Termokopel dipasang pada generator

4.3.2 Pengujian Desain 1

Pengujian yang kedua adalah menguji performa alat rancangan desain 1. Desain 1 dirancang dengan box yang menyatu dengan mesin absorpsi dengan mendapatkan panas dari pipa knalpot yang dipanjangkan. Proses pengujiannya adalah sebagai berikut.

- a. Pada pengujian desain 1, termokopel diletakkan pada exhaust, generator mesin absorpsi dan juga pada evaporator.

- b. Termokopel dihubungkan dengan modul National Instrument.
- c. Pengaturan set up pada software LabView untuk tiap sensor yang dibutuhkan.
- d. Aktifkan pembacaan data dari Labview selama 5 menit awal tanpa mengaktifkan mesin sepeda motor. Pengujian dilakukan di luar Laboratorium Manufaktur dan Proses Produksi dengan temperature lingkungan 32°C.
- e. Pengujian dilakukan dengan menyalakan mesin sepeda motor dengan rpm rendah dan stabil.
- f. Pengambilan data dilakukan selama 75 menit termasuk start up mesin.



Gambar 4.9 Skema Pengujian Desain 1

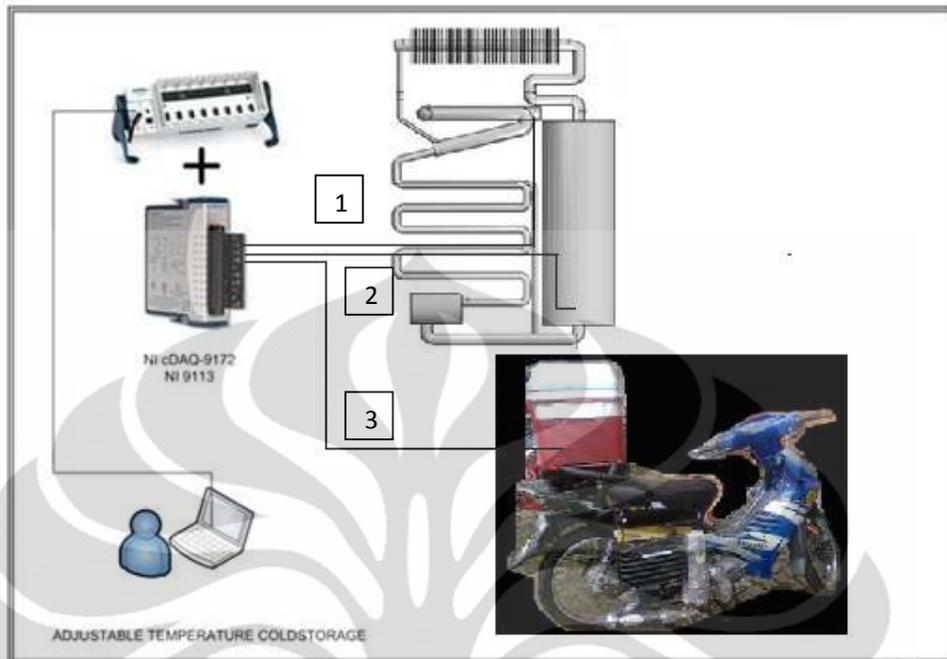
Keterangan Gambar:

1. Termokopel dipasang pada evaporator
2. Termokopel dipasang pada generator
3. Termokopel dipasang pada exhaust

4.3.3 Pengujian Desain 2

Pengujian desain 2 dilakukan untuk mengetahui kinerja alat desain 2. Desain 1 didapatkan hasilnya tidak memuaskan sehingga desain dirubah dengan memperpendek pipa exhaust dan temperature dingin dari evaporator ditransfer dengan alat penukar kalor sederhana. Proses pengujian desain 2 adalah sebagai berikut.

- a. Pada desain 2, temperature yang diinginkan yaitu temperature pada generator, evaporator, dan plat tembaga di dalam box. Oleh karena itu, termokopel diletakkan pada ketiga titik tersebut.
- b. Hubungkan termokopel pada modul National Instrument.
- c. Atur set up tiap sensor yang digunakan dengan software LabView.
- d. Aktifkan pembacaan data dari Labview selama 5 menit awal tanpa mengaktifkan mesin sepeda motor. Pengujian dilakukan di luar Laboratorium Manufaktur dan Proses Produksi dengan temperature lingkungan 32°C.
- e. Pengujian dilakukan dengan menyalakan mesin sepeda motor dengan rpm rendah dan stabil.
- f. Pengambilan data dilakukan selama 75 menit termasuk start up mesin.



Gambar 4.10 Skema Pengujian Desain 2

Keterangan Gambar:

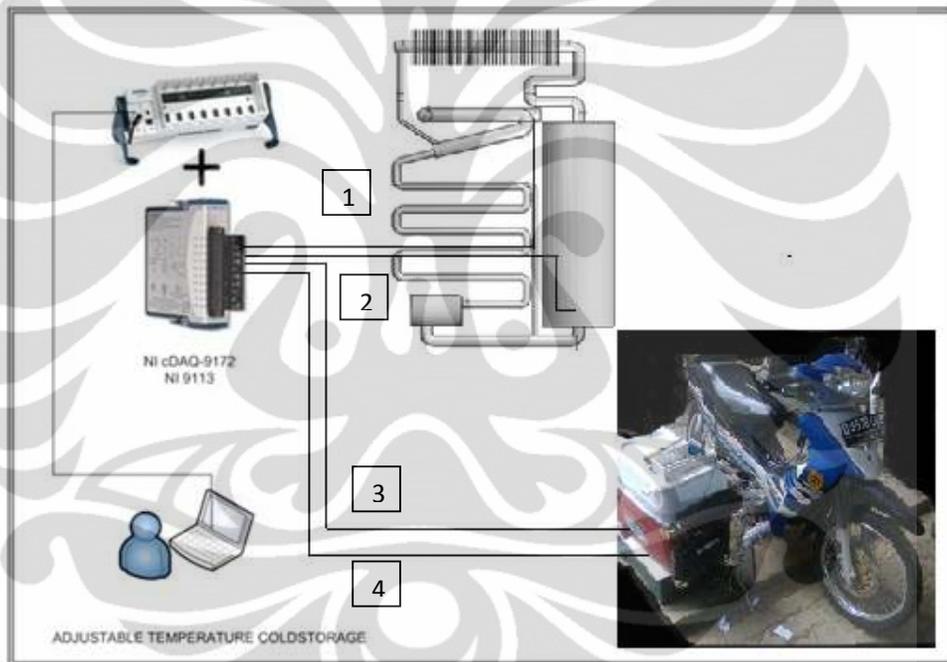
1. Termokopel dipasang pada evaporator
2. Termokopel dipasang pada generator
3. Termokopel dipasang pada plat tembaga di dalam box

4.3.4 Pengujian Desain 3

Modifikasi pipa knalpot pada desain 1 mengakibatkan mesin absorpsi tidak dapat bekerja. Pada desain 2, alat penukar kalor kurang optimal karena suhu evaporator kurang optimal ditambah kotak pendingin memiliki volume yang besar. Oleh karena itu, rancangan alat mengalami perubahan kembali menjadi desain 3. Untuk menguji performanya maka dilakukan proses pengujian sebagai berikut.

- a. Pada desain 3, suhu yang ingin diketahui adalah pada generator, evaporator, kabin kotak dan air pada kabin. Termokopel diletakkan pada titik-titik tersebut.

- b. Hubungkan termokopel dengan modul National Instrument agar data dari termokopel dapat terbaca.
- c. Lakukan set up untuk tiap sensor dengan software LabView.
- d. Lakukan pembacaan data melalui LabView selama 5 menit tanpa mengaktifkan mesin sepeda motor terlebih dahulu.
- e. Aktifkan sepeda motor dan nyalakan mesin dengan putaran mesin steady.
- f. Ambil data selama 90 menit untuk tiap variasi data.



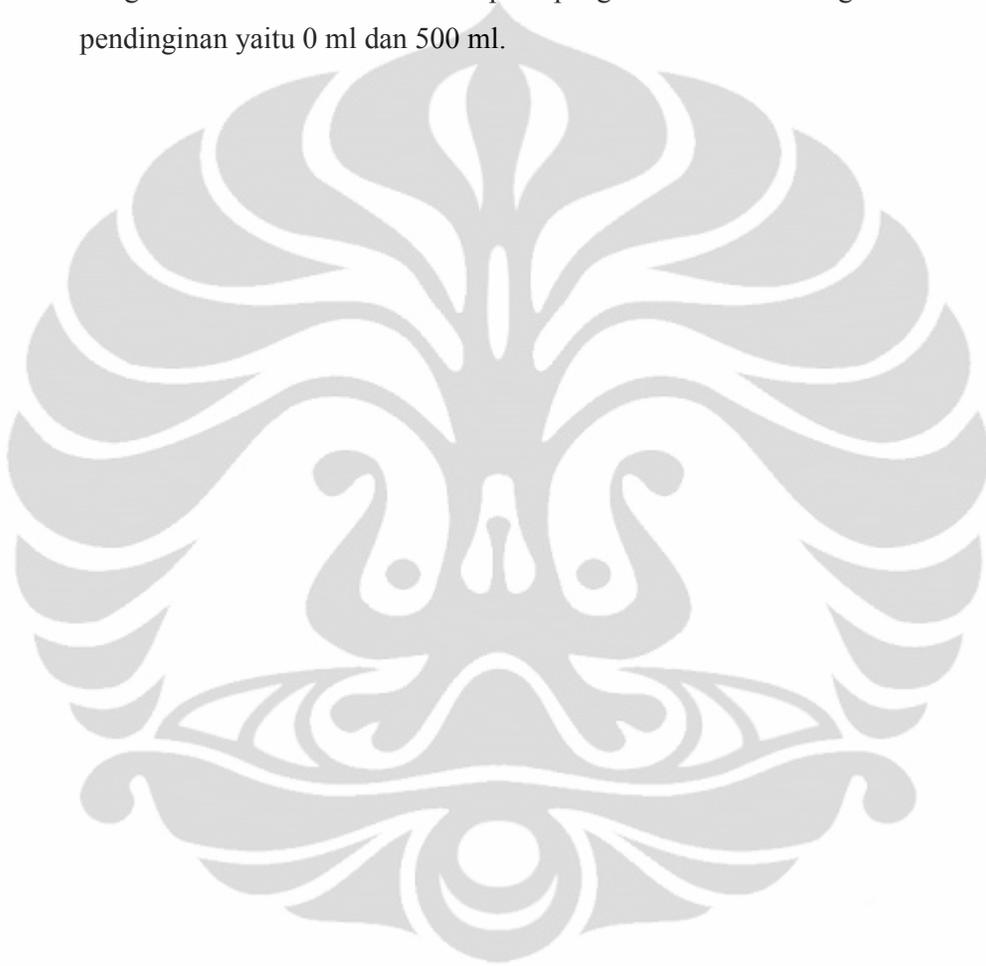
Gambar 4.11 Skema Pengujian Desain 3

Keterangan Gambar:

1. Termokopel dipasang pada evaporator
2. Termokopel dipasang pada generator
3. Termokopel dipasang pada kabin
4. Termokopel dipasang pada Air

4.3.5 Variasi Pengambilan Data

Pengujian performa serta pengambilan data dilakukan di dua tempat yaitu di laboratorium Applied Heat Transfer Engineering Center untuk uji performance mesin absorpsi dan Laboratorium Manufaktur & Proses Produksi DTM FT UI. Pengambilan data tersebut meliputi pengambilan data dengan variasi beban pendinginan yaitu 0 ml dan 500 ml.



BAB V

ANALISA DAN HASIL PERHITUNGAN

5.1 Analisa Rancangan & Grafik

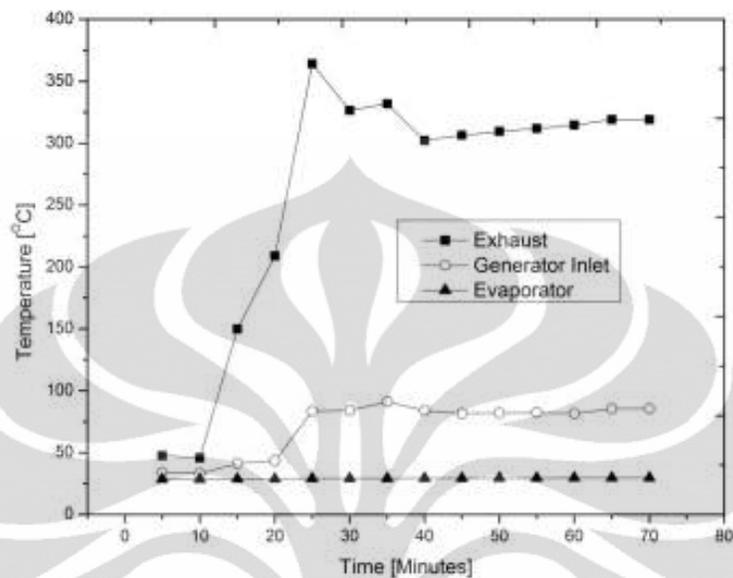
Dalam penelitian ini, terdapat tiga buah rancangan yang telah dibuat. Perubahan rancangan dilakukan karena factor tertentu. Ketiga rancangan juga telah dilakukan pengujian yang nantinya bisa didapatkan data yang disajikan dalam bentuk grafik. Grafik tersebut merupakan data mentah yang perlu analisa lebih lanjut.

5.1.1 Desain 1



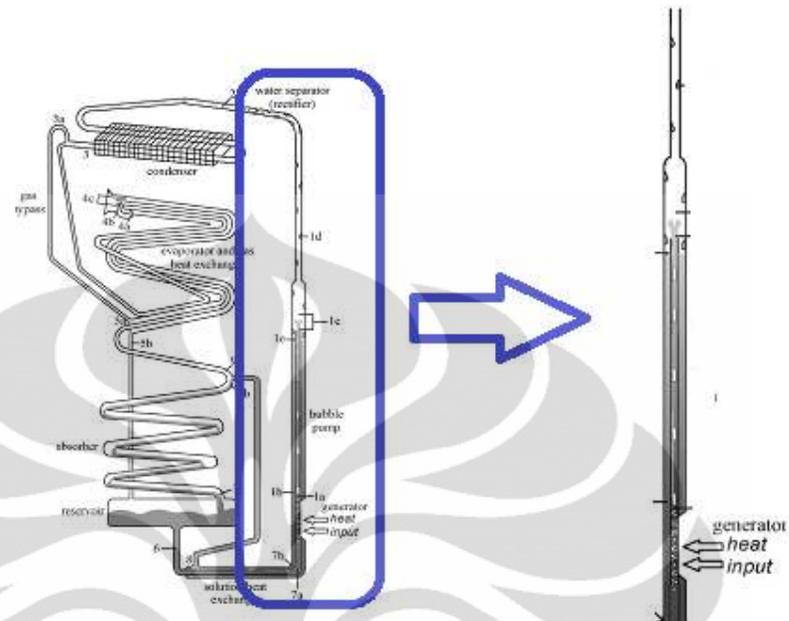
Gambar 5.1 Hasil Pembuatan Desain 1

Desain awal dirancang dengan pertimbangan membuat rancangan yang sederhana agar pemasangan pada sepeda motor mudah. Selain itu, modifikasi yang dilakukan juga tidak terlalu merubah desain yang ada pada sepeda motor. Dari desain ini, pengujian dilakukan dengan menghasilkan grafik sebagai berikut:



Gambar 5.2 Grafik Hasil Pengujian Desain 1

Dari grafik di atas, diketahui bahwa suhu yang memasuki generator hanya mencapai 80°C . Suhu tersebut tidak mampu menguapkan ammonia secara keseluruhan yang mengakibatkan sistem tidak berjalan. Selain itu, desain 1 menggunakan tabung pemanas pada generator mesin absorpsi yang mempunyai panjang 30cm. Hal tersebut merupakan kesalahan fatal karena generator mesin absorpsi hanya sepanjang 12cm. Perpanjangan dari pipa dibuat dengan tujuan menurunkan suhu larutan tak jenuh dari ammonia-air yang ikut berubah fasa. Larutan tak jenuh yang suhunya turun pada perpanjangan tersebut, nantinya akan kembali ke generator. Bagian perpanjangan pipa dari generator ini disebut *rectifier*.



Gambar 5.3 Generator pada Mesin Absorpsi

Ketika pemanasan diberikan sepanjang 30cm, mengakibatkan *rectifier* ikut terkena panas sehingga air yang merupakan absorbent tidak terpisah dengan uap ammonia. Hal ini menyebabkan siklus refrigerasi absorpsi tidak berjalan. Siklus yang tidak berjalan tidak dapat menimbulkan efek pendinginan sehingga desain 1 dapat dikatakan gagal.

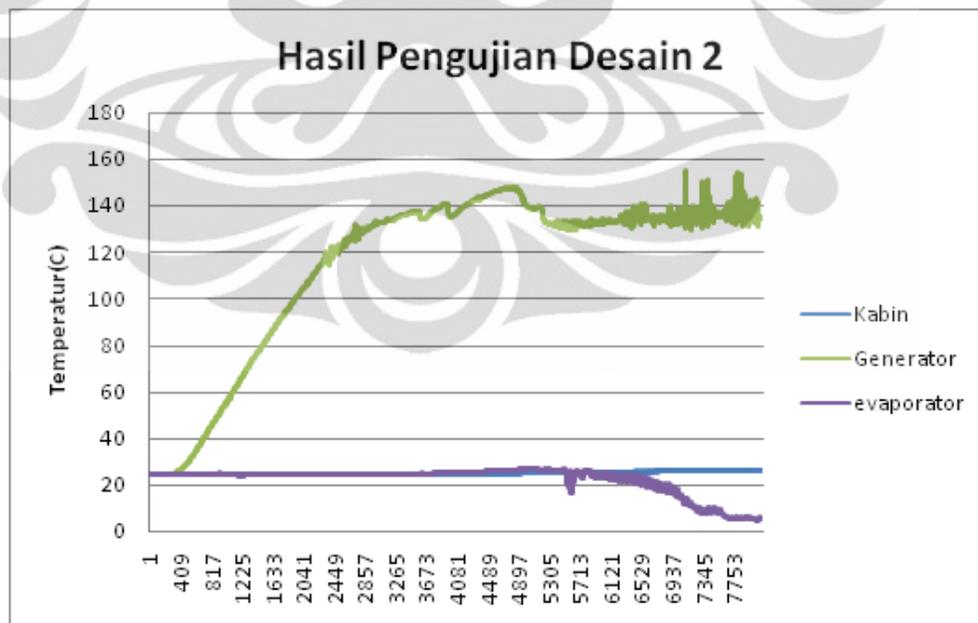
5.1.2 Desain 2

Desain 2 dibuat dengan memperpendek panjang pipa exhaust motor. Dengan hal tersebut, diharapkan suhu gas buang yang mencapai generator tinggi dan dapat mengaktifkan sistem. Desain 2 juga menghilangkan komponen tabung pemanas dengan pipa knalpot yang dikonduksikan secara langsung dengan generator mesin absorpsi. Panjang pipa knalpot yang dikonduksikan disesuaikan dengan panjang generator agar pemisahan uap ammonia dari larutan ammonia-air dapat terjadi. Untuk efek pendinginan, dibuat suatu alat penukar kalor sederhana dengan cairan air.



Gambar 5.4 Hasil Pembuatan Desain 2

Desain 2 kemudian dilakukan pengujian dengan didapatkan hasil grafik sebagai berikut :



Gambar 5.5 Grafik Hasil Pengujian Desain 2

Dari grafik diatas didapatkan suhu generator mengalami peningkatan disbanding desain satu yaitu mencapai 134°C . Dengan suhu tersebut, didapatkan suhu evaporator mengalami efek pendinginan hingga mencapai 4°C setelah pemanasan selama 135 menit. Evaporator mulai mengalami pendinginan setelah sepeda motor aktif selama 87 menit. Hal ini terjadi karena sistem beroperasi akibat diberikan sejumlah kalor ke dalam sistem sehingga dibutuhkan kalor yang cukup untuk mengoperasikan siklus sistem ini. Saat sistem tersebut diaktifkan, heater membutuhkan waktu untuk memberikan sejumlah kalor kepada sistem hingga temperatur kerjanya tercapai. Dari hasil pengujian, efek pendinginan akan mulai bereaksi ketika suhu generator mencapai 134°C . Dari grafik, dapat diketahui bahwa alat penukar kalor yang digunakan tidak efektif. Hal ini dapat dilihat dari hasil pengujian yang menunjukkan bahwa suhu kabin tidak mengalami pendinginan. Hal ini disebabkan reservoir air kurang besar volumenya sehingga efek pendinginan tidak terpindahkan secara optimal.

5.1.3 Desain 3

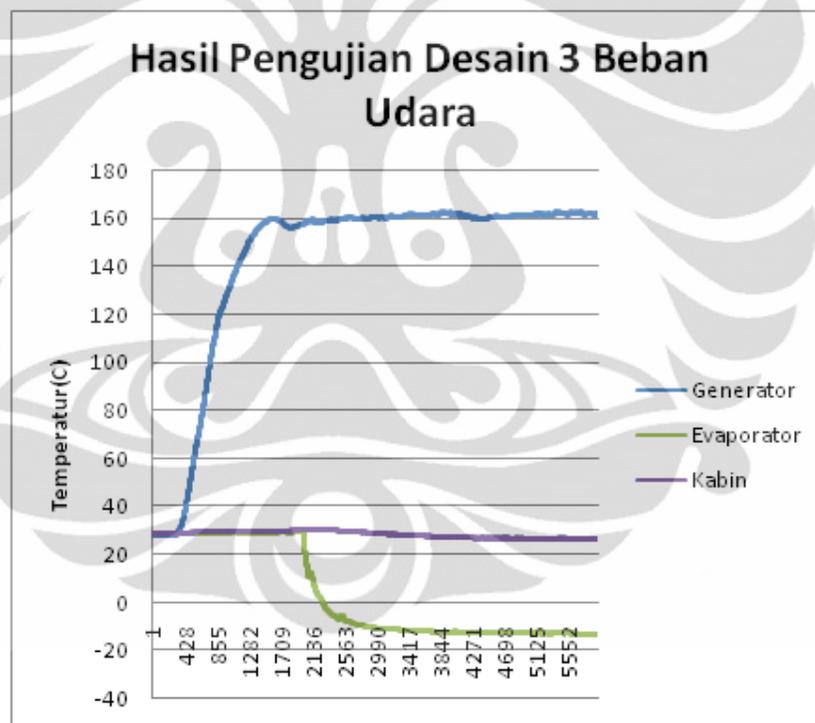


Gambar 5.6 Hasil Pembuatan Desain 3

Desain 3 dirancang karena suhu generator masih belum optimal. Suhu yang dicapai pada desain 2 hanya mencapai 134°C sedangkan suhu generator akan

optimal dengan suhu 150-170°C. Oleh karena itu, desain 3 dibuat dengan panjang pipa exhaust yang pendek sekitar 30cm dari lubang exhaust mesin motor. Untuk pemanfaatan efek pendinginan, digunakan seperti desain 1 yaitu dengan pendinginan langsung tanpa tambahan alat penukar kalor seperti desain 2. Desain 3 dilakukan pengujian sebanyak 2 kali, yaitu dengan beban udara kabin dan beban udara yang ditambahkan dengan air bervolume 500 ml. untuk volume kabin diambil box dengan volume total 51 liter.

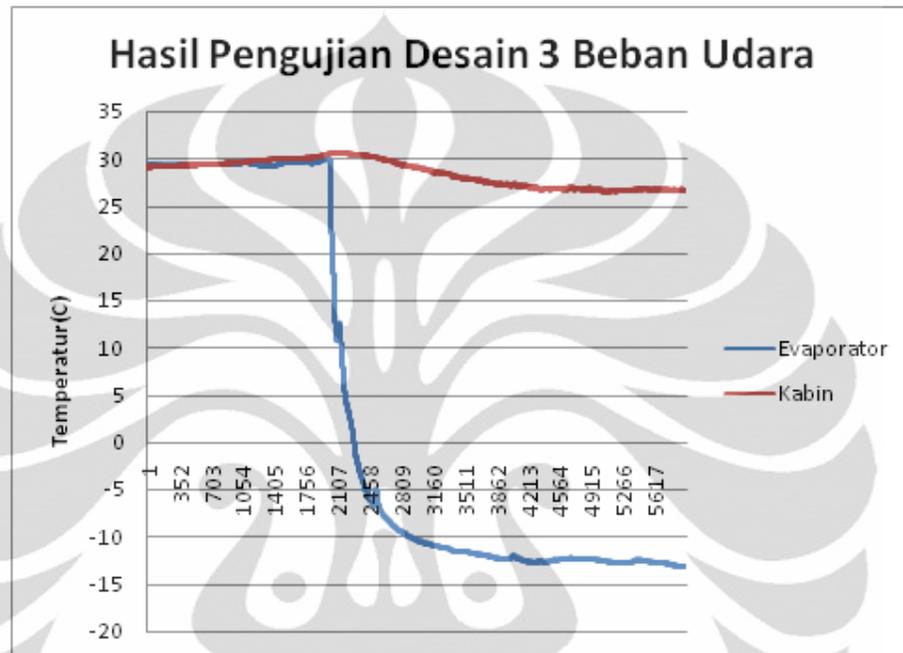
Untuk pengujian pertama, yaitu dengan beban udara pada kabin, dilakukan pengujian selama 94 menit dengan temperature udara ambient +/- 32 °C. Hasil pengujiannya adalah sebagai berikut :



Gambar 5.7 Grafik Hasil Pengujian Desain 3 dengan Beban Udara

Dari hasil grafik di atas, dapat diketahui bahwa temperature yang mencapai generator sekitar 161°C. Temperatur tersebut cukup tinggi untuk menguapkan fasa ammonia dari larutan campuran ammonia dan air. Pemisahan uap juga berhasil karena bagian rectifier, yaitu di atas generator tidak

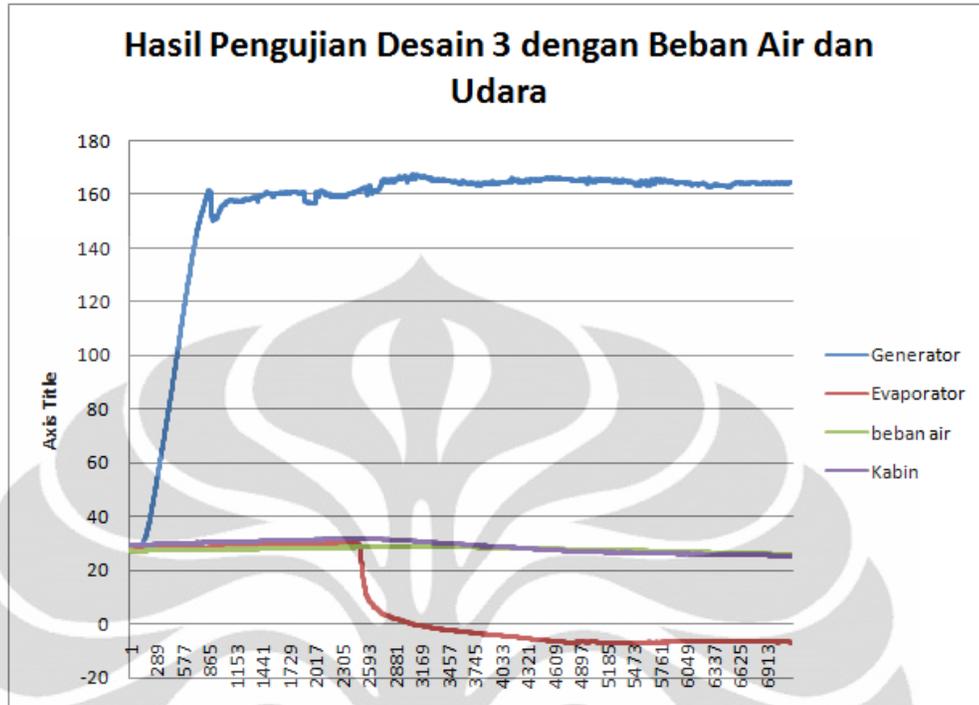
mendapatkan panas yang tinggi sehingga larutan tak jenuh ammonia dan absorbent dapat kembali ke absorber tanpa ikut ter evaporasi absorbent yang ada tersebut. Seperti diketahui sebelumnya, pemisahan yang kurang sempurna dapat menyebabkan siklus tidak berjalan.



Gambar 5. 8 Grafik Penurunan Temperatur Kabin pada Pengujian Desain 3 dengan Beban Udara

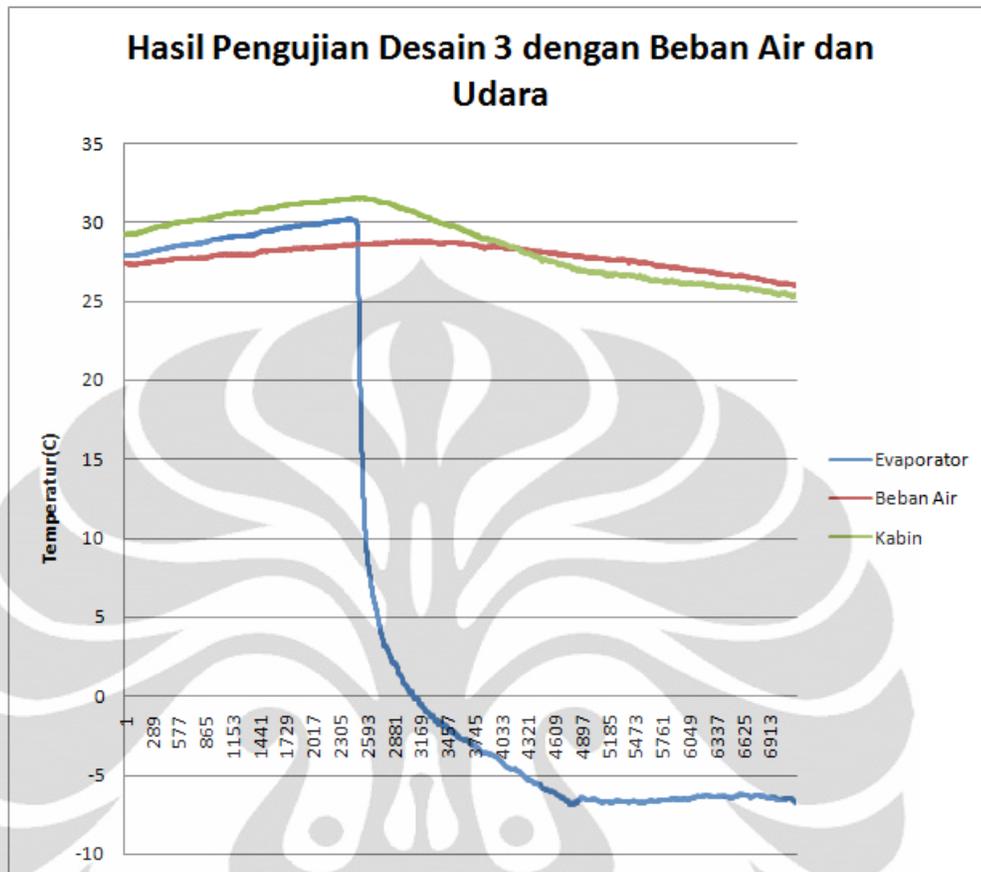
Efek pendinginan terjadi ketika mesin telah aktif selama 28 menit. Hal ini karena generator baru mencapai suhu optimal pemanasan sebesar 157°C . seiring waktu dengan terakumulasinya kalor yang ada pada generator, menyebabkan pendinginan tetap berjalan dan dapat berjalan optimal. Setelah pengujian selama 95 menit, didapatkan efek pendinginan berhasil menurunkan suhu kabin dari suhu awal yaitu 30.41°C menjadi 26.48°C dengan temperature ambient 32°C .

Selanjutnya, dilakukan pengujian kedua dengan memberikan sink dari aluminium yang diletakkan pada evaporator dan ditambah dengan beban pendinginan air sebanyak 500ml dan sisanya udara pada kabin. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan didapatkan grafiknya sebagai berikut :



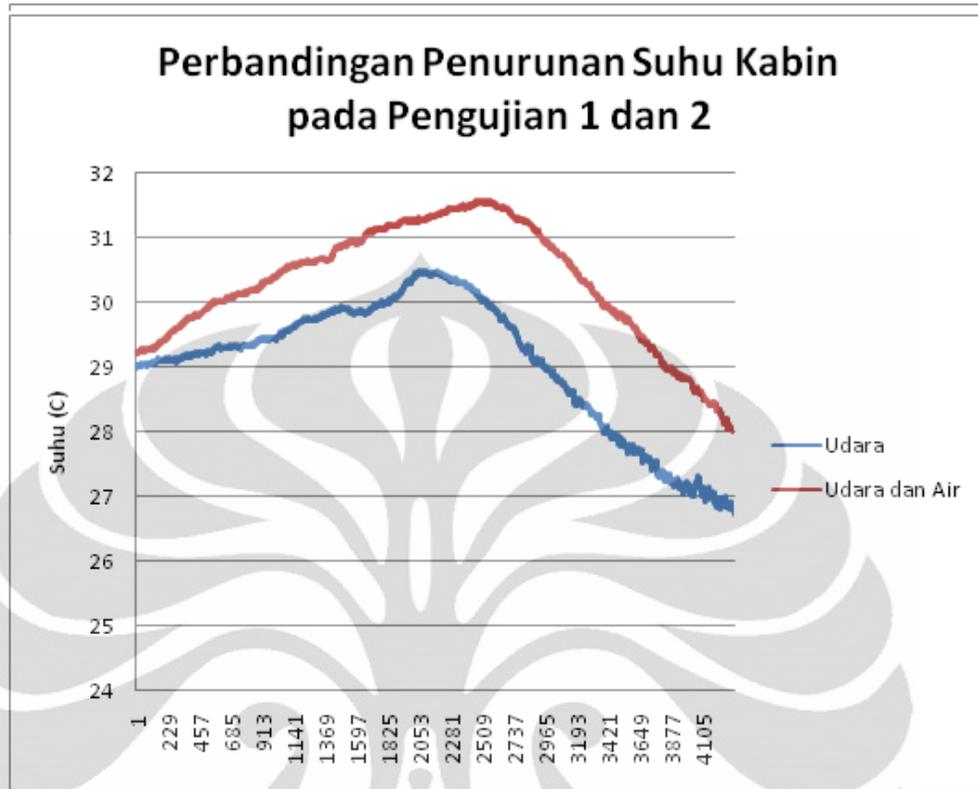
Gambar 5.9 Grafik Hasil Pengujian Desain 3 dengan Beban Udara dan Air

Dari grafik hasil pengujian desain 3 di atas yaitu dengan beban air sebanyak 500ml ditambah udara pada kabin, didapatkan bahwa evaporator mengalami efek pendinginan setelah temperature generator mencapai 161°C. Pengujian dilakukan selama 118 menit dengan ambient 32°C. Panas yang diterima generator berhasil menguapkan ammonia dari larutan campuran antara air dan ammonia sehingga siklus refrigerasi absorpsi dapat terjadi dan menghasilkan efek pendinginan.



Gambar 5.10 Grafik Suhu Kabin pada Pengujian Desain 3 dengan Beban Udara dan Air

Efek pendinginan mulai terjadi setelah mesin motor aktif selama 39 menit. Temperature evaporator yang dihasilkan setelah pengujian yaitu -6.7°C . Nilai tersebut berubah karena pada pengujian ini, ditambahkan sink aluminium yang bertujuan memperluas efek pendinginan. Setelah dilakukan pengujian selama 118 menit, didapatkan temperature kabin mengalami penurunan temperature sebesar 6.08489°C yaitu dari suhu awal 31.54194°C menjadi 25.45705°C .



Gambar 5. 11 Grafik Perbandingan Pengujian 1 (beban udara) dengan Pengujian 2 (beban udara dan air) pada Desain 3

Dari grafik perbandingan antara pengujian beban udara dan beban udara yang ditambahkan beban air seperti ditunjukkan pada gambar 5.8, dapat diketahui bahwa laju pendinginan berbanding terbalik dengan besar pembebanan yang diberikan. Semakin banyak beban yang diberikan terhadap sistem, maka laju pendinginan akan lebih lambat, begitu juga sebaliknya. Ketika beban yang diberikan sedikit, maka laju pendinginan akan lebih cepat. Pada pengujian dengan beban udara, kalor di evaporator hanya terdiri atas *heat loss* dan kalor beban dari udara dalam kabin. Sedangkan pada pengujian 2, beban pendinginan lebih besar yaitu terdiri atas *heat loss*, beban dari udara, air, gelas ukur serta *sink*. Pada grafik juga dapat dilihat bahwa sebelum mengalami penurunan suhu, temperature kabin mengalami kenaikan suhu karena ambient terpengaruh panas yang dihasilkan dari pipa exhaust sepeda motor.

5.2 Analisa Sistem Studi Eksperimental

Pada studi eksperimental yang menguji sistem pendingin dengan gas buang ini, didapatkan bahwa sistem absorpsi dapat bekerja. Dalam operasi sistem tersebut, didapatkan bahwa sistem absorpsi dapat bekerja secara optimal ketika memenuhi parameter operasi yang optimal. Untuk sistem absorpsi ini, parameter operasi yang mempengaruhi yaitu suhu generator, waktu, dan beban pendinginan.

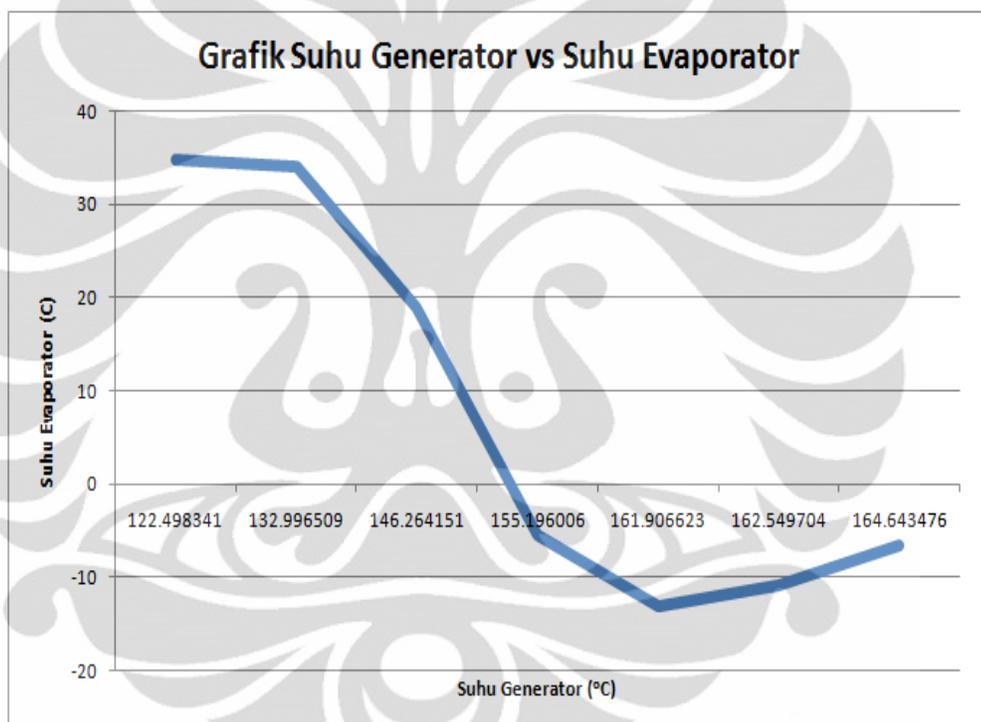
Pada studi eksperimental yang dilakukan, pengujian dilakukan beberapa kali dengan tiga buah desain yang berbeda. Pada pengujian pertama, yaitu dengan desain 1, didapatkan suhu generator 82.43 °C. Suhu tersebut tidak mampu mengaktifkan siklus dari sistem absorpsi dengan suhu evaporator yang tidak berubah dari suhu 28 °C.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Sistem

Tanggal Pengujian	Suhu Evaporator	Suhu Generator
uji 11 Feb	28.11	82.43
uji 18 maret	34.717354	122.498341
uji 13 april	33.908393	132.996509
uji 14 April	18.794036	146.264151
uji 18 Mei	-5.485742	155.196006
uji 26 Mei	-13.146482	161.906623
uji 31 Maret	-10.819228	162.549704
uji 27 Mei	-6.711606	164.643476

Untuk pengujian selanjutnya dilakukan pengurangan panjang knalpot guna meningkatkan suhu generator. Pengujian dilakukan dengan membuat prototype sederhana. Pada pengujian 18 Maret, didapatkan suhu generator 122.49°C dengan suhu evaporator yang cenderung meningkat karena terkena panas radiasi mesin motor. Langkah selanjutnya mencoba meningkatkan suhu generator dengan memberikan isolasi pada pipa knalpot guna mengurangi heat loss. Setelah dilakukan pengisolasian dengan asbes gulung dan aluminium foil, suhu generator pada pengujian 14 April mencapai 146°C yang mampu mengaktifkan sistem

sehingga suhu evaporator menurun menjadi 18.79°C . Pengujian selanjutnya yaitu membuat desain 2 dan didapatkan pada pengujian 18 Mei suhu generator mencapai $155,2^{\circ}\text{C}$ dengan suhu evaporator $-5,5^{\circ}\text{C}$. Selanjutnya pengujian dilakukan kembali dengan menggunakan esain 3 yang memiliki panjang pipa exhaust yang lebih pendek. Didapatkan hasil pengujian pada 26 Mei suhu generator mencapai 161.9°C dengan evaporator mengalami efek pendinginan menjadi -13.15°C . Dari data tersebut maka dapat diketahui bahwa mesin absorpsi akan optimalbekerja dengan suhu generator antara $155-165^{\circ}\text{C}$.



Gambar 5. 12 Grafik Suhu generator dan Suhu Evaporator

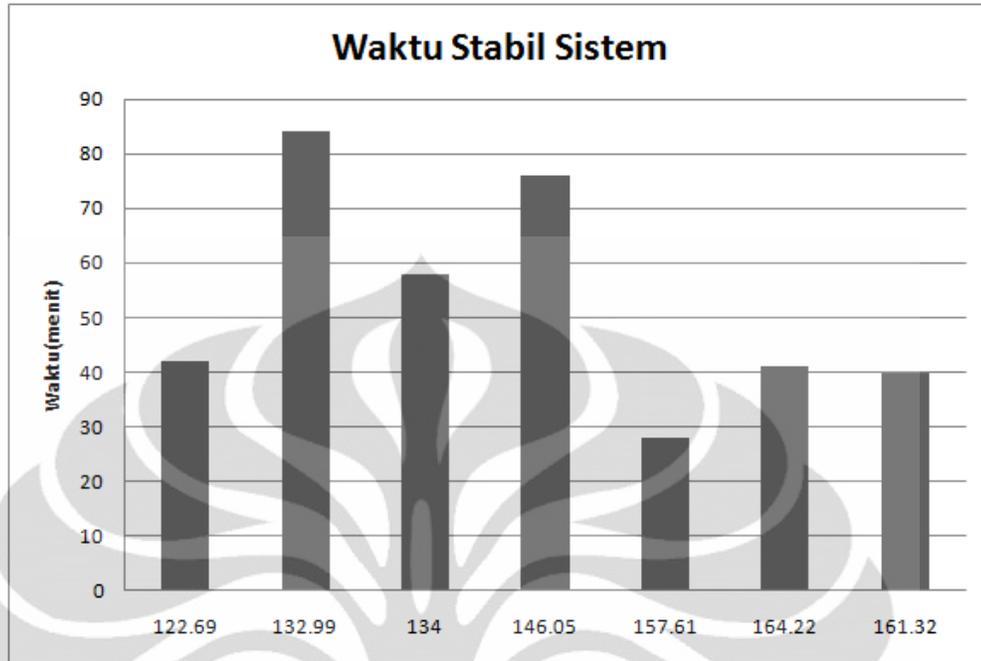
Grafik di atas menunjukkan suhu optimal yang dapat memberikan pendinginan optimal. Suhu yang lebih rendah dari 155°C tidak dapat mengaktifkan sistem secara optimal karena ammonia yang terdapat pada campuran ammonia-air di absorber tidak dapat menguap secara sempurna. Ketika penguapan ammonia tidak terjadi dengan sempurna, maka ammonia tidak dapat mengaktifkan sistem.

Untuk suhu yang tinggi, melebihi 165°C, campuran ammonia-air akan teruapkan semuanya. Hal ini tidak akan mengaktifkan sistem. Dalam generator, campuran dari ammonia-air seharusnya mengalami pemisahan. Pemisahan yang tidak sempurna akan mengakibatkan larutan absorbent menjadi tidak jenuh. Ketika absorbent tidak jenuh, maka absorbent tidak dapat menarik uap refrigerant yang keluar dari evaporator. Suhu tinggi yang menguapkan absorbent akan menyebabkan massa absorbent berkurang sehingga sistem tidak dapat berjalan.

Tabel 5.2 Waktu Stabil Suhu Generator

Tanggal Pengujian	waktu (menit)	Suhu Stabil Generator
uji 11 Feb	30	80
uji 18 mar	42	122.69
uji 13 apri	84	132.99
uji 14 Apri	58	134
uji 18 Mei	76	146.05
uji 26 Mei	28	157.61
uji 31 Mar	41	164.22
uji 27 Mei	40	161.32

Pada tabel di atas, menunjukkan waktu yang dibutuhkan tiap sistem dalam mencapai keadaan stabil sampai dapat mengaktifkan sistem. Pada sistem Desain 1, waktu yang dibutuhkan hanya 30 menit dengan suhu generator hanya mencapai 80°C.



Gambar 5. 13 Grafik waktu kestabilan suhu generator

Untuk desain 2, waktu yang dibutuhkan cukup lama yaitu 76 menit, hal ini dikarenakan suhu yang terakumulasi kurang optimal. Suhu yang kurang optimal tersebut tidak mampu menguapkan ammonia sehingga tidak dapat mengaktifkan sistem. Pada desain 3, suhu stabil sudah tercapai pada menit ke-28. Suhu yang tinggi dan optimal mampu mengaktifkan sistem sehingga ammonia dapat diuapkan sehingga sistem dapat berjalan. Untuk suhu yang lebih tinggi, waktu yang dibutuhkan untuk mengaktifkan lebih lama. Penyebabnya karena absorben yang ada pada generator memiliki kandungan yang lebih sedikit dibanding ketika suhu generator pada suhu optimal.

5.3 Analisa Perhitungan

Pada analisa perhitungan, yang akan dicari hanya nilai coefficient of performance (COP) dari sistem desain 3, baik yang dengan beban udara maupun dengan beban udara dan air. Nilai COP tersebut dihitung berdasarkan persamaan :

$$COP = \frac{\text{desired output}}{\text{required input}} = \frac{Q_{Load}}{Q_{gen}}$$

5.3.1 Perhitungan Q generator

a. Pengujian beban udara

Tabel 5.3 Kalor Generator Pengujian pertama

T Gen masuk	435.06162	K
T Gen keluar	417.689379	K
delta T gen	17.372241	K
m dot	4.56×10^{-4}	Kg/s
Qdotgen	8.08	J/s
Durasi :	5649	sekon

b. Pengujian beban udara + air

Tabel 5.4 Kalor Generator Pengujian Kedua

T Gen masuk	437.497356	K
T Gen keluar	424.116143	K
delta T gen	13.381213	K
m dot	4.56×10^{-4}	Kg/s
Q dot gen	6.22	J/s
Durasi :	7063	Sekon

5.3.2 Perhitungan Beban Pendinginan

a. Pengujian Pertama (beban hanya udara)

Tabel 5.5 Data beban pendinginan pengujian pertama

UDARA		
ρ :	1.1614	kg/m ³
c_p :	1007	J/kg.K
volume :	0.051072	m ³
Massa :	0.059315	kg
T awal :	303.561	K
T akhir :	299.629	K
Durasi :	5649	Second
Q total :	234.8565	Joule
q beban :	0.041575	Watt

b. Beban Udara dan air dalam kabin

Tabel 5.6 Data beban pendinginan pengujian kedua

UDARA		AIR		GELAS		
ρ :	1.1614	ρ :	1003	ρ :	2225	kg/m ³
cp :	1007	cp :	4179	cp :	835	J/kg.K
volume :	0.050114	volume :	500	volume :	0.000384	m ³
Massa :	0.058202	Massa :	0.5015	Massa :	0.8544	Kg
T awal :	29.21685	T awal :	27.37082	T awal :	29.21685	K
T akhir :	25.45705	T akhir :	26.00252	T akhir :	25.45705	K
Evaporator (aluminium)						
ρ :	2702	kg/m ³				
Jumlah	1	Buah				
Massa	0.2	Kg				
T awal	27.856185	K				
T akhir	-6.711606	K				
cp :	903	J/kg.K				
Durasi :		7063	second			
Q total :		12013.28	Joule			
q beban :		1.70088	Watt			

5.3.3 Perhitungan Heat Loss

a. Pengujian pertama

Perhitungan Heat loss (Q_{loss}) dari system :

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T$$

Dengan:

U = koefisien perpindahan kalor keseluruhan (W/m²K)

A = luas penampang perpindahan kalor (m²)

ΔT = beda temperatur dalam dan luar kabin (Kelvin)

Nilai koefisien Heat transfer ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$h = \frac{Nu \cdot x}{k}$$

Dimana nilai Nusselt Number ditentukan dengan persamaan *natural convection* pada plat dengan aliran laminar, yaitu :

$$Nu = 0.664 * Re^{0.5} * Pr^{1/3}$$

Dari pengujian didapatkan suhu kabin(T_i) dan suhu ambient (T_o) yang selanjutnya dapat ditentukan nilai h di dalam kabin (h_i) dan h di luar kabin(h_o). Dengan perhitungan tersebut maka didapatkan nilai koefisien heat transfer sebagai berikut:

Tabel 5.7 Perhitungan nilai koefisien heat transfer pengujian pertama

h (W/m ² K)	Nu	Pr	T (K)	Re	v (m/s)	ρ (kg/m ³)	M	k
16.884	177.15	0.712	305.56	89075.08	5	1.19	1.88E-05	0.0267
2.3414	25.05	0.712	299.629	1781.50	0.1	1.173	1.84E-05	0.026

Sehingga nilai U ditentukan dengan persamaan berikut.

$$U = \frac{1}{\left[\left(\frac{1}{h_i} \right) + \left(\frac{l}{k_{plastik}} \right) + \left(\frac{l}{k_{polyurethane}} \right) + \left(\frac{l}{k_{plastik}} \right) + \left(\frac{1}{h_o} \right) \right]}$$

$$U = \frac{1}{\left[\left(\frac{1}{2.341} \right) + \left(\frac{0.002}{0.17} \right) + \left(\frac{0.026}{0.0209} \right) + \left(\frac{0.002}{0.17} \right) + \left(\frac{1}{16.844} \right) \right]} = 0,57 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$A = 0,8464 \text{ m}^2$$

$$\Delta T = (T_{out} - T_{in}) = (305.5601 - 298.61) \text{ K} = 6.95 \text{ Kelvin}$$

$$Q = 0,57 \text{ W/m}^2\text{K} \cdot 0,8464 \text{ m}^2 \cdot 6.95 \text{ K} = 2.86 \text{ Watt}$$

Sehingga beban total sistem menjadi:

beban pendinginan total Qload+Qloss	2.9
--	------------

b. Pengujian kedua

Perhitungan Q_{loss} dari system :

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T$$

Dengan:

U = koefisien perpindahan kalor keseluruhan (W/m^2K)

A = luas penampang perpindahan kalor (m^2)

ΔT = beda temperatur dalam dan luar kabin (Kelvin)

Nilai koefisien Heat transfer ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$h = \frac{Nu * x}{k}$$

Dimana nilai Nusselt Number (Nu) ditentukan dengan persamaan *natural convection* pada plat dengan aliran laminar (Incropera, 1990), yaitu :

$$Nu = 0.664 * Re^{0.5} * Pr^{1/3}$$

Dari pengujian didapatkan suhu kabin (T_i) dan suhu ambient (T_o) yang selanjutnya dapat ditentukan nilai h di dalam kabin (h_i) dan h di luar kabin (h_o). Dengan perhitungan tersebut maka didapatkan nilai koefisien heat transfer sebagai berikut:

Tabel 5.8 Perhitungan nilai koefisien heat transfer pengujian kedua

h (W/m^2K)	Nu	Pr	T (K)	Re	v (m/s)	ρ (kg/m^3)	μ	k
16.88132347	177.159563	0.712	305.5061	89075.08514	5	1.198814126	1.88419E-05	0.026681
2.333466593	25.05414567	0.712	298.607	1781.501703	0.1	1.171534797	1.84131E-05	0.026078

Sehingga nilai U ditentukan dengan persamaan berikut.

$$U = \frac{1}{\left[\left(\frac{1}{h_i} \right) + \left(\frac{l}{k_{plastik}} \right) + \left(\frac{l}{k_{polyurethane}} \right) + \left(\frac{l}{k_{plastik}} \right) + \left(\frac{1}{h_o} \right) \right]}$$

$$U = \frac{1}{\left[\left(\frac{1}{2.333} \right) + \left(\frac{0.002}{0.17} \right) + \left(\frac{0.026}{0.0209} \right) + \left(\frac{0.002}{0.17} \right) + \left(\frac{1}{16.88} \right) \right]} = 0,57 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$A = 0,8464 \text{ m}^2$$

$$\Delta T = (T_{out} - T_{in}) = (305.6 - 299.6) \text{ K} = 5.93 \text{ Kelvin}$$

$$Q = 0,57 \text{ W/m}^2\text{K} \cdot 0,8464 \text{ m}^2 \cdot 5,93 \text{ K} = 3,35 \text{ Watt}$$

Sehingga beban total sistem menjadi :

beban pendinginan Qload+Qloss	5.05
----------------------------------	-------------

5.3.4 Perhitungan Coefficient of Performance (COP)

a. Beban Udara dalam kabin

COP : Qbeban/Qgen	0.36
-------------------	-------------

$$COP_{Optimum} = \left(1 - \frac{T_a}{T_s}\right) \left(\frac{T_L}{T_a - T_L}\right) = \frac{T_L(T_s - T_a)}{T_s(T_a - T_L)}$$

COP optimum	3.88
-------------	-------------

b. Beban Udara dan air dalam kabin

COP : Qbeban/Qgen	0.81
-------------------	-------------

$$COP_{Optimum} = \left(1 - \frac{T_a}{T_s}\right) \left(\frac{T_L}{T_a - T_L}\right) = \frac{T_L(T_s - T_a)}{T_s(T_a - T_L)}$$

COP optimum	3.38
-------------	-------------

Tabel 5.9 Perbandingan nilai COP pengujian pertama dan kedua

	beban pendinginan	
	0ml	500ml
Temperatur kabin (°C)	26.48	25.46
Cooling load (Q _{evap}) Watt	2.9	5.05
COP aktual	0.36 ^a	0.81 ^a
COP optimum	3.88 ^b	3.38 ^b

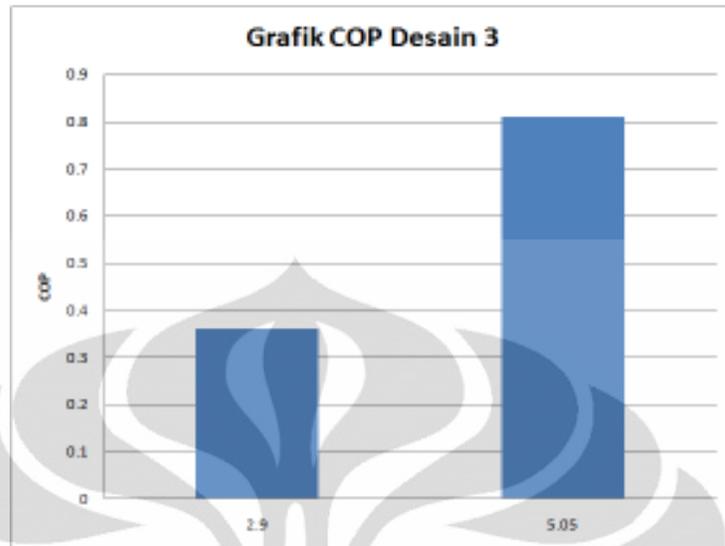
^a menurut persamaan (1)

^b menurut persamaan (2)

Dari tabel 5.7 di atas, dapat diketahui bahwa COP mengalami penurunan seiring bertambahnya beban pendinginan. Pada pengujian pertama dimana beban hanya udara dalam kabin, COP yang didapatkan sebesar 3.88. Sedangkan pada pengujian kedua dimana beban pendinginan bertambah, didapatkan nilai COP 3.38.

5.3.5 Analisa Coefficient of Performance (COP)

Untuk Desain 3 yang merupakan desain optimal, dapat diketahui nilai COP yang dimiliki. Desain 3 merupakan yang paling optimal karena waktu stabil lebih cepat dan mampu mengaktifkan sistem sehingga menghasilkan *refrigeration effect*. Pengujian pada desain 3 dilakukan dengan dua variasi yaitu dengan beban udara dan dengan beban udara dan air. Dengan memperhitungkan beban yang ada didapatkan nilai COP desain 1 pada pengujian pertama dengan beban udara sebesar 0.36 sedangkan pada pengujian kedua dengan beban air dan udara didapatkan nilai COP sebesar 0.81.



Gambar 5. 14 Grafik COP desain 3

Nilai COP sistem absorpsi terbilang kecil karena efisiensi sistem memang rendah. Perubahan bentuk energy dari panas menjadi mekanik memiliki efisiensi yang rendah. Lain halnya dengan perubahan energy mekanik yang berubah menjadi energy panas. Nilai COP dari sistem absorpsi memiliki nilai yang kecil. Nilai ini disebabkan penyerapan kalor pada evaporator menggunakan sistem natural convection sehingga lebih lambat dalam pendinginannya. Akan tetapi, karena sistem mengambil energy panas dari gas buang, maka sistem absorpsi tetap lebih menguntungkan meskipun nilai COP rendah. Nilai *COP actual* menunjukkan bahwa *COP actual* mengalami kenaikan seiring beban yang lebih besar. Hal tersebut karena kalor yang terdapat di kabin besar sehingga laju penyerapan kalor di evaporasi optimal. Akan tetapi, *COP actual* akan mengalami penurunan ketika mencapai titik maksimum seiring turunnya laju penyerapan kalor. Nilai COP actual tidak mencapai COP maksimal dikarenakan banyak terjadi *heat losses* yang terjadi pada sistem. Seperti pada generator, isolasi yang kurang rapat akan menimbulkan banyak *heat losses*. Selain hal tersebut, siklus refrigerasi absorpsi yang berlangsung bukanlah siklus yang ideal. Terdapat perubahan besar entropi pada siklus yang menyebabkan proses isentropik tidak terjadi.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Setelah melakukan pengujian performa, pengolahan data, serta proses analisa data, dapat diambil beberapa kesimpulan dari desain prototype sistem kotak pendingin absorpsi yaitu sebagai berikut :

1. Sistem transportasi produk perikanan membutuhkan sistem pendingin guna mempertahankan kesegaran sehingga harga jual tidak turun.
2. Sistem absorpsi dipilih karena lebih ramah lingkungan serta tidak memerlukan daya dari mein atau listrik melainkan dari gas buang.
3. Perancangan dalam sistem pendingin dengan sistem absorpsi harus mempertimbangkan parameter performance dari mesin absorpsi yang digunakan, contohnya suhu operasional generator
4. Dalam pembuatan sumber pemanas generator, harus diketahui panjang generator. Hal ini bertujuan agar ammonia dapat menguap dengan optimal dan larutan tak jenuh antara absorbent-refrigerant dapat kembali ke generator.
5. Mesin absorpsi akan mulai berjalan setelah pemanasan selama 30-45 menit setelah motor dinyalakan dari awal dengan suhu generator lebih dari 155°C.
6. Selama generator menerima panas dengan suhu optimal ($155^{\circ}\text{C} > T_s > 165^{\circ}\text{C}$), maka sistem absorpsi dapat mulai bekerja optimal.
7. Laju pendinginan kotak pendingin absorpsi bergantung pada volume kotak dan beban pada kotak pendingin tersebut. Semakin besar volume menyebabkan beban pendinginan menjadi semakin besar. Akibatnya laju pendinginan akan menjadi lebih lambat.

8. Nilai COP maksimal dari mesin absorpsi dengan memanfaatkan gas buang sepeda motor adalah 3.88 untuk beban udara dan 3.38 untuk pembebanan dengan beban udara dan air.
9. Dari hasil eksperimen, COP aktual yang didapatkan yaitu 0.36 untuk beban udara bervolume 51 L dan 0.81 untuk beban udara 50L, air 500 mL dan aluminium sink.
10. Nilai *COP actual* menunjukkan bahwa *COP actual* mengalami kenaikan seiring beban yang lebih besar. Hal tersebut karena kalor yang terdapat di kabin besar sehingga laju penyerapan kalor di evaporasi optimal. Akan tetapi, *COP actual* akan mengalami penurunan ketika mencapai titik maksimum seiring turunnya laju penyerapan kalor.
11. Nilai COP actual tidak mencapai COP maksimal dikarenakan banyak terjadi *heat losses* yang terjadi pada sistem. Seperti pada generator, isolasi yang kurang rapat akan menimbulkan banyak *heat losses*. Selain hal tersebut, siklus refrigerasi absorpsi yang berlangsung bukanlah siklus yang ideal. Terdapat perubahan besar entropi pada siklus yang menyebabkan proses isentropik tidak terjadi.

6.2 Saran

Dalam pengujian kotak pendingin absorpsi ini, masih ditemukan beberapa kekurangan yang kelak dapat diperbaiki untuk mengoptimalkan sistem pendingin absorpsi agar dapat menjadi pengganti sistem pendingin konvensional. Untuk itu saran yang dapat dilakukan demi perkembangan sistem absorpsi adalah :

1. Pemilihan material pipa exhaust akan lebih optimal ketika menggunakan stainless steel.
2. Perancangan membutuhkan penelitian lanjut agar rancangan yang dihasilkan dapat lebih ergonomis.
3. Pengujian dengan mesin absorpsi akan memiliki hasil yang lebih optimal jika menggunakan mesin absorpsi baru.

4. Peningkatan pendinginan dapat dilakukan dengan memberikan *air circulation equipment* sehingga udara di dalam kabin bisa lebih cepat dingin.



DAFTAR PUSTAKA

ASHRAE handbooks 2005.

A.Zohar, M. Jelinek, A. Levy , I. Borde.(2005). “*Numerical investigation of a diffusion absorption refrigeration cycle*”. International Journal of Refrigeration 28 (2005) 515–525

Çengel, Yunus A.; Boles, Michael A.. *Thermodynamics:An Engineering Approach*. McGraw-Hill Education.

Chuaa HT, Toh HK, Ngb KC.(2002) *Thermodynamic modeling of an ammonia–water absorption chiller*. Int J Refrig 2002;25(7):896–906.

Costa EC.(1988). *Refrigeration. 3rd ed*. São Paulo: Edgard Blücher.

D. Ben-Avraham and S. Havlin (2000). *Diffusion and Reactions in Fractals and Disordered Systems*. Cambridge University Press.

Dossat, Roy J. (2001). *Principles of Refrigeration*. Ohio : Prentice Hall.

EE IIT. (2008). “*Refrigeration & Air conditioning*”, , Kharagpur, India.

European Comission . *Factsheet : Climate Change*. Maret, 2011.
http://ec.europa.eu/clima/policies/ozone/index_en.htm

Huangfu Y, Wu JY, Wang RZ, Xia ZZ, Li S. (2007). *Development of an experimental prototype of an integrated thermal management controller for internalcombustion-engine-based cogeneration systems*. Appl Energy 2007;84:1356–73.

Incropera ,Frank P. ; David P. De Witt and D. P. Dewitt (1990). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer* (3rd ed.). John Wiley & Sons.

Kementerian ESDM. *Reducing Emission, The Government Launch Cekalang Program*.

<http://www.esdm.go.id/index-en/83-energy/3974-reducing-emission-the-government-launch-cekalang-program.html>

Koehler J, Tegethoff WJ, Westphalen D, Sonnekalb M. (1997). *Absorption refrigeration system for mobile applications utilizing exhaust gases*. Heat Mass Transfer 1997;32:333–40..

Koestoer, Raldi Artono. *Pengukuran Teknik Untuk Mahasiswa*. Depok : Departemen Teknik Mesin FTUI.

Lazarrin RM, Gasparella A, Longo GA.(1996). *Ammonia–water absorption machines for refrigeration: theoretical and real performances*. Int J Refrig 1996;19(4):239–46.

Macriss,R.A. dan T.S Zawacki.(1989).*Absorption fluid data survey: 1989 update*. Oak Ridge National Laboratories Report ORNL /sub 84-47989/4

Manohar Prasad. (2007). *Refrigeration And Air Conditioning*, New Age International,

National Instruments Corporation. (2011). *Manuals*. <http://www.ni.com/pdf/manuals/371747c.pdf>

National Instruments Corporation. (2011). *New NI 9213 Expands C Series Platform to More Than 50 Modules*.<http://zone.ni.com/devzone/cda/pub/p/id/858>

Qin F, Chen J, Lu M, Chen Z, Zhou Y, Yang K. (2007). *Development of a metal hydride refrigeration system as an exhaust gas-driven automobile air conditioner*. Renewable Energy 2007;32:2034–52.

Ramesh Chandra Arora. (2010). *Refrigeration And Air Conditioning*. New Delhi : Asoke K. Ghosh,PHI Learning Private Limited, M-97, Connaught Circus,.

Srikhirin P, Aphornratana S, Chungpaibulpatana S. (2001). “A review of absorption refrigeration technologies”. Renew Sustain Energy Rev 2001;5(4): 343–72.

Wu C, Schulden WH. (1995). *Maximum obtainable specific power of high-temperature waste heat engines*. Heat Recov Syst CHP 1995;15(1):13–7.

Zhao Y, Shigang Z, Haibe Z. (2003). *Optimization study of combined refrigeration cycles driven by an engine*. Appl Energy 2003;76:379–89.



LAMPIRAN

Data Pengujian Desain 2 per 5 Menit

Waktu (menit ke)	Suhu Kabin (C)	Suhu Generator (C)	Suhu Evaporator (C)
5	24.58884	24.67948	24.29337
10	24.54125	31.30999	24.91321
15	24.5499	40.71787	24.55828
20	24.5599	60.71787	24.58282
25	24.56518	71.66401	24.06003
30	24.55058	86.09995	24.23152
35	24.52232	99.69886	25.09125
40	24.46878	112.4975	24.14347
45	24.45668	122.3972	24.23557
50	24.47277	129.0964	24.34703
55	24.45786	133.0862	24.57259
60	24.45678	136.2045	24.49138
65	24.49891	136.6521	24.70614
70	24.57527	137.8709	25.05927
75	24.58102	142.2369	25.34417
80	24.67225	146.1373	25.81593
85	24.76644	143.4593	26.41092
90	24.87921	135.1121	26.3677
95	25.0047	131.1569	24.16834
100	25.4603	132.0625	24.40691
105	25.5641	132.9166	23.31072
110	25.71688	134.7268	22.18752
115	25.80415	134.5281	19.33742
120	25.90231	134.3567	101.4551
125	26.03651	136.4723	6.659439
130	26.12333	136.818	5.138365

Data Pengujian Desain 3 dengan Beban Udara per 5 Menit

Waktu (menit Ke)	Suhu Generator	Suhu Evaporator	Suhu Kabin
5	28.5173	29.2055	29.0752
10	42.2825	29.2073	29.2031
15	93.2985	29.2766	29.3275
20	131.891	29.4087	29.5217
25	151.879	29.2035	29.7956
30	158.659	29.5091	29.8906
35	156.896	26.9775	30.2396
40	159.583	-6.6945	29.9662
45	159.854	-9.6658	29.248
50	160.293	-10.885	28.6095
55	161.044	-11.54	27.9793
60	161.481	-12.054	27.4814
65	161.553	-12.37	27.1216
70	159.897	-12.674	26.7983
75	160.365	-12.44	26.7492
80	161.109	-12.484	26.628
85	161.454	-12.75	26.546
90	161.971	-12.672	26.6724
95	161.713	-12.839	26.6724

Data Pengujian Desain 3 dengan Beban Udara dan Air per 5 Menit

Waktu (menit ke)	Suhu Generator (C)	Suhu Evaporator (C)	Suhu Air (C)	Suhu Kabin (C)
5	34.18159	27.93049	27.36472	29.3695
10	83.92743	28.30398	27.56805	29.82642
15	144.6693	28.58902	27.67717	30.12501
20	155.4745	28.92848	27.88884	30.45735
25	158.6249	29.16449	27.97833	30.69876
30	160.4328	29.5235	28.19127	31.02054
35	159.0889	29.78215	28.31912	31.24099
40	159.741	30.0071	28.43818	31.40635
45	161.3626	18.16781	28.55712	31.51262
50	165.0933	2.738043	28.65507	31.1673
55	166.3483	-0.31404	28.7165	30.55821
60	164.9526	-2.00064	28.65256	29.89397
65	164.1834	-3.19045	28.50845	29.24788
70	164.5976	-4.21093	28.37082	28.66703
75	165.2168	-5.31703	28.17845	27.97865
80	165.7805	-6.1148	27.96485	27.40496
85	165.2253	-6.42582	27.76433	26.92556
90	165.1691	-6.70724	27.60568	26.69511
95	164.3642	-6.70269	27.41858	26.49269
100	164.8616	-6.5726	27.14493	26.23516
105	163.8952	-6.41204	26.91607	26.0941
110	163.3427	-6.38366	26.66767	25.91427
115	164.2074	-6.34222	26.44508	25.73917
120	164.2318	-6.54371	26.11583	25.45831