



UNIVERSITAS INDONESIA

**KAJIAN EKSPERIMENTAL MESIN REFRIJERASI ABSORPSI
DENGAN FLUIDA KERJA LIBR KAPASITAS 1TR
(GENERATOR DAN KONDENSOR)**

SKRIPSI

FARID FADILLAH

0706267004

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

DEPOK

JANUARI 2012



UNIVERSITAS INDONESIA

**KAJIAN EKSPERIMENTAL MESIN REFRIJERASI ABSORPSI
DENGAN FLUIDA KERJA LIBR KAPASITAS 1TR
(GENERATOR DAN KONDENSOR)**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar

Sarjana Teknik

FARID FADILLAH

0706267004

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

DEPOK

JANUARI 2012

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Skripsi ini merupakan bagian dari skripsi yang dikerjakan bersama dengan rekan saya saudara Taufik Rifbawono (0706267364) dengan judul KAJIAN EKSPERIMENTAL MESIN REFRIJERASI ABSORPSI DENGAN FLUIDA KERJA LIBR KAPASITAS 1 TR – EVAPORATOR DAN ABSORBER. Sehingga harap maklum jika ada beberapa bagian dari buku ini yang memiliki kesamaan.

Nama : FARID FADILLAH

NPM : 0706267004

Tanda Tangan : 

Tanggal : 25 Januari 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Farid Fadillah
NPM : 0706267004
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Kajian Eksperimental Mesin Refrijerasi Absorpsi dengan
Fluida Kerja LiBr Kapasitas 1 TR – Generator dan
Kondensor

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr.Ir.Budiharjo, Dipl.Ing

(*Budiharjo*)
.....

Penguji : Ir.Rusdy Malin ,MME.

(*Rusdy Malin*)
.....

Penguji : Dr. Ir. Muhammad Idrus Alhamid

(*Muhammad Idrus Alhamid*)
.....

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 25 Januari 2012

KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

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

- (1) [Dr. Ir. Budihardjo Dipl. Ing](#), selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini
- (2) Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral,
- (3) Rekan-rekan seperjuangan satu bimbingan skripsi Taufik Rifbawono yang telah sama-sama memberikan banyak kontribusi dalam penyelesaian skripsi ini.
- (4) Rekan sesama penelitian laboratorium teknik pendingin lainnya, atas bantuan kerjasamanya dan banyak memberikan masukan.
- (6) Dan seluruh pihak yang terkait sehingga membantu kelancaran dalam penyelesaian skripsi dalam pengambilan data dan hal lainnya; Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 25 Januari 2012

Penulis

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

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

Nama : Farid Fadillah

NPM : 0706267004

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 :

**Kajian Eksperimental Mesin Refrijerasi Absorpsi Dengan Fluida Kerja LiBr
Kapasitas 1TR (Generator dan Kondensor)**

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 : 25 Januari 2012

Yang menyatakan



(Farid Fadillah)

ABSTRAK

Nama : Farid Fadillah
Program studi : Teknik Mesin
Judul : **Kajian Eksperimental Mesin Refrijerasi Absorpsi Dengan Fluida Kerja LiBr Kapasitas 1TR (Generator dan Kondensor)**

Skripsi ini membahas mengenai uji eksperiment mesin refrigerasi tanpa menggunakan refrigerant Dimana refrigerant diganti menggunakan LiBR (Lithium Bromida). Fluida kerja campuran seperti LiBr+H₂O merupakan zat pendingin yang ramah lingkungan dan sangat hemat energi. Kedua jenis refrigeran tersebut digunakan pada mesin refrigerasi siklus absorpsi, baik untuk kebutuhan kenyamanan ruangan maupun kebutuhan proses industry. Riset yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja sebuah mesin refrigerasi siklus absorpsi, berpendingin udara yang menggunakan campuran larutan dan LiBr+H₂O+additive sebagai fluida kerja. Manfaat dari hasil riset ini dapat digunakan sebagai salah satu upaya alternative untuk mendukung program penghematan energi pada sector residensial dan komersial yang telah ditetapkan pemerintah. Selain itu hasil riset ini secara langsung dapat membantu pemerintah dalam implementasi program pembatasan penggunaan refrigeran yang berpotensi menimbulkan pemanasan global dan penipisan lapisan ozon.

Kata Kunci :

LiBr+H₂O, absorpsi, refrigerant,

ABSTRACT

Name : Farid Fadillah

Study Program : Mechanical Engineering

*Title : Experimental Absorpsi Refrigeration Mahine Capacity ITR
With LiBr as*

Working Fluid Capacity ITR (Generator and Kondenser)

This thesis discusses the experimental working of refrigeration machine without using refrigerant Where the refrigerant is replaced using LiBR (Lithium Bromide). Working fluid mixtures such as LiBr + H₂O is an environmentally friendly refrigerant and highly energy efficient. Both types of refrigerants used in absorption cycle refrigeration machines, either for the comfort of the room as well as the needs of the industry. Research conducted aimed to determine the performance of an absorption cycle refrigeration machine, air-cooled using a mixture of solution and LiBr + H₂O + additive as a working fluid. The benefits of this research can be used as part of efforts to support alternative programs for energy conservation in residential and commercial sectors that have been set by the government. In addition, the results of this research directly to assist the government in implementing programs that have the potential restrictions on the use of refrigerant causing global warming and ozone depletion.

Keyword :

LiBr-H₂O, absorption, refrigerant

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERNYATAAN ORISINILITAS	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 PERUMUSAN MASALAH	2
1.3 TUJUAN PENELITIAN.....	2
1.4 BATASAN MASALAH	2
1.5 SISTEMATIKA PENULISAN.....	3
BAB 2 DASAR TEORI.....	4
2.1 SISTEM ABSORPSI	4
2.2 PERPINDAHAN PANAS	6
2.2.1 Perpindahan panas konduksi	7
2.2.2 Perpindahan panas konveksi.....	11
2.2.3 Perpindahan panas radiasi	13
2.3 ALAT PENUKAR KALOR	15
2.3.1 Jenis-jenis penukar kalor	17
2.4 PARAMETER DALAM PERHITUNGAN NILAI PERPINDAHAN PANAS ALAT PENUKAR KALOR	23
2.4.1 Sifat-sifat termodinamika	24
2.4.2 Sifat aliran fluida	25

2.5	POMPA	31
2.5.1	Pompa sentrifugal	31
2.5.2	Pompa magnetic	33
BAB 3	PERANCANGAN	34
3.1	PERHITUNGAN TERMODINAMIKA.....	34
3.2	HASIL RANCANGAN DAN PEMILIHAN KOMPONEN	36
3.2.1	Konedensor.....	36
3.2.2	Absorber	37
3.2.3	Evaporator	38
3.2.4	Generator	39
3.2.5	Solution heat exchanger.....	40
3.2.6	Pompa.....	41
3.2.7	Flowmeter.....	42
BAB 4	METODE PENELITIAN.....	44
4.1	ALAT PENGUJIAN DAN KOMPONEN.....	44
4.2	TES KEBOCORAN	51
4.3	VACUUM SYSTEM.....	51
4.4	CHARGING SYSTEM.....	53
4.5	METODE PENGAMBILAN DATA.....	53
BAB 5	ANALISA DAN PENGANBILAN DATA	54
5.1	GENERATOR	54
5.2	KONDENSOR.....	57
5.3	PLOT DURING DIAGRAM.....	60
5.4	ANALISA KETIDAKSUAIAN	60
BAB 6	KESIMPULAN DAN SARAN.....	62
	DAFTAR REFERENSI	63

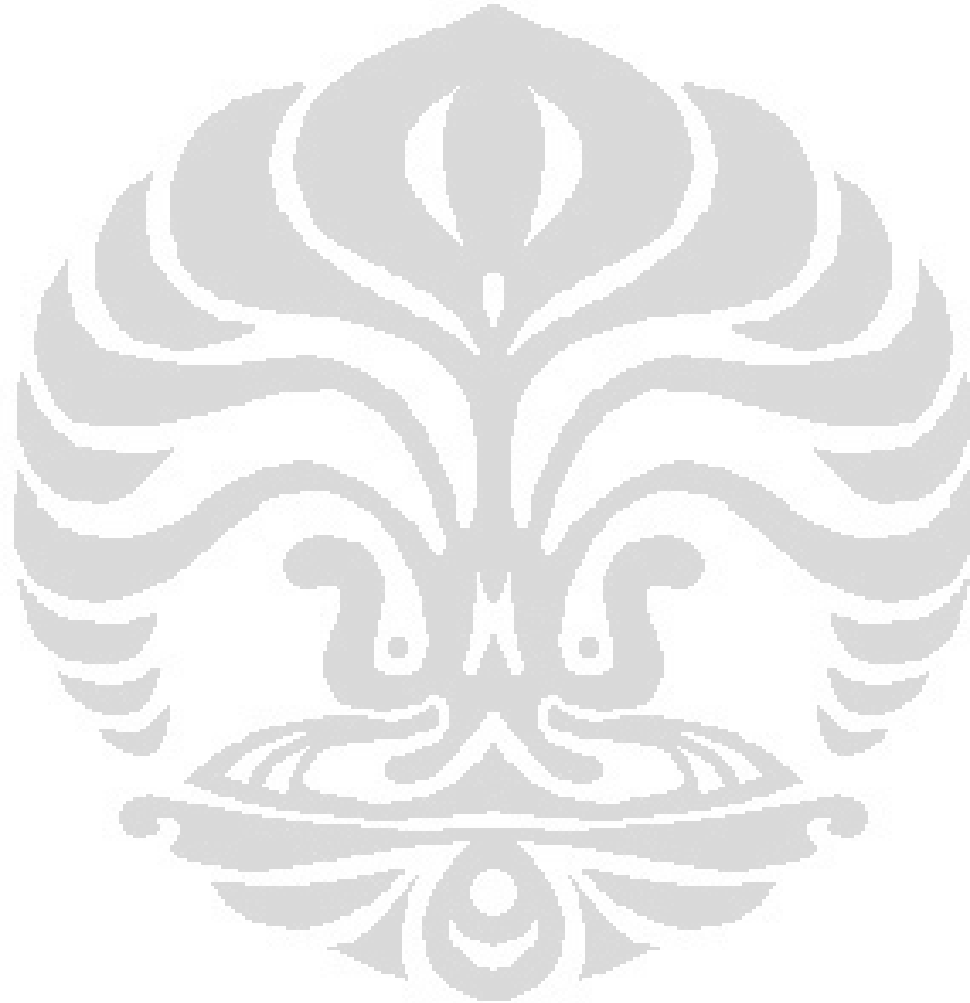
DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram tekanan vs temperatur sistem VARS.....	5
Gambar 2.2 Perpindahan panas konduksi dan difusi energi akibat aktivitas molekul	8
Gambar 2.3 Model perambatan panas.....	9
Gambar 2.4 Aliran luar	11
Gambar 2.5 Aliran dalam.....	12
Gambar 2.6 Perpindahan panas radiasi (a) pada permukaan, (b) antarpermukaan dan lingkungan.....	15
Gambar 2.7 <i>Double pipe heat exchanger</i>	16
Gambar 2.8 <i>Shell and tube heat exchanger</i>	18
Gambar 2.9 <i>Plate heat exchanger</i>	19
Gambar 2.10 <i>Coil heat exchanger</i>	21
Gambar 2.11 <i>Air cooled heat exchanger</i>	22
Gambar 3.1 Hasil rancangan condenser.....	36
Gambar 3.2 Hasil rancangan absorber	37
Gambar 3.3 Hasil rancangan evaporator.....	38
Gambar 3.4 Hasil rancangan generator	39
Gambar 3.5 <i>solution heat exchanger</i>	40
Gambar 3.6 pompa sirkulasi air	41
Gambar 3.7 pompa weak solution.....	41
Gambar 3.8 <i>flowmeter</i>	43
Gambar 4.1 <i>absorber</i>	34
Gambar 4.2 generator	34
Gambar 4.3 evaporator.....	33
Gambar 4.4 pompa magnetik	34
Gambar 4.5 <i>pompa air</i>	34
Gambar 4.6 <i>coil pipe</i>	34
Gambar 4.7 <i>Plate Heat Exchanger</i>	34

Gambar 4.8 <i>flowmeter</i>	34
Gambar 4.9 <i>pressure gauge</i>	35
Gambar 4.10 <i>pressure transmitter</i>	36
Gambar 4.11 <i>Thermocouple type K</i>	37
Gambar 4.12 <i>National instrument</i>	38
Gambar 4.13 Skematik aliran sistem absorpsi.....	52
Gambar 5.1 Gambar kerja generator	54
Gambar 5.2 Skematik penempatan termokopel	56
Gambar 5.3 <i>Grafik temperature generator</i>	56
Gambar 5.4 Kondensor	57
Gambar 5.5 Grafik temperature inlet kondensor	58
Gambar 5.6 Grafik temperature outlet kondensor	59
Gambar 5.7 <i>Duhring plot</i>	60

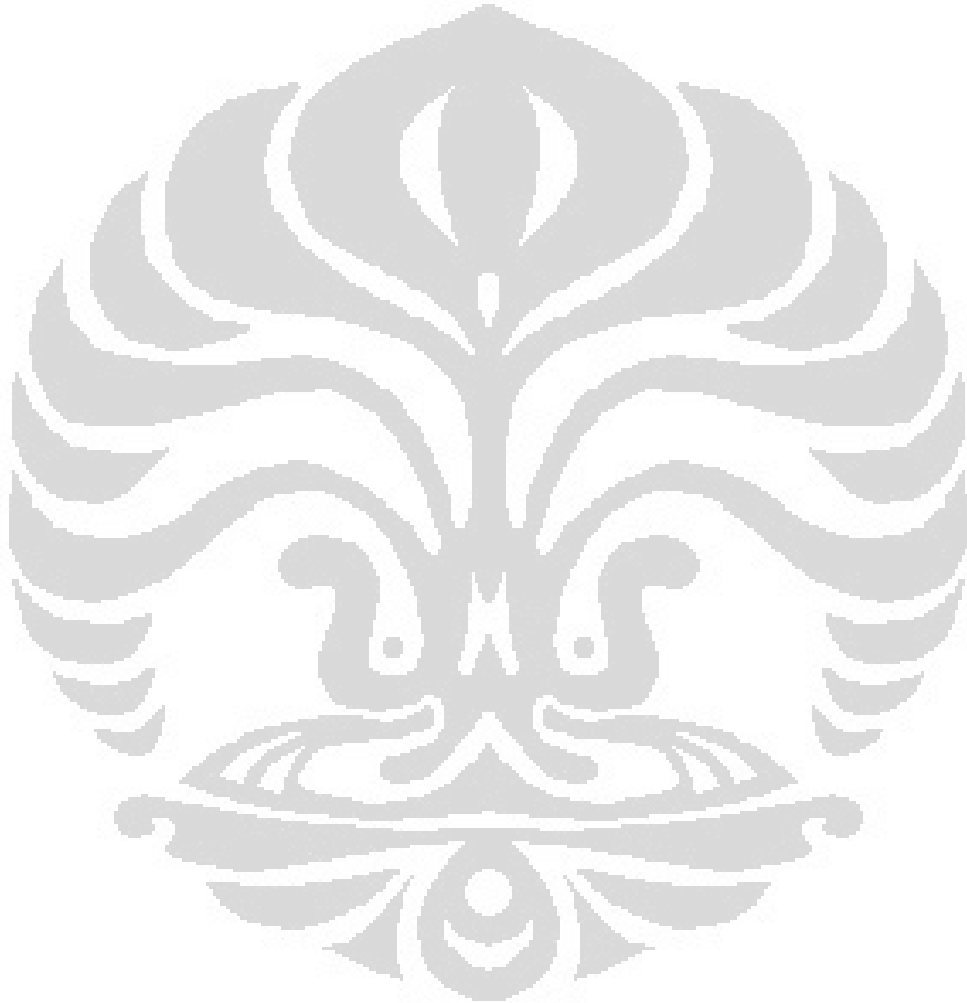
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Efektifitas fin	10
Tabel 3.1 Data termodinamika setiap titik	34
Tabel 3.2 Spesifikasi Plate Heat Exchanger	40
Tabel 3.3 Spesifikasi dimensi plate heat exchanger.....	41



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. MSDS Lithium Bromida	65
--	----



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sejak dibelakukannya Protokol Montreal pada tahun 1987, pemakaian beberapa refrigerant yang dibuat dari turunan metana (R11, R12), saat ini telah dilarang diperdagangkan lagi karena ditengarai berpotensi dalam penipisan lapisan ozon dan pemanasan global. Sedangkan R22 dalam beberapa tahun mendatang tidak akan diproduksi lagi karena berkontribusi terhadap pemanasan global. Beberapa alternatif refrigerant tersebut telah lama ditemukan antara lain HFC134a, HFC407C, HFC410A yang banyak digunakan pada mesin refrigerasi uap mekanik. Demikian pula halnya dengan refrigeran dari gas hidrokarbon (propana dan butana) telah mulai dimanfaatkan, karena gas hidrokarbon tersebut tidak menimbulkan penipisan lapisan ozon dan pemanasan global.

Fluida kerja campuran seperti LiBr+H₂O merupakan zat pendingin yang ramah lingkungan dan sangat hemat energi. Kedua jenis refrigeran tersebut digunakan pada mesin refrigerasi siklus absorpsi, baik untuk kebutuhan kenyamanan ruangan maupun kebutuhan proses industry. Riset yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja sebuah mesin refrigerasi siklus absorpsi, berpendingin udara yang menggunakan campuran larutan dan LiBr+H₂O+additive sebagai fluida kerja. Manfaat dari hasil riset ini dapat digunakan sebagai salah satu upaya alternative untuk mendukung program penghematan energi pada sector residensial dan komersial yang telah ditetapkan pemerintah. Selain itu hasil riset ini secara langsung dapat membantu pemerintah dalam implementasi program pembatasan penggunaan refrigeran yang berpotensi menimbulkan pemanasan global dan penipisan lapisan ozon.

Siklus refrigerasi absorpsi adalah proses refrigerasi yang memanfaatkan dua jenis fluida dan sejumlah kecil masukan kalor, bukan masukan listrik seperti di sistem refrigerasi kompresi uap yang lebih sering dikenal. Baik siklus refrigerasi kompresi

uap maupun siklus refrigerasi absorpsi melakukan proses penyerapan lingkungan melalui penguapan refrigeran pada temperatur rendah dan pelepasan kalor pada kondensasi refrigeran pada tekanan yang lebih tinggi. Pada kedua jenis siklus, terdapat perbedaan pada cara menciptakan perbedaan tekanan dan mendorong terjadinya sirkulasi refrigeran. Pada siklus kompresi uap, digunakan kompresor mekanis tenaga listrik untuk menekan refrigeran sehingga bertekanan tinggi. Pada siklus absorpsi, fluida sekunder penyerap refrigeran, atau yang disebut absorban, digunakan untuk mendorong sirkulasi refrigeran.

Absorpsi uap refrigeran oleh cairan absorban secara teoretis didasarkan pada Hukum Raoult, yang mengatakan bahwa pada temperatur tertentu, perbandingan tekanan parsial dari komponen yang mudah berubah fasa (cair-gas) dalam suatu larutan terhadap tekanan uap dari komponen tersebut pada kondisi murni, pada temperatur yang sama identik dengan fraksi mol pada larutan. Fraksi mol larutan sama dengan jumlah mol komponen dibagi dengan jumlah total mol yang ada.

1.2. Perumusan Masalah

Hasil riset ini mengarah pada perbaikan unjuk kerja mesin refrigerasi siklus absorpsi untuk kebutuhan pendinginan di dalam ruangan berkapasitas lebih kecil dari 100 kW, dengan memanfaatkan sumber energi yang tersedia

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian kali ini bertujuan untuk mengetahui berbagai variasi suhu di generator dan persentase solution LiBr-Air yang menghasilkan COP paling baik.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini hanya pada variasi persentase LiBr-Air dan temperature coil di generator, sedangkan untuk pressure di generator dan evaporator dianggap konstan

1.5. Sistematika Penulisan

Bab I

Pada bab I berisikan tentang pendahuluan dari penelitian ini.

Bab II

Bada bab II berisikan tentang landasan teori yang akan digunakan dalam melakukan analisa dan perhitungan pada penelitian ini.

Bab III

Pada bab III berisikan tentang sistematika dan tahapan-tahapan pada perancangan alat penelitian absorpsi ini.

Bab IV

Pada bab IV ini berisikan Metodologi penelitian yang menjelaskan komponen-komponen dari alat absorpsi ini dan prosedur dalam melakukan tes kebocoran, pengvakuman dan pengisian larutan Li-Br.

Bab V

Pada bab V berisikan analisa dari data penelitian yang didapat dari hasil oprasi alat absorpsi.

Bab VI

Pada bab VI berisikan kesimpulan dan saran dari hasil analisa yang dilakukan

Bab VII

Pada bab VII berisikan Daftar pustaka dari penulisan makalah ini.

BAB II

DASAR TEORI

2.1. Sistem Absorpsi

Sistem absorpsi memiliki siklus uap yang mirip dengan sistem refrijerasi yang menggunakan kompresi mekanik. Perbedaannya terdapat pada energi yang dibutuhkan untuk mengoperasikan sistem absorpsi ini. Pada sistem absorpsi dibutuhkan input berupa panas. Sistem ini juga disebut sistem absorpsi basah karena pada umumnya menggunakan cairan yang berfungsi mengabsorpsi refrijeran. Sistem absorpsi sama halnya seperti sistem refrijerasi kompresi telah dipakai secara luas dibidang refrijerasi dan pengkondisian udara. Karena sistem ini beroperasi pada energi termal tingkat rendah, maka lebih diutamakan saat terdapat sumber energy tingkat rendah seperti panas buang atau energy solar. Selain itu sistem ini juga ramah lingkungan karena menggunakan *natural refrigerant* seperti air atau ammonia.

Prinsip dasar dari sistem absorpsi adalah saat sebuah garam *lithium bromide* dilarutkan kedalam air, maka titik didih dari zat pelarut (air) akan meningkat. Dalam keadaan lain, saat temperatur larutan (*lithium bromide* + air) dijaga agar tetap konstan, maka efek dari pelarutan libr adalah untuk mengurangi tekanan uap dari zat pelarut dibawah *saturation pressure* dari zat pelarut murni pada temperatur tersebut. Pada sistem pendingin absorpsi yang paling sederhana, pendinginan didapat dengan menyambungkan dua bejana, yang berisi zat pelarut murni dan bejana yang lain berisi larutan. Karena saat kesetimbangan tercapai tekanan dari kedua bejana hampir sama, maka temperatur dari larutan akan lebih tinggi dibandingkan dengan zat pelarut murni (air). Sehingga apabila larutan berada pada temperatur ruangan, maka zat pelarut murni akan berada pada temperatur dibawah temperatur ruangan. Efek pendinginan dihasilkan pada bejana yang berisi zat pelarut murni disebabkan oleh adanya perbedaan temperatur ini. Zat pelarut akan menguap karena perpindahan panas dari dari lingkungan sekitar, dan mengalir menuju bejana yang berisi larutan lalu di *absorb* oleh larutan tersebut. Proses ini akan terus berlanjut selama komposisi dan

temperatur dari larutan tetap dipertahankan dan cairan pelarut tersedia di dalam bejana.

Sistem pendinginan absorpsi menggunakan pasangan larutan air-*lithium bromide* telah dipergunakan secara luas pada sistem pengkondisian udara berkapasitas besar. Pada sistem tersebut, air dipergunakan sebagai refrijeran dan larutan *lithium bromide* di dalam air digunakan sebagai *absorbent*. Karena refrijeran yang dipergunakan adalah air, maka sistem tidak mungkin menghasilkan pendinginan dibawah temperatur nol derajat. Sehingga sistem ini hanya digunakan didalam aplikasi yang membutuhkan pendinginan pada temperatur di atas nol derajat celcius yaitu pada pengkondisian udara (*air conditioning*).

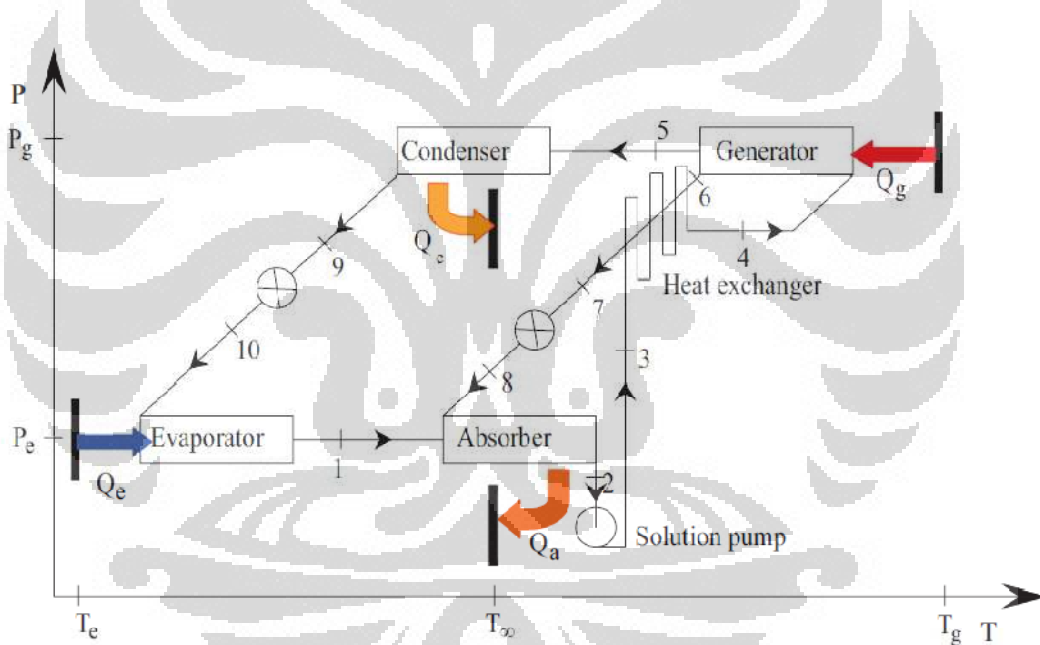


Fig.14.7: Basic vapour absorption refrigeration system with a solution heat exchanger on a pressure vs temperature diagram

Gambar 2.1 Skematik Sistem Absorpsi

Gambar di atas menunjukkan sistem dasar dari VARS (*vapour absorption refrigeration system*) dengan sebuah *solution heat exchanger* pada diagram tekanan vs temperatur. Seperti yang ditunjukkan pada gambar, uap refrijeran dengan temperatur dan tekanan yang rendah dari *evaporator* pada langkah ke-1 memasuki

absorber dan diserap oleh larutan yang lemah akan refrijeran (langkah ke-8). *Heat of absorption* (Q_a) dibuang melalui sebuah *external heat sink* pada T_∞ . Larutan yang kaya akan refrijeran (langkah ke-2) dipompa mencapai tekanan *generator* (P_g) oleh *solution pump* (langkah ke-3). Larutan bertekanan dipanaskan saat melalui *solution heat exchanger* dengan cara mengambil kalor dari larutan panas yang berasal dari *generator* (langkah ke-4). Kalor diberikan ke larutan tersebut dari sumber panas eksternal didalam *generator* (Q_g at T_g), sehingga menghasilkan uap refrijeran (langkah ke-5). Uap refrijeran bertekanan tinggi ini mengalami pengembunan di dalam *condenser* dengan cara membuang *heat of condensation* ke *external heat sink* (Q_c at T_∞) dan meninggalkan *condenser* dalam bentuk cairan bertekanan tinggi (langkah ke-9). Cairan refrijeran bertekanan tinggi ini memasuki alat ekspansi untuk mencapai tekanan *evaporator* P_e (langkah ke-10) lalu memasuki *evaporator*, mengambil kalor dari sumber kalor bertemperatur rendah (Q_e at T_e) dan meninggalkan *evaporator* dalam bentuk uap pada langkah ke-1, dan melengkapi satu siklus refrijeran. Larutan panas yang lemah dalam refrijeran (langkah ke-6) meninggalkan *generator* pada temperatur tinggi dan didinginkan dengan membuang kalor ke larutan yang akan menuju ke *generator* di dalam *solution heat exchanger* (langkah ke-7). Lalu larutan ini mencapai tekanan *evaporator* di dalam *throttle valve* (langkah ke-8), kemudian memasuki *absorber* untuk melengkapi siklus larutan. *Solution heat exchanger* berperan dalam meningkatkan COP dengan mengurangi *generator's heat input*. *Heat exchanger* ini merupakan sebuah *counterflow heat exchanger*.

2.2 Perpindahan Panas

Heat transfer adalah ilmu yang mempelajari tentang perpindahan energy (dalam bentuk panas) yang terjadi karena adanya perbedaan suhu diantarakedua benda atau material.

Ilmu perpindahan kalor melengkapi hukum pertama dan kedua termodinamika, sebagai contoh pada peristiwa pendinginan yang berlangsung pada suatu batangan baja panas yang dicelupkan kedalam air. Dengan termodinamika kita dapat menentukan suhu keseimbangan akhir dari suatu batangan baja dan air itu namun termodinamika tidak akan dapat menunjukkan kepada kita berapa lama waktu yang diperlukan untuk mencapai keseimbangan itu atau berapa suhu batangan itu pada saat sebelum tercapainya keseimbangan, sebaliknya ilmu perpindahan kalor dapat membantu kita untuk menentukan suhu batangan baja ataupun air itu sebagai fungsi waktu.

Jenis-jenis perpindahan panas yaitu :

1. Konduksi (hantaran)
2. Konveksi (aliran)
3. Radiasi (pancaran)

2.2.1 Perpindahan Panas Konduksi

Perpindahan kalor secara konduksi adalah proses perpindahan kalor dimana kalor mengalir dari daerah yang bersuhu tinggi ke daerah yang bersuhu rendah dalam suatu medium (padat, cair atau gas) atau antara medium-medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung. Secara umum laju aliran kalor secara konduksi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$q = -kA \frac{\delta T}{\delta x}$$

keterangan :

q = laju aliran kalor (Watt)

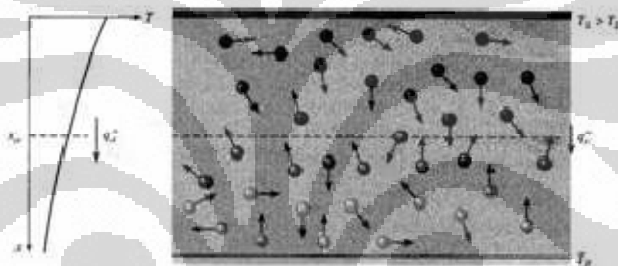
k = konduktifitas termal bahan ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$)

$\frac{\delta T}{\delta x}$ = gradien suhu ke arah perpindahan kalor ($^\circ\text{C}/\text{m}$)

A = luas penampang (m^2)

tanda minus diselipkan agar memenuhi hukum ke 2 termodinamika yaitu kalor mengalir ke temperatur yang lebih rendah.

Perpindahan kalor secara hantaran/konduksi merupakan satu proses pendalaman karena proses perpindahan kalor ini hanya terjadi di dalam bahan. Arah aliran energi kalor, adalah dari titik bersuhu tinggi ke titik bersuhu rendah.



Gambar 2.2 Perpindahan panas konduksi dan difusi energi akibat aktivitas molekul

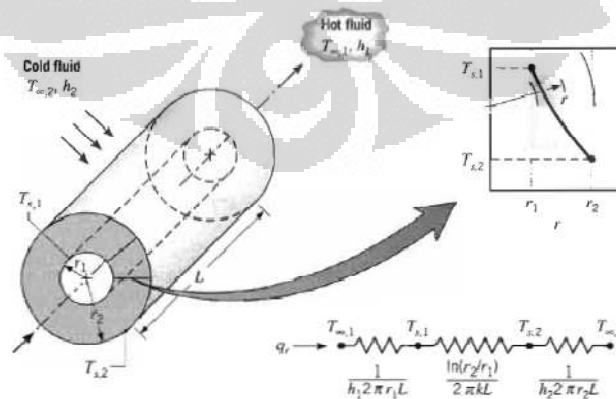
Sudah diketahui bahwa tidak semua bahan dapat menghantar kalor sama sepenuhnya. Dengan demikian, umpamanya seorang tukang hembus kaca dapat memegang suatu barang kaca, yang beberapa cm lebih jauh dari tempat pegangan itu adalah demikian panasnya, sehingga bentuknya dapat berubah. Akan tetapi seorang pandai tempa harus memegang benda yang akan ditempa dengan sebuah tang. Bahan yang dapat menghantar kalor dengan baik dinamakan konduktor. Penghantar yang buruk disebut isolator. Sifat bahan yang digunakan untuk menyatakan bahwa bahan tersebut merupakan suatu isolator atau konduktor ialah koefisien konduksi termal. Apabila nilai koefisien ini tinggi, maka bahan mempunyai kemampuan mengalirkan kalor dengan cepat. Untuk bahan isolator, koefisien ini bernilai kecil.

Pada umumnya, bahan yang dapat menghantar arus listrik dengan sempurna (logam) merupakan penghantar yang baik juga untuk kalor dan sebaliknya. Selanjutnya bila diandaikan sebatang besi atau sembarang jenis logam dan salah satu ujungnya diulurkan ke dalam nyala api. Dapat diperhatikan bagaimana kalor dipindahkan dari ujung yang panas ke ujung yang dingin. Apabila ujung batang logam tadi menerima energi kalor dari api, energi ini akan memindahkan sebagian energi kepada molekul dan elektron yang membangun bahan tersebut. Molekul dan elektron merupakan alat pengangkut kalor di dalam bahan menurut proses perpindahan kalor konduksi. Dengan demikian dalam proses pengangkutan kalor di dalam bahan, aliran elektron akan memainkan peranan penting. Persoalan yang patut diajukan pada pengamatan ini ialah mengapa kadar alir energi kalor adalah berbeda. Hal ini disebabkan karena susunan molekul dan juga atom di dalam setiap bahan adalah berbeda. Untuk satu bahan berfasa padat molekulnya tersusun rapat, berbeda dengan satu bahan berfasa gas seperti udara. Molekul udara adalah renggang sekali. Tetapi dibandingkan dengan bahan padat seperti kayu, dan besi, maka molekul besi adalah lebih rapat susunannya daripada molekul kayu.

Pada air cooler generator proses perpindahan konduksi terjadi pada bagian :

a. Pipa

Tahanan termal yang terjadi pada pipa silinder adalah :



Gambar 2.3 Mode Perambatan Panas

$$R_{th} = \ln (r_o/r_i) / 2\pi kL$$

- Dimana R_{th} = tahanan termal ($^{\circ}C/W$)
- r_o = jari - jari luar (m)
- r_i = jari - jari dalam (m)
- L = panjang pipa/silinder (m)
- K = konduktivitas dari benda ($W/m^{\circ}C$)

b. Sirip (fin)

Sirip berfungsi untuk memperbesar/memperluas perpindahan panas dari dinding datar, untuk menentukan laju perpindahan panas yang berhubungan dengan sirip. Pertama kita harus mendapatkan distribusi temperatur sepanjang sirip.

Tabel 2.1 Efektivitas Fin

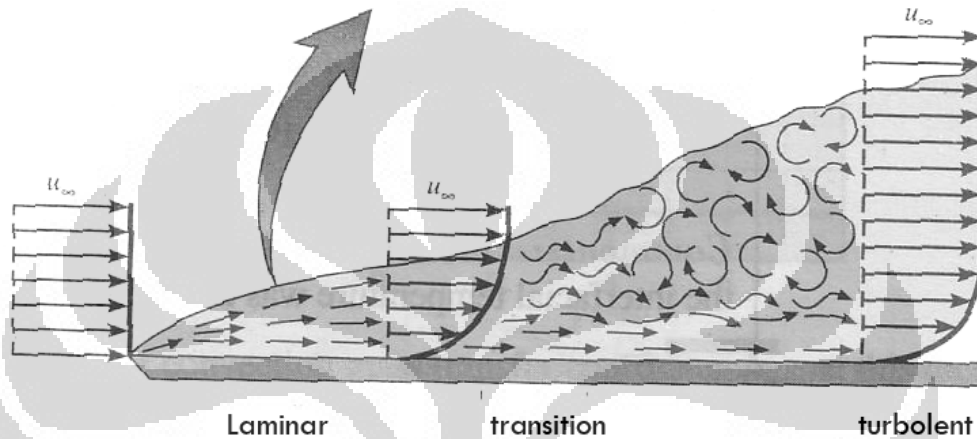
Case	Tip Condition ($x = L$)	Temperature Distribution θ/θ_b	Fin Heat Transfer Rate q_f
A	Convection heat transfer: $h\theta(L) = -k d\theta/dx _{x=L}$	$\frac{\cosh m(L-x) + (h/mk) \sinh m(L-x)}{\cosh mL + (h/mk) \sinh mL}$ (3.70)	$M \frac{\sinh mL + (h/mk) \cosh mL}{\cosh mL + (h/mk) \sinh mL}$ (3.72)
B	Adiabatic $d\theta/dx _{x=L} = 0$	$\frac{\cosh m(L-x)}{\cosh mL}$ (3.75)	$M \tanh mL$ (3.76)
C	Prescribed temperature: $\theta(L) = \theta_L$	$\frac{(\theta_L/\theta_b) \sinh mx + \sinh m(L-x)}{\sinh mL}$ (3.77)	$M \frac{(\cosh mL - \theta_L/\theta_b)}{\sinh mL}$ (3.78)
D	Infinite fin ($L \rightarrow \infty$): $\theta(L) = 0$	e^{-mx} (3.79)	M (3.80)

$\theta \equiv T - T_{\infty}$ $m^2 \equiv hP/kA_c$
 $\theta_b = \theta(0) = T_b - T_{\infty}$ $M \equiv \sqrt{hPkA_c} \theta_b$

2.2.2 Perpindahan Panas Konveksi

Pada permasalahan air cooler generator perpindahan panas konveksi terdapat pada dua sisi yaitu:

- a. Sisi udara → external flow (aliran luar)



Gambar 2.4 Aliran Luar

Pada persoalan aliran luar tersebut lapisan batas aliran berkembang secara bebas, tanpa batasan yang disebabkan oleh permukaan yang berada didekatnya. Sehubungan dengan itu akan selalu ada daerah lapisan batas yang berada disisi luar aliran dimana gradien kecepatan temperatur dapat diabaikan. Sebagai contoh meliputi pergerakan fluida diatas plat datar dimana laju perpindahan panasnya

$$q = hA_s(T_s - T_{\infty})$$

dimana h = koefisien perpindahan panas konveksi

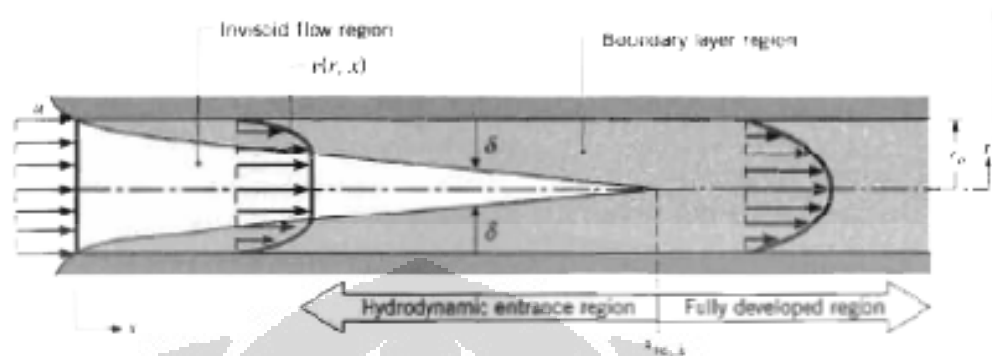
A_s = luas permukaan perpindahan kalor

T_s = suhu pada plat

T_{∞} = suhu udara

q = laju perpindahan panas

b. Sisi air → internal flow (aliran dalam)



Gambar 2.5 Aliran Dalam

Berbeda dengan aliran luar yang tanpa ada batasan luar (external constraints), pada aliran dalam seperti halnya yang terjadi didalam pipa adalah sesuatu dimana fluida dibatasi oleh permukaan sehingga lapisan batas tidak dapat berkembang secara bebas seperti halnya pada luar.

Konfigurasi aliran dalam merupakan bentuk geometri yang baik untuk pendinginan fluida yang digunakan pada proses kimia dan konversi energi.

Laju perpindahan panas :

$$q = hA_s(T_s - T_\infty)$$

dimana h = koefisien perpindahan panas konveksi

A_s = luas permukaan perpindahan kalor

T_s = suhu pada plat

T_∞ = suhu udara

q = laju perpindahan panas

c. Perpindahan panas keseluruhan

Pada banyak kasus perpindahan panas yang melibatkan proses konveksi dan konduksi.

Laju perpindahan total :

$$\mathbf{q} = \mathbf{U} \mathbf{A}_s \Delta \mathbf{T}_{1m}$$

Dimana untuk mencari U (koefisien perpindahan panas keseluruhan) adalah :

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_{udara} A_{udara}} + \frac{1}{2\pi kL} + \frac{1}{h_{air} A_{air}}$$

Koefisien perpindahan kalor menyeluruh bisa didasarkan atas luas dalam atau luas luar tabung, dimana nilai U nya adalah :

$$\frac{1}{U_o} = \frac{A_o}{h_i A_i} + \frac{A_o \ln(d_o / d_i)}{2\pi kL} + \frac{1}{\eta_o h_o}$$

Panas dari generator dialirkan ke air yang besarnya dapat ditentukan dari persamaan :

$$\mathbf{q} = \mathbf{m} \mathbf{C}_p (\mathbf{T}_{m,o} - \mathbf{T}_{m,i})$$

dimana T_{mo} = suhu air keluar dari cooler

T_{mi} = suhu air masuk dari cooler

2.2.3 Perpindahan Panas Radiasi

Perpindahan panas radiasi ialah perpindahan kalor melalui gelombang dari suatu zat ke zat yang lain. Semua benda memancarkan kalor. Keadaan ini baru terbukti setelah suhu meningkat. Pada hakekatnya proses perpindahan kalor radiasi terjadi dengan perantaraan foton dan juga gelombang elektromagnet. Terdapat dua teori yang berbeda untuk menerangkan bagaimana proses radiasi itu terjadi. Semua

bahan pada suhu mutlak tertentu akan menyinari sejumlah energi kalor tertentu. Semakin tinggi suhu bahan tadi maka semakin tinggi pula energi kalor yang disinarkan. Proses radiasi adalah fenomena permukaan. Proses radiasi tidak terjadi pada bagian dalam bahan. Tetapi suatu bahan apabila menerima sinar, maka banyak hal yang boleh terjadi. Apabila sejumlah energi kalor menimpa suatu permukaan, sebahagian akan dipantulkan, sebahagian akan diserap ke dalam bahan, dan sebahagian akan menembusi bahan dan terus ke luar. Jadi dalam mempelajari perpindahan kalor radiasi akan melibatkan suatu fisik permukaan. Laju perpindahan panas dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut :

$$q = \sigma \cdot A \cdot \Delta T^4$$

Keterangan : q = Laju perpindahan panas (Watt)

σ = Konstanta Boltzman ($5,669 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$)

A = Luas perpindahan panas (m^2)

ΔT^4 = Perbedaan temperatur absolut (K)

Bahan yang dianggap mempunyai ciri yang sempurna adalah benda hitam. Disamping itu, sama seperti cahaya lampu, adakalanya tidak semua sinar mengenai permukaan yang dituju. Jadi dalam masalah ini kita mengenal satu faktor pandangan yang lazimnya dinamakan faktor bentuk. Maka jumlah kalor yang diterima dari satu sumber akan berbanding langsung sebahagiannya terhadap faktor bentuk ini. Dalam pada itu, sifat termal permukaan bahan juga penting. Berbeda dengan proses konveksi, medan aliran fluida disekeliling permukaan tidak penting, yang penting ialah sifat termal saja. Dengan demikian, untuk memahami proses radiasi dari satu permukaan kita perlu memahami juga keadaan fisik permukaan bahan yang terlibat dengan proses radiasi yang berlaku. Proses perpindahan kalor sering terjadi secara serentak. Misalnya sekeping plat yang dicat hitam. Lalu dikenakan dengan sinar matahari. Plat akan menyerap sebahagian energi matahari. Suhu plat akan naik ke satu tahap tertentu. Oleh karena suhu permukaan atas naik maka kalor akan

berkonduksi dari permukaan atas ke permukaan bawah. Dalam pada itu, permukaan bagian atas kini mempunyai suhu yang lebih tinggi dari suhu udara sekeliling, maka jumlah kalor akan disebarkan secara konveksi. Tetapi energi kalor juga disebarkan secara radiasi. Dalam hal ini dua hal terjadi, ada kalor yang dipantulkan dan ada kalor yang dipindahkan ke sekeliling.



Gambar 2.6 Perpindahan panas radiasi (a) pada permukaan, (b) antara permukaan dan lingkungan

Selanjutnya, hal yang juga penting untuk diketahui bahwa kalor atau panas radiasi merambat lurus dan untuk perambatan itu tidak diperlukan medium (misalnya zat cair atau gas).

2.3 Alat Penukar Kalor

Alat penukar kalor atau pemindah panas atau sering disebut *Heat Exchanger* adalah alat yang digunakan untuk mengubah temperatur fluida atau mengubah fasa fluida dengan cara mempertukarkan kalornya dengan fluida lain, arti dari mempertukarkan disini adalah memberikan atau mengambil kalor. *Heat Exchanger* umumnya merupakan peralatan dimana dua jenis fluida yang berbeda temperaturnya dialirkan kedalamnya dan saling bertukar kalor melalui bidang - bidang perpindahan panas atau dengan cara kontak langsung (bercampur). Bidang perpindahan ini umumnya berupa dinding pipa - pipa atau sirip - sirip (fin). yang dipasangkan pada pipa. Kalor yang dapat dipindahkan diantara dua fluida tersebut besarnya sangat

bergantung pada kecepatan aliran fluida, arah alirannya, sifat fisik fluida, kondisi permukaan dan luas bidang perpindahan panas serta beda temperatur diantara kedua fluida. *Heat Exchanger* banyak digunakan di berbagai industri tenaga atau industri yang lainnya dikarenakan mempunyai beberapa keuntungan, antara lain:

1. Konstruksi sederhana, kokoh dan aman.
2. Biaya yang digunakan relatif murah.
3. Kemampuannya untuk bekerja pada tekanan dan temperature yang tinggi dan tidak membutuhkan tempat yang luas.

Apabila dua macam zat cair atau gas di dalam proses yang akan saling bertukar kalornya, maka akan kita perlu dianalisa tentang alat penukar kalor yang bersesuaian dengan material yang dipindahkan. Pada industri-industri kimia, alat penukar kalor biasanya digunakan untuk pemanasan dan pendinginan proses serta aliran produk. Analisa dan desain yang dilakukan digunakan untuk mengaplikasikan secara praktis prinsip-prinsip dasar yang sudah dibahas sebelumnya. Lazimnya alat penukar kalor adalah sistem yang digunakan penukaran kalor diantara dua fluida yang dibatasi oleh dinding pemisah. Pada kebanyakan sistem kedua fluida ini tidak mengalami kontak langsung. Kontak langsung alat penukar kalor terjadi sebagai contoh pada gas kalor yang terfluidisasi dalam cairan dingin untuk meningkatkan temperatur cairan atau mendinginkan gas. Dikarenakan ada banyak jenis penukar kalor, maka alat penukar kalor dapat dikelompokkan berdasarkan pertimbangan-pertimbangan yaitu proses perpindahan kalornya, jenis aliran fluidanya, berdasarkan fungsinya dan konstruksi juga pengaturan aliran.

2.3.1 Jenis-Jenis Penukar Kalor

Alat penukar kalor dapat digolongkan menjadi beberapa jenis, diantaranya yaitu:

1) Penukar kalor pipa ganda (*double pipe heat exchanger*)

Pada jenis ini tiap pipa atau beberapa pipa mempunyai *shell* sendiri-sendiri. Untuk menghindari tempat yang terlalu panjang maka *heat exchanger* ini dibentuk menjadi U. Pada beberapa keperluan khusus untuk meningkatkan kemampuan memindahkan panas bagian luar diberi sirip. Keistimewaan jenis ini adalah mampu beroperasi pada tekanan yang tinggi dan karena tidak ada sambungan resiko tercampurnya fluida sangat kecil. Kelemahannya adalah kapasitas perpindahan panasnya relatif kecil.

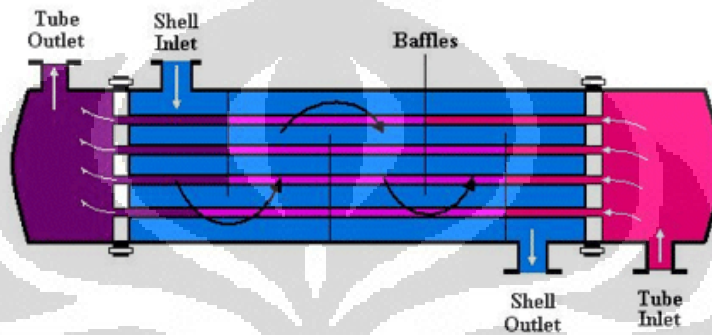
Alat penukar kalor pipa ganda adalah alat perpindahan kalor yang terdiri dari dua pipa konsentris (pipa kecil sebagai sentral, yang dibungkus oleh pipa yang lebih besar). Dimana satu fluida mengalir lewat pipa dalam sedangkan fluida yang lain mengalir lewat anulus, antara dinding pipa dalam dan dinding pipa luar. Alat ini digunakan dalam industri skala kecil, dan umumnya digunakan dalam skala laboratorium.



Gambar 2.7 *Double Pipe Heat exchanger*

2) Penukar kalor pipa-tabung (*shell and tube heat exchanger*)

Penukar kalor pipa-tabung (*shell and tube heat exchanger*) terdiri dari sebuah *shell* (tabung/silinder besar) dimana di dalamnya terdapat satu pipa dengan diameter yang cukup kecil. Satu jenis fluida mengalir didalam pipa-pipa sedangkan fluida lainnya mengalir di dalam pipa-pipa tetapi masih didalam *shell*-nya.



Gambar 2.8 *Shell and Tube Heat exchanger*

Jenis ini dapat dioperasikan untuk perbedaan temperatur sampai 200⁰F, cocok untuk digunakan sebagai kondenser, cairan dengan cairan, gas dengan gas, gas dengan cairan. Penukar kalor pipa-tabung memiliki beberapa keuntungan dan juga kekurangan diantaranya :

Keuntungan:

1. Bentuk dan desain mudah disesuaikan
2. Perawatan dan perbaikan mudah
3. Pabrik pembuat gampang ditemukan
4. Konfigurasi alat ini memberikan luas permukaan yang besar dalam volume yang kecil.
5. Mempunyai bentuk yang baik untuk operasi bertekanan.

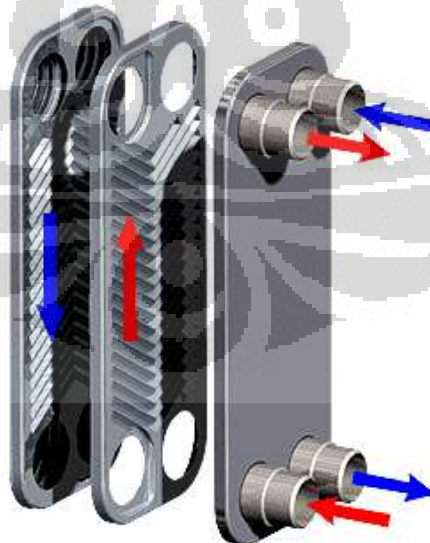
6. Menggunakan teknik fabrikasi yang sudah baik.
7. Dapat dikonstruksi dari sejumlah besar material.
8. Mudah dibersihkan.

Kekurangan:

1. Kebutuhan akan ruang besar
2. Kondisi kerja terbatas

3) Penukar Kalor Pelat (Plates Heat Exchanger)

Penukar kalor pelat (plates heat exchanger) terdiri dari beberapa pelat yang tersusun di dalam bingkai yang besar. Zat yang satu mengalir melalui rusuk-rusuk diantara kedua pelat sebagaimana ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 2.9 Plate Heat Exchanger

Penyukar kalor jenis plat memiliki beberapa keuntungan dan juga kekurangan diantaranya :

Keuntungan :

1. Luas transfer panas besar dengan volume yang kecil
2. Tingkat fleksibilitasnya tinggi
3. Tahan korosi dan reaksi kimia
4. Mudah dibersihkan

Kekurangan :

1. Pressure drop tinggi
2. Mudah terjadi kerusakan karena perbedaan tekanan
3. Mudah tersumbat oleh partikel padat
4. Start up agak lama

4) Penyukar Kalor Pipa Koil (Coil Pipe Heat Exchanger)

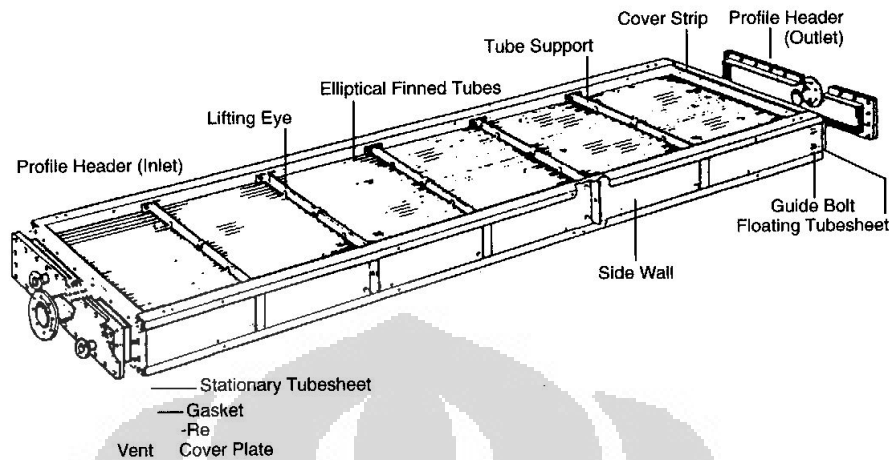
Penyukar kalor pipa koil (coil pipe heat exchanger) ini mempunyai pipa berbentuk koil yang ditenamkan di dalam sebuah box berisi air dingin yang mengalir atau air yang disemprotkan untuk mendinginkan fluida panas yang mengalir didalam pipa.



Gambar 2.10 *Coil Pipe Heat Exchanger*

5) Penukar Kalor Pendingin Udara (*Air Cooled Heat Exchanger*)

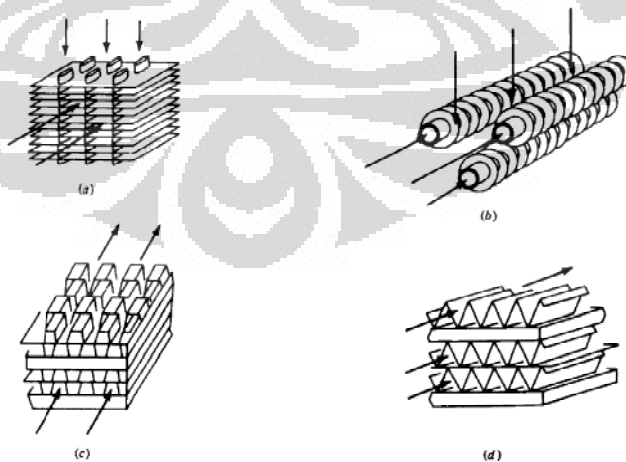
Penukar kalor pendingin udara umumnya digunakan dalam aplikasi industri dimana sumber air yang dapat diandalkan tidak tersedia sebagai media pendinginan. Bahkan jika air tersedia, dalam beberapa kasus, udara Penukar kalor pendingin udara digunakan untuk alasan ekonomi atau pun alasan operasional karena memiliki berbagai macam kelebihan yaitu sirkuit pendingin air, pompa, sistem air pendingin dan sistem air conditioning yang menambah kompleksitas dan kebutuhan modal, serta biaya operasi dan pemeliharaan. Cara kerjanya adalah proses cairan panas harus didinginkan mengalir melalui tabung sedangkan pendingin udara mengalir di permukaan luar untuk membuang panas. Khususnya dirancang sirip yang melekat pada permukaan luar tabung untuk membuat besar luas permukaan untuk pendinginan lebih efektif. Tingkat perpindahan panas adalah fungsi luas permukaan sirip dan kecepatan aliran udara. Desain mekanik penukar kalor harus mengakomodasi proses kondisi termasuk tekanan dan temperatur selain itu tingkat korosiv dan kondensasi. Kunci untuk kualitas dan umur penukar kalor ini adalah pemilihan material yang tepat dan teknologi fabrikasi.



Gambar 2.11 Air Cooled Heat Exchanger

6) Penukar Kalor Kompak (Compact Heat Exchanger)

Jenis penukar kalor kompak mempunyai luas permukaan yang sangat besar persatuan volume yaitu sekitar lebih dari 650 m^2 per meter kubik volume. Penukar kalor jenis ini sangat cocok untuk penerapan dalam aliran gas dimana nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh (U) adalah rendah dan diperlukan luas yang besar dalam volume yang kecil.



Gambar 2.10 Contoh-contoh konfigurasi Compact Heat exchanger

Berdasarkan gambar terlihat bahwa gambar (a) merupakan penukar kalor tabung bersirip dengan tabung-tabung rata, sedangkan pada gambar (b) menunjukkan tabung bersirip bundar dalam satuan konfigurasi lain, kemudian gambar (c) dan gambar (d) menggambarkan cara lain untuk mendapatkan luas permukaan yang besar pada kedua sisi penukar kalor. Dua konfigurasi terakhir ini cocok untuk proses-proses dimana terdapat perpindahan panas dari gas ke gas.

Keunggulan:

1. Biaya perawatan lebih murah
2. Walaupun terjadi kegagalan *heat exchanger* masih dapat beroperasi
3. Faktor *fouling* dapat diabaikan
4. Desain lebih sederhana

Kekurangan:

1. Suara lebih keras
2. *Range* kerja sangat terbatas, biasanya tidak bekerja pada suhu ekstrim.

2.4. Parameter Dalam Perhitungan Nilai Perpindahan Panas Penukar Kalor

Dalam alat penukar kalor diterapkan susunan tabung bersirip (*finned-tube*) untuk membuang kalor dari fluida panas. Namun dalam pembahasan nilai-nilai parameter penting untuk perhitungan laju perpindahan panas laporan ini tidak dibahas mengenai efektivitas sirip atau *fin* melainkan hanya membahas mengenai perpindahan panas pada tabung atau *tube*-nya saja, sehingga persamaan yang dibahas adalah tentang *tube* dengan perhitungan menggunakan persamaan konveksi yang secara umum digunakan pada penukar kalor pipa ganda (*double pipe*) ataupun tabung-pipa (*shell and tube*). Seringkali salah satu fluida dalam sebuah penukar-panas mengalir dalam pipa, sedang fluida yang lain mengalir dalam ruang anulus sebuah pipa yang

lebih besar atau dalam ruang sebuah *shell* yang memuat banyak pipa, perpindahan panas berlangsung secara radial terhadap pipa. Antara fluida di dalam pipa dan permukaan dinding pipa sebelah dalam, panas dipertukarkan secara konveksi, kemudian panas menjalar secara konduksi melalui logam dinding pipa sedangkan di luar pipa terjadi lagi konveksi.

Nilai laju perpindahan panas dalam alat penukar kalor dapat dihitung berdasarkan teori perpindahan panas secara konveksi. Selain laju perpindahan panas, parameter penting yang mempengaruhi efektivitas suatu alat penukar kalor adalah nilai koefisien perpindahan panasnya. Besarnya koefisien pindah panas secara konveksi diperkirakan dari persamaan-persamaan empiris. Untuk konveksi dalam pipa sudah tentu persamaan empirisnya lain daripada untuk konveksi luar pipa. Banyak buku yang memuat keterangan tentang koefisien pindah panas, baik dalam bentuk persamaan, maupun dalam bentuk nomogram. Dalam mencari persamaan-persamaan empiris itu harus diperhatikan sifat fluida, sifat aliran, jenis perpindahan panas (pemanasan atau pendinginan), letak pipa dan lain sebagainya.

2.4.1. Sifat-sifat Termodinamika Fluida

a. Temperatur rata-rata fluida

$$T_{\text{air}} = \frac{T_{ci} + T_{co}}{2} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana : Temperatur *inlet* (T_{ci})
 Temperatur *outlet* (T_{co})

b. Mencari temperatur rata-rata udara

$$T_{\text{udara}} = \frac{T_{hi} + T_{ho}}{2} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana : Temperatur *outlet* (T_{ho})

Temperatur *inlet* (T_{hi})

c. Mencari nilai sifat-sifat termodinamika air dan udara

Mencari sifat-sifat Termodinamika air pada Lampiran 1, Sifat-sifat Air (Zat-Cair Jenuh) pada keadaan T_{air} , setelah diinterpolasi didapat nilai *Density* (ρ), *Dynamic Viscosity* (μ), *Thermal Conductivity* (k), *Prandtl Number* (Pr).

Mencari sifat-sifat Termodinamika udara pada Lampiran 1, Sifat-sifat Udara pada Tekanan Atmosfer pada keadaan T_{udara} , setelah diinterpolasi didapat nilai *Density* (ρ), *Specific Heat* (C_p), *Dynamic Viscosity* (μ), *Thermal Conductivity* (k), *Prandtl Number* (Pr).

2.4.2. Sifat Aliran Fluida

Di alam ini terdapat dua jenis aliran fluida. Pertama dikenal dengan aliran laminar dimana sifatnya tenang, kecepatannya rendah, semua partikel-partikelnya mempunyai sifat aliran yang seragam. Kedua adalah aliran turbulen pada aliran ini masing-masing partikelnya mempunyai arah kecepatan yang berlainan dan tidak seragam sehingga setiap partikel mempunyai kesempatan yang sama untuk menyentuh permukaan atau dinding saluran, dengan demikian kesempatan fluida mengambil atau mentransfer panas pada dinding saluran menjadi lebih besar. Dalam *heat exchanger* selalu diinginkan agar alirannya turbulen sehingga kapasitas perpindahan panasnya meningkat. Aliran turbulen dapat diperoleh dengan pemasangan *baffle* atau dengan membuat permukaan dinding saluran kasar. Jenis

aliran turbulen atau laminar dapat ditentukan perhitungan bilangan *Reynold*. Bilangan *Reynold* untuk aliran dalam pipa dapat didefinisikan dengan menggunakan rumus :

$$Re = \frac{\rho \cdot D \cdot V}{\mu} \dots\dots\dots(2.12)$$

Keterangan : ρ = kerapatan fluida (kg/m^3)

V = kecepatan aliran (m/s)

D = diameter pipa (m)

μ = viskositas dinamik (kg/m.s)

Bilangan Reynolds digunakan sebagai kriteria untuk menunjukkan sifat aliran fluida, apakah aliran termasuk aliran laminar, transisi atau turbulen. Untuk $Re < 2000$ biasanya termasuk jenis aliran laminar sedangkan untuk $2000 < Re < 4000$ adalah jenis aliran transisi dan untuk $Re > 4000$ adalah jenis aliran turbulen.

Sedangkan bilangan Nusselt untuk aliran turbulen yang sudah jadi atau berkembang penuh (*fully developed turbulent flow*) di dalam tabung licin dapat dituliskan dengan persamaan:

$$Nu = 0,023 (Re)^{0,8} (Pr)^n \dots\dots\dots(2.13)$$

Pada bagian pintu masuk dimana aliran belum berkembang atau bersifat aliran transisi, bilangan Nusselt dapat dituliskan dalam persamaan :

$$Nu = 0,023 (Re)^{0,8} (Pr)^{0,3} (d/L)^{0,055} \dots\dots\dots(2.14)$$

Dan bilangan Nusselt untuk aliran laminar dapat dituliskan dalam persamaan :

$$Nu = 1,86 (Re \cdot Pr)^{0,3} (d/L)^{0,3} (\mu/\mu_w)^{0,14} \dots\dots\dots(2.15)$$

Keterangan : $n = 0,3$. untuk pendinginan.

$n = 0,4$. untuk pemanasan.

$Re =$ bilangan Reynolds

$Pr =$ bilangan Prandtl

$d =$ diameter tabung

$L =$ panjang tabung

2.4.3 Laju perpindahan kalor pada alat penukar kalor

Pada dasarnya laju perpindahan kalor pada alat penukar kalor dipengaruhi oleh adanya tiga (3) hal, yaitu :

1. Koefisien perpindahan kalor menyeluruh (U)

Nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh dapat didasarkan atas luas dalam atau luas luar tabung, menurut selera perancang sehingga cara menghitungnya bisa dengan 2 cara yaitu :

- Koefisien Perpindahan Panas Keseluruhan berdasarkan pipa dalam (U_i)

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{A_i \ln \frac{r_o}{r_i}}{2 \cdot \pi \cdot k_{material} \cdot L} + \frac{A_i}{A_o} \frac{1}{h_o}} \dots \dots \dots (2.16)$$

- Koefisien Perpindahan Panas Keseluruhan berdasarkan pipa luar (U_o)

$$U_o = \frac{1}{\frac{1}{h_o} + \frac{A_o \ln \frac{r_o}{r_i}}{2 \cdot \pi \cdot k_{material} \cdot L} + \frac{A_o}{A_i} \frac{1}{h_i}} \dots \dots \dots (2.17)$$

Keterangan : r_i = jari-jari pipa dalam (m)

r_o = jari-jari pipa luar (m)

A_o = luas permukaan luar total, dalam (m^2)

A_i = luas permukaan dalam total, dalam (m^2)

h_o = koefisien perpindahan kalor konveksi pada pipa bagian luar (W/m^2K)

h_i = koefisien perpindahan kalor konveksi pada pipa bagian dalam (W/m^2K)

L = panjang pipa (m)

$k_{material}$ = konduktivitas panas material (W/m^0C)

Koefisien perpindahan kalor pada masing-masing proses perpindahan kalor dapat dijabarkan sebagai berikut :

- Menghitung Nilai Koefisien Perpindahan Panas Konveksi Bagian Dalam (h_i)

$$Nu = \frac{h_i \cdot Di}{k} \dots\dots\dots(2.18)$$

Keterangan :

h_i = koefisien perpindahan panas konveksi bagian dalam ($W/(m^2.K)$)

Nu = Bilangan Nuselt

k = Konduktivitas termal ($W/m^2.^\circ C$)

Di = Diameter dalam (m)

- Menghitung Nilai Koefisien Perpindahan Panas Bagian Luar (h_o)

$$Nu = \frac{h_o \cdot D_o}{k} \dots\dots\dots(2.19)$$

Keterangan :

h_o = koefisien perpindahan panas konveksi bagian luar (W/
($m^2 \cdot K$))

Nu = Bilangan Nuselt

k = Konduktifitas termal (W/ $m^2 \cdot ^\circ C$)

D_o = Diameter luar (m)

2. Luas perpindahan panas (A)

- Menghitung Luas Perpindahan Panas (A)

Luas permukaan perpindahan panas permukaan dalam pipa (A_i)

$$A_i = \pi \cdot D_i \cdot L \dots\dots\dots(2.20)$$

Luas permukaan perpindahan panas permukaan luar pipa (A_o)

$$A_o = \pi \cdot D_o \cdot L \dots\dots\dots(2.21)$$

Luas permukaan penukar kalor total dapat juga dihitung berdasarkan persamaan :

- Luas permukaan penukar panas (A_{total})

$$q = U_o \cdot A_{total} \cdot F \cdot \Delta T_{LMTD}$$

$$A_{total} = \frac{q}{U_o \cdot F \cdot \Delta T_{LMTD}} \dots\dots\dots(2.22)$$

Keterangan :

A_o = luas permukaan luar total, dalam (m^2)

A_i = luas permukaan dalam total, dalam (m^2)

D_i = diameter pipa bagian dalam (m)

D_o = diameter pipa bagian luar (m)

L = panjang pipa (m)

U_o = Koefisien Perpindahan Panas Keseluruhan berdasarkan pipa luar ($W/m^2 \cdot K$)

F = Faktor koreksi

ΔT_{LMTD} = Beda suhu rata rata log

3. Beda suhu rata-rata log atau *Logarithmic Mean Temperature Difference* (ΔT_{LMTD})

$$\Delta T_1 = T_{ho} - T_{ci}$$

$$\Delta T_2 = T_{hi} - T_{co}$$

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}} \dots \dots \dots (2.23)$$

Keterangan :

T_{ci} = Temperatur air masuk ($^{\circ}C$)

T_{co} = Temperatur air keluar ($^{\circ}C$)

T_{hi} = Temperatur udara masuk ($^{\circ}C$)

T_{ho} = Temperatur udara keluar ($^{\circ}C$)

Dimana ΔT_{LMTD} ini disebut beda suhu rata-rata log atau beda suhu pada satu ujung penukar kalor dikurangi beda suhu pada ujung lainnya dibagi dengan logaritma alamiah daripada perbandingan kedua beda suhu tersebut. Konfigurasi aliran alternatif adalah alat penukar panas dimana fluida bergerak dalam arah aliran melintang (cross flow) atau dengan sudut tegak lurus satu sama lainnya melalui alat penukar panas tersebut, jika suatu penukar kalor yang bukan jenis pipa ganda digunakan, perpindahan kalor dihitung dengan menerapkan faktor koreksi terhadap LMTD untuk susunan pipa ganda aliran lawan arah dengan suhu fluida panas dan dingin yang sama, maka persamaan perpindahan panas menjadi $Q = U \cdot A \cdot F \cdot \Delta T_{LMTD}$. Bila terdapat perubahan fase seperti kondensasi atau penguapan, fluida biasanya berada pada suhu yang hakekatnya tetap maka nilai faktor koreksi $F = 1,0$.

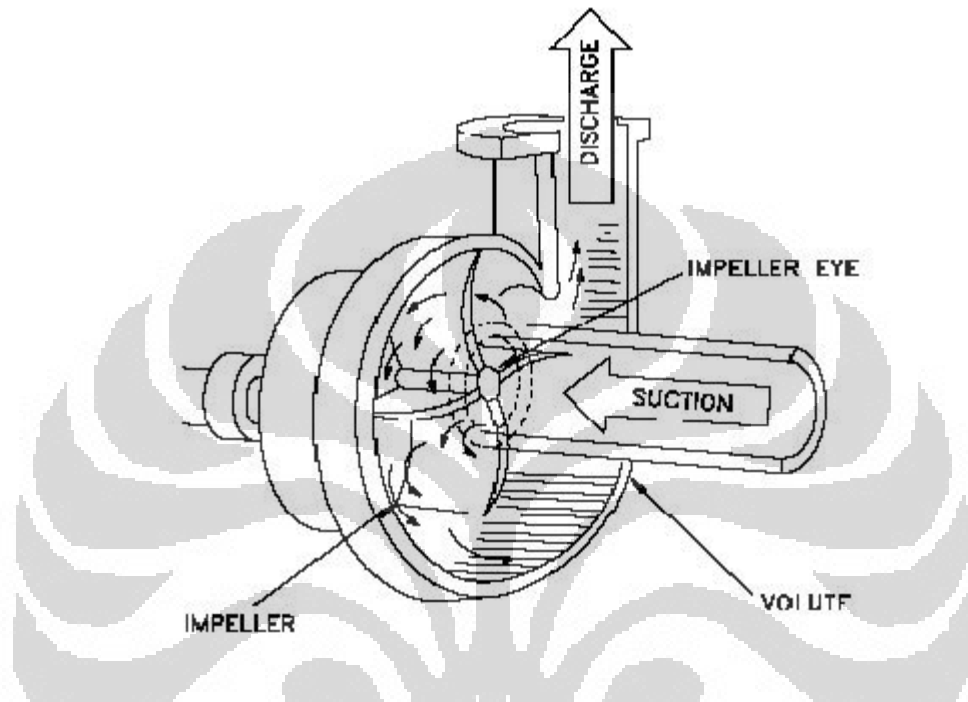
2.5. Pompa

2.5.1. Pompa Sentrifugal

Pompa sentrifugal secara prinsip terdiri dari casing pompa dan *impeller* yang terpasang pada poros putar. Casing pompa berfungsi sebagai pelindung, batas tekan dan juga terdiri dari saluran- saluran yang untuk masukan (*suction*) dan keluaran (*discharge*). *Casing* ini memiliki *vent* dan drain yang berguna untuk melepas udara atau gas yang terjebak dalam *casing* selain untuk juga berguna perawatannya.

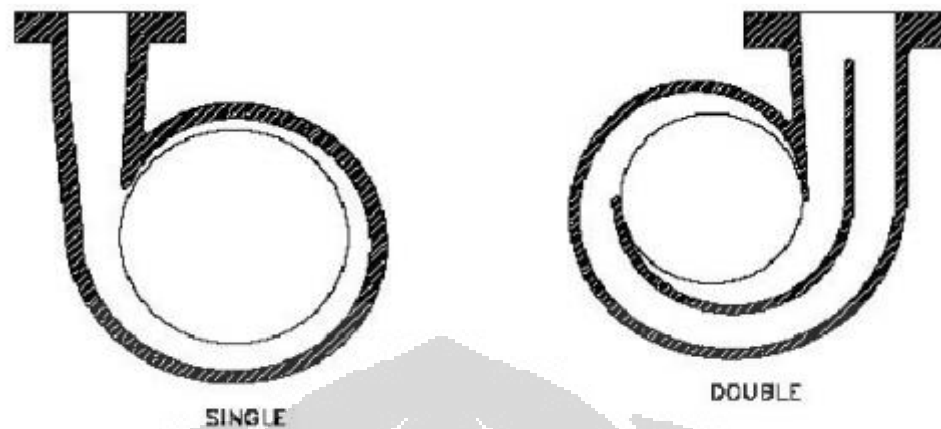
Gambar ilustrasi di bawah ini merupakan diagram sederhana daripada pompa sentrifugal yang menunjukkan lokasi dari *suction* pompa, *impeller*, *volute* dan *discharge*. *Casing* pompa sentrifugal menuntun aliran suatu cairan dari saluran *suction* menuju mata (*eye*) *impeller*. *Vanes* dari *impeller* yang berputar meneruskan dan memberikan gaya putar sentrifugal kepada cairan ini sehingga cairan bergerak menuju keluar *impeller* dengan kecepatan tinggi. Cairan tersebut kemudian sampai dan mengumpul pada bagian terluar *casing* yaitu *volute*. *Volute* ini merupakan area atau saluran melengkung yang semakin lama semakin membesar ukurannya, dan

seperti halnya *diffusor*, *volute* berperan besar dalam hal peningkatan tekanan cairan saat keluar dari pompa, merubah energi kecepatan menjadi tekanan. Setelah itu liquid keluar dari pompa melalui saluran *discharge*.



Gambar 2.11 Pompa Sentrifugal

Pompa Sentrifugal juga bisa dibuat dengan dua *volute*. Pompa semacam ini biasa disebut *double volute pumps*, dimana *discharge*-nya berbeda posisi 180°. Untuk aplikasinya bisa meminimaliskan gaya radial yang mengenai poros dan bantalan sehubungan dengan ketidakseimbangan tekanan di sekitar *impeller*. Perbandingan antara *single* dan *double volute* sentrifugal bisa dilihat di bawah ini:



Gambar 2.12 Double volute dan single volute

2.5.2. Pompa Magnetik

Cara kerja pompa ini adalah tergantung dari kerja langsung sebuah medan magnet *padiedia ferromagnetic* yang dialirkan, oleh karena itu penggunaan dari pompa ini sangat terbatas pada cairan metal. Pada pompa penggerak magnetik, rotor pompa terpasang secara magnetik ke motor.

Keunggulan

1. Tidak ada kebocoran
2. Tidak ada liquid berharga yang hilang
3. Tingkat kebisingan yang sangat rendah
4. Dapat meng-*handle* liquid dengan *toxy rating* 0 s/d 4
5. *External piping* sangat sedikit

Kelemahan

1. Tidak dapat meng-*handle* liquid yang mengandung *slurry/dirty liquid*
2. Servis temperatur relatif lebih rendah
3. Tidak dapat meng-*handle* liquid yang dapat mengeras
4. *Viscous liquid* harus lebih kecil daripada

BAB III

PERANCANGAN

3.1. Perhitungan Termodinamika

Kondisi rancangan :

- Kapasitas refrigerasi : 1 TR (ton of refrigeration) = 3.52 kW
- Temperatur evaporator : 8 °C ($P_{\text{sat}} = 1,073$ kPa)
- Temperatur kondensasi : 35 °C ($P_{\text{sat}} = 5,9275$ kPa)
- Temperatur keluar absorber : 40 °C
- Temperatur keluar generator : 80°C
- Konsentrasi larutan keluar absorber : 0.55
- Konsentrasi larutan keluar generator : 0.60
- Solution Heat Exchanger Effectiveness : 90 %
- Kondisi refrigeran (air) keluar evaporator dan kondenser : saturated
- Kerapatan (density) larutan : 1.200 kg/m³

Ditentukan $T_{\text{generator}} = 80$ °C. Diasumsikan uap air yang keluar dari generator memiliki temperature yang sama dengan larutan LiBr strang solution yang keluar dari geneator.

Dirancang $T_{\text{uap air}} = 80$ °C, entalphy uap air (superheated) :

$$h_{w,\text{sup}} = 2501 + 1.88 (T - T_{\text{ref}}) = 2501 + 1.88 (80 - 0) = 2651.4$$

$T_{\text{ref}} = 0$ °C (reference temperature)

Dari definisi ekeftifitas campuran maka HX;

$$\epsilon_{\text{HX}} = [m_{\text{SS}} c_{p,\text{SS}} (T_8 - T_9)] / [m_{\text{SS}} c_{p,\text{SS}} (T_8 - T_6)] = 0.9 \quad (m_{\text{SS}} < m_{\text{WS}})$$

$$T_8 - T_9 = 0.9 (T_8 - T_6)$$

$$0.1 T_8 = T_9 - 0.9 T_6$$

$$T_9 = 0.1 T_8 + 0.9 T_6 = 0.1(80) + 0.9(40) = 44$$
 °C

Tabel berikut merupakan variasi data properties yang dihasilkan dari properties refrigerant dan larutan LiBr :

Tabel 3.1 Data termodinamika setiap titik

STATE POINT	TEMPERATURE (°C)	PRESSURE (mbar)	MASS FRACTION, ξ	ENTHALPY (kJ/kg)
1	80	59.275	-	2651,4

2	35	59.275	-	146,65
3	8	10.73	-	146,65
4	8	10.73	-	2516,04
5	40	10.73	0.55	93,64847
6	40	59.275	0.55	93,6485
7	76	59.275	0.55	157,321
8	80	59.275	0.60	192,882419
9	44	59.275	0.60	123,4215
10	44	10.73	0.60	123,4215

Enthalpy dari uap air superheated (h) dihasilkan dengan menggunakan persamaan :

$$h_v = 2501 + 1.88 t, \text{ where } h_v \text{ is in kJ/kg and } t \text{ is in } ^\circ\text{C}.$$

Enthalpy dari weak solution yang keluar dari generator dihasilkan dari persamaan keseimbangan energi :

$$m_{WS}(h_7-h_6) = m_{SS}(h_8-h_9)$$

$$h_7 = h_6 + m_{SS}(h_8-h_9)/m_{WS} = 157,321 \text{ kJ/kg}$$

a) Laju alir massa refrijeran, $m = Q_e/(h_4-h_3) = 0,001486 \text{ kg/s}$

- Circulation ratio, $\lambda = m_{SS}/m = \xi_{ws}/(\xi_{ss} - \xi_{ws}) = 11$
- Laju alir massa larutan (strong solution), $m_{SS} = \lambda m = 0,016342 \text{ kg/s}$
- Laju alir massa larutan (weak solution), $m_{WS} = (\lambda + 1)m = 0,017827 \text{ kg/s}$

b) Laju alir kalor :

- Evaporator: $Q_e = 3.52 \text{ kW}$ (input data)
- Absorber: From energy balance:

$$Q_a = m h_4 + m_{SS} h_{10} - m_{WS} h_5 = 4,085284 \text{ kW}$$

- Generator: From energy balance:

$$Q_g = m h_1 + m_{SS} h_8 - m_{WS} h_7 = 4.286376 \text{ kW}$$

- Condenser: From energy balance:

$$Q_c = m(h_1-h_2) = 3.721093 \text{ kW}$$

- Solution heat exchanger: From energy balance:

$$Q_{SHX} = 1.1351136 \text{ kW}$$

c) System COP (neglecting pump work) = $Q_e/Q_g = 0.82120648$

Second law efficiency = COP/COP_{Carnot}

$COP_{Carnot} = [T_e/(T_c - T_e)] [(T_g - T_a)/T_g] = 1.179437968$

Second law efficiency = 0.696269323

d) Daya pompa larutan (assuming the solution to be incompressible)

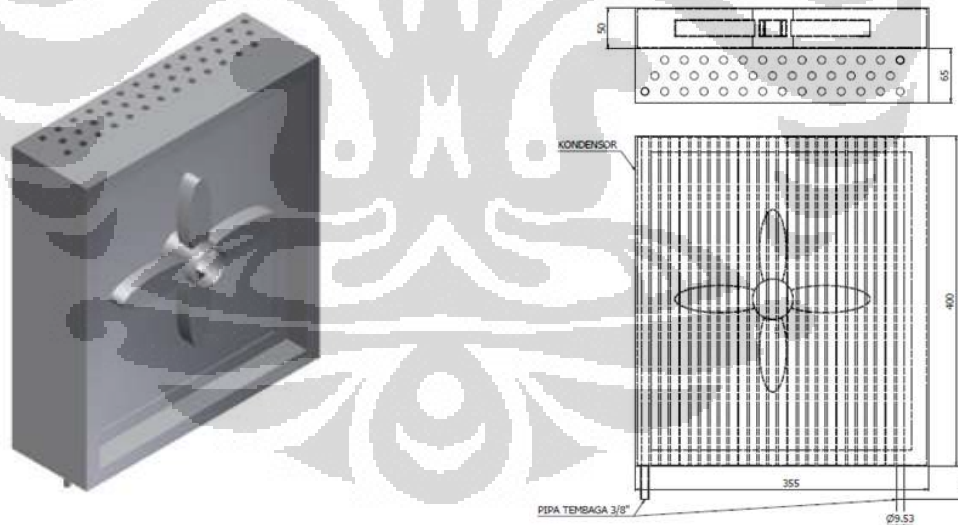
$W_p = v_{sol}(P_6 - P_5) = (P_6 - P_5)/\rho_{sol} = (95.944 - 10.73) * 10^{-1} / 1200 = 0.004045 \text{ kW}$

e) Temperatur strong solution masuk generator

$$\varepsilon_{HX} = \frac{(T_7 - T_6)}{(T_8 - T_6)} = \frac{(76 - 40)}{(80 - 40)} = 76^\circ C$$

3.2. Hasil Rancangan dan Pemilihan Komponen

3.2.1. Kondenser



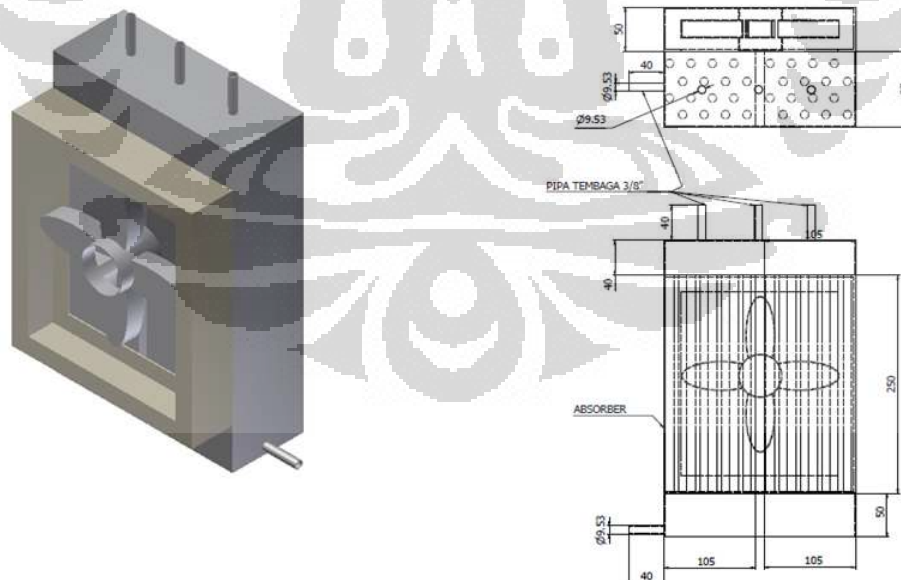
Gambar 3.1. Hasil rancangan kondenser

Spesifikasi :

- Dimensi luar kondenser : P x L x T = 355 x 400 x 65 mm

- Kapasitas fan : 400 CFM
- *Pressure drop* : 5.14 Pa (0.02 in.Water)
- Material *tube* : Tembaga
- Material *fin* : Alumunium
- Total jumlah *tube* : 32 *tube*
- Total panjang *tube* : 10.8 m
- Posisi *tube* : horizontal
- Diameter *tube* : 3/8 inch (9.53 mm)
- Jumlah *fin* per inch : 14
- Jumlah *row* : 3 row
- Q kondenser : 3.72 kW
- *Overall heat transfer coefficient* (U) : 677.1 W/m²K

3.2.2. Absorber

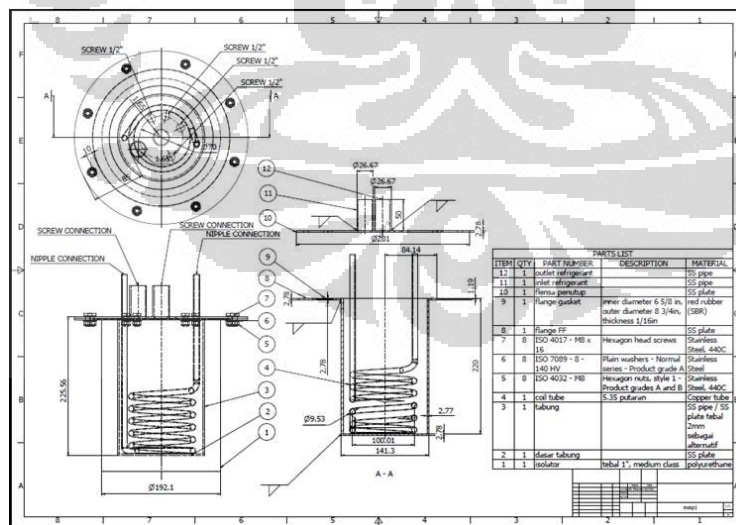


Gambar 3.2 Hasil rancangan absorber

Spesifikasi :

- Dimensi luar absorber : P x L x T = 250 x 200 x 87 mm
- Kapasitas fan : 212 CFM
- *Pressure drop* : 3.14 Pa (0.013 in.Water)
- Material tube : Tembaga
- Material *fin* : Aluminium
- Total jumlah *tube* : 32 *tube*
- Panjang tiap *tube* : 25 cm
- Posisi *tube* : vertical
- Diameter *tube* : 3/8 inch (9.53 mm)
- Jumlah fin per inch : 14
- Jumlah *row* : 4
- Q absorber : 4.08 kW
- *Overall heat transfer coefficient (U)* : 167.4 W/m²K

3.2.3. Evaporator

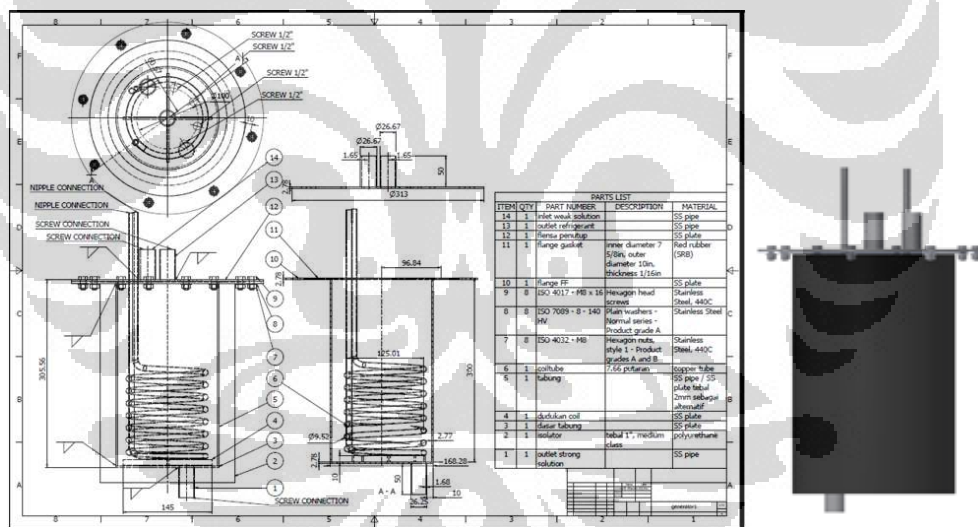


Gambar 3.3 Hasil rancangan evaporator

Spesifikasi :

- Material tabung : Stainless steel
- Diameter tabung : 14 cm
- Tinggi tabung : 22 cm
- Material *tube coil* : Tembaga
- Diameter *tube coil* : 3/8 inch (9.53 mm)
- Diameter luar *coil* : 11 cm
- Panjang total *coil* : 1.75 m
- Q evaporator : 3.52 kW

3.2.4. Generator



Gambar 3.4 Hasil rancangan generator

Spesifikasi :

- Material tabung : Stainless steel
- Diameter tabung : 15 cm
- Tinggi tabung : 30 cm

- Material *tube coil* : Tembaga
- Diameter *tube coil* : 3/8 inch
- Diameter luar *coil* : 13.5 cm
- Panjang total *coil* : 2.09 m
- Q generator : 4.28 kW

3.2.5. Solution Heat Exchanger



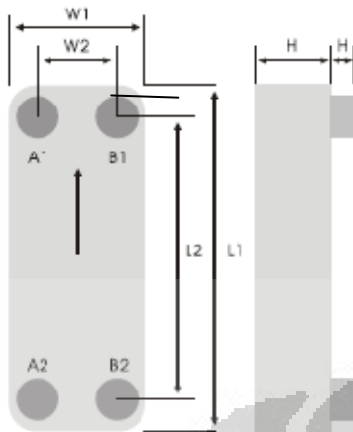
Gambar 3.5 Solution heat exchanger

Spesifikasi :

Untuk *solution heat exchanger*, jenis *heat exchanger* yang digunakan adalah *Plate Heat Exchanger* (PHE) jenis Kaori K070. Dimana tabel di bawah ini yang ditandai merupakan spesifikasi dari *plate heat exchanger* yang digunakan.

Tabel 3.2 Spesifikasi *Plate Heat Exchanger*

Brazing material	Cu	Cu+	Nickel	Nickel+	Material of plates									
					K025	K030	K040	K050	K070	K095	K105	K205	K210	K215
Max. Test Pressure	43	65	15	43	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Max. Operation Pressure	30	45	10	30	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Operation Temp		-195 ~ 150°C							•			•		
					SUS 316 (Standard)	•	•	•	•	•	•	•	•	•
					SUS 304 (Optional)	•	•	•	•	•	•	•	•	•
					SMC254 (Optional)				•			•		

Tabel 3.3 Spesifikasi dimensi *Plate Heat Exchanger*

	L1 (mm)	L2 (mm)	W1 (mm)	W2 (mm)	Weight (kg)	Thickness (mm)	Heat Transfer Area (m ² /plate)	Total Heat Transfer Area (m ²)	Volume (liter/channel)	Total Volume (liter)
K025F	205	172	73	42	0,81+0,04x(N-1)	8+2,27x(N-1)	0,0120	(N-2)x0,0120	0,025	(N-1)x0,025
K030	194	154	80	40	0,8+0,05N	10+2,25N	0,0117	(N-2)x0,0117	0,025	(N-1)x0,025
K040	311	278	73	40	0,84+0,07N	10+2,3N	0,01946	(N-2)x0,01946	0,040	(N-1)x0,040
K050	306	250	106	50	1,5+0,135N	10+2,4N	0,0255	(N-2)x0,0255	0,055	(N-1)x0,055
K070	304	250	124	70	1,6+0,15N	10+2,4N	0,0300	(N-2)x0,0300	0,065	(N-1)x0,065
K095	522	466	106	50	3,1+0,22N	10+2,4N	0,0475	(N-2)x0,0475	0,095	(N-1)x0,095
K105	504	444	124	64	3,5+0,24N	10+2,4N	0,0533	(N-2)x0,0533	0,107	(N-1)x0,107
K105D	504	444	124	64	4,9+0,24(M+N)	12+2,4(M+N)	0,0533	(M+N-4)x0,0533	0,107	(M+N-2)x0,107
K205	528	456	246	174	7,2+0,52N	11,5+2,4N	0,1099	(N-2)x0,1099	0,232	(N-1)x0,232
K205D	528	456	246	174	10,2+0,52(M+N)	14,5+2,4(M+N)	0,1099	(M+N-4)x0,1099	0,232	(M+N-2)x0,232
K210	527	430	245	148	8,5+0,49N	11,5+2,85N	0,1036	(N-2)x0,1036	0,289	(N-1)x0,289
K215	529	449	247	167	7,2+0,52N	13+2,4N	0,1103	(N-2)x0,1103	0,220	(N-1)x0,220

M, N= numbers of plates

3.2.6. Pompa

Ada 2 jenis pompa yang digunakan untuk 2 fungsi yang berbeda pada perancangan ini, yaitu pompa untuk mengalirkan air di *coil* evaporator dan *coil* generator yang memiliki spesifikasi yang sama. Dana pompa yang lain berfungsi untuk mengalirkan LiBr *weak solution* dari absorber ke generator.

Berikut spesifikasi pompa yang dipilih :



Gambar 3.6 Pompa sirkulasi air

Spesifikasi pompa air dari bak ke *coil* generator dan *coil* evaporator :

- Kapasitas : 30 L/menit
- Total head max : 9 m



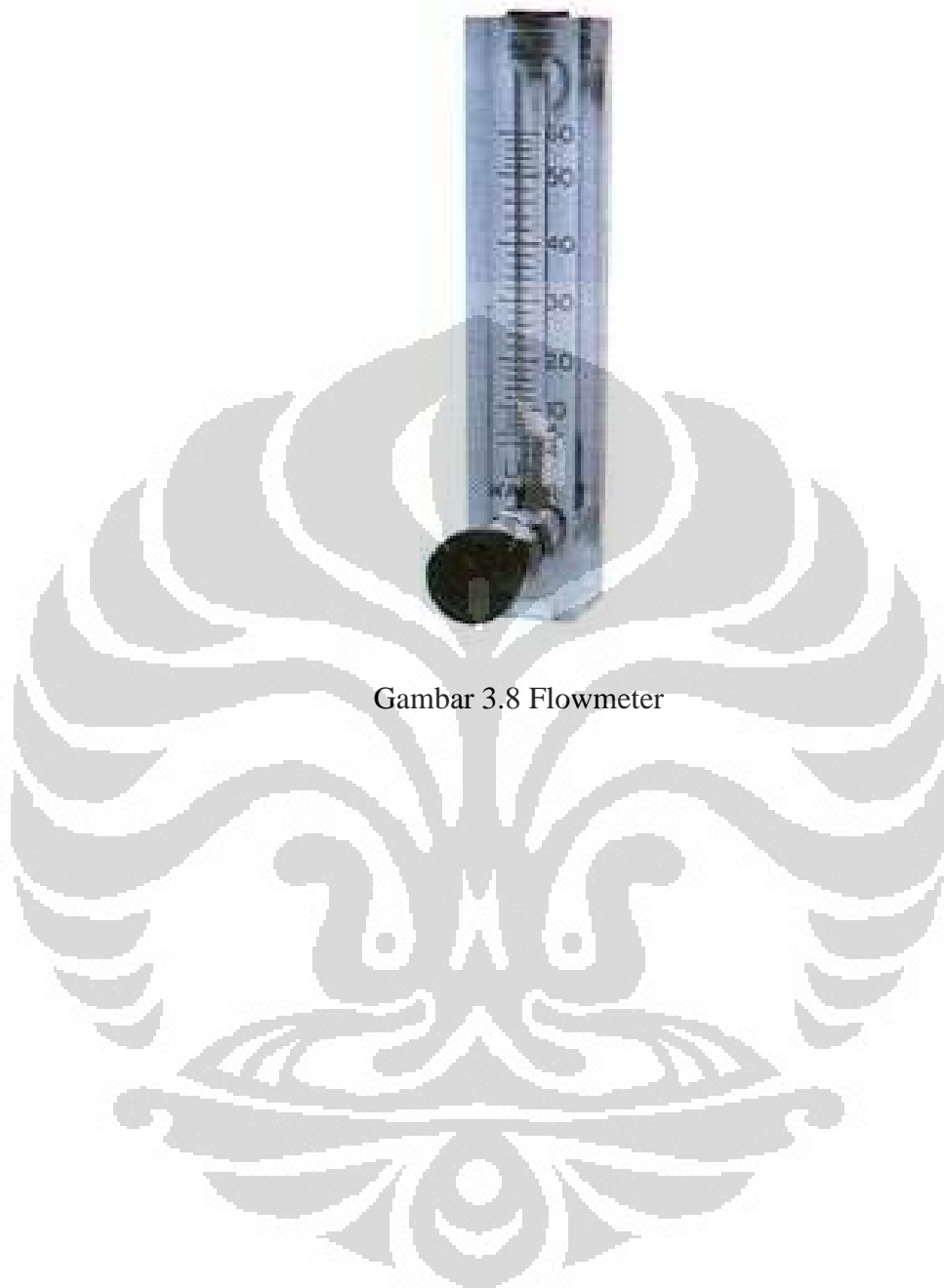
Gambar 3.7 Pompa *weak solution*

Spesifikasi pompa *weak solution* dari absorber ke generator :

- Kapasitas : 20 L/menit
- Total head max : 4.3 m

3.2.7. Flowmeter

Flow meter dipasang di daerah aliran *weak solution* dari absorber ke generator untuk mengukur kecepatan aliran. Skala yang digunakan pada flowmeter adalah 2 LPM – 15 LPM.



Gambar 3.8 Flowmeter

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Alat Penguji dan Komponen

Alat absorpsi ini merupakan sistem sistem pendinginan dengan menggunakan absorber, yang menggunakan Li-Br sebagai solutionnya. Alat ini berada di laboratorium pendingin lantai 3 Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia (DTM FTUI). Alat ini merupakan perancangan tahap awal, dengan pengambilan data menggunakan data akusisi national instrument (NI). Berikut komponen-komponen dari alat absorpsi ini :

- Absorber

Dalam absorber ini berisikan larutan dari Li-Br dengan air, jika pada saat konsentrasi larutan sudah pekad oleh air maka larutan Li-Br ini kemudian di pompakan ke generator untuk mengurangi konsentrasi air. Pada absorber ini akan menyerap uap air yang berada di evaporator.

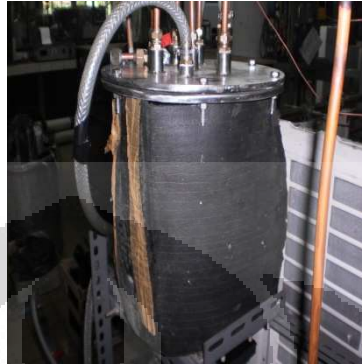


Gambar 4.1 Absorber

- Generator

Pada generator terjadi proses penguapan uap air dari larutan Li-Br. Penguapan menggunakan panas dari air panas yang dialirkan didalam coil heat exchanger. Kemudian uap air yang menguap dialirkan kebagian kondenser,

sedangkan larutan Li-Br yang sudah berkurang konsentrasinya di alirkan kembali ke absorber untuk menyerap uap air kembali.



Gambar 4.2 *Generator*

- Evaporator

Pada evaporator ini air berfungsi sebagai refrigerant dengan kondisi tekanan yang rendah maka titik jenuh uap air juga akan menurun. Pada evaporator terjadi penguapan air yang keluar dari kondenser menjadi uap air, yang kemudian uap air tersebut diserap oleh absorber.



Gambar 4.3 *Evaporator*

- Pompa

Pompa yang digunakan ada 2 jenis pompa sentrifugal yaitu pompa magnetik dan pompa dengan poros biasa. Pompa magnetik untuk memindahkan

laurtan dari absorber ke bagian generator, digunakan pompa kimia sehingga akan tahan terhadap reaksi kimia dengan larutan Li-Br. Untuk pompa sentrifugal digunakan untuk mengalirkan air panas dan dingin dari bak penampung air kdedalam coil yang berada di evaporator dan generator.



Gambar 4.4 Pompa Magnetik



Gambar 4.5 Pompa Air

- Coil pipe heat excanger

Penukar kalor pipa koil (coil pipe heat exchanger) ini mempunyai pipa berbentuk koil yang dibanamkan di dalam sebuah box berisi air dingin yang mengalir atau air yang disemprotkan untuk mendinginkan fluida panas yang mengalir didalam pipa.



Gambar 4.6 *Coil Pipe*

- Plate heat exchanger

Penukar kalor pelat (plates heat exchanger) terdiri dari beberapa pelat yang tersusun di dalam bingkai yang besar. Zat yang satu mengalir melalui rusuk-rusuk diantara kedua pelat sebagaimana ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 4.7 *Plate Heat Exchanger*

- Flowmeter

Flow meter berfungsi untuk mengukur debit aliran dari sistem yang berjalan.



Gambar 4.8 *Flow Meter*

- Pressure Gauge

Pressure gauge adalah alat untuk mengukur tekanan r dalam sistem . *Pressure gauge* bekerja secara analog dan hasil pembacaannya dapat langsung dilihat. Pressure gauge yang digunakan untuk mengukur low pressure berwarna biru.

Tipe : *Low Pressure Gauge*

Range kerja : - 1 bar hingga 8 bar



Gambar 4.9 *Pressure Gauge*

- Pressure transmitter

Pressure transmitter berfungsi untuk mengukur tekanan pada sistem.

Pressure transmitter adalah alat untuk mengukur tekanan pada tabung vakum. *Pressure transmitter* mengkonversi masukan analog yang diterima menjadi digital sehingga dapat terbaca di computer melalui DAQ.

Merk/ Tipe : Druck PTX 1400
 Range kerja : -1bar sampai 1.6 bar



Gambar 4. 10 *Pressure Transmitter*

- Thermocouple

Thermocouple berfungsi untuk mengukur temperatur. Pada alat absorpsi ini kami memiliki 10 titik pengukuran temperatur. *Thermocouple* adalah alat yang digunakan untuk mengukur suhu pada beberapa titik dalam sistem refrigerasi dan sistem pengeringan. *Thermocouple* terdiri dari dua logam yang didekatkan yang apabila terpapar oleh kalor dengan suhu tertentu akan menghasilkan beda potensial yang sebanding dengan perubahan suhu (*Seebeck Effect*).

Tipe : K
 Range kerja : -200°C – 1350°C



Gambar 4.11 *Thermocouple* Tipe K

- Data akuisisi (national instrumen dan lab view)

Alat ini berfungsi untuk mengatur parameter-parameter (temperature dan tekanan) yang ada pada sistem dengan berbasis komputer, dengan hasil pengukuran ditampilkan monitor pada program ini. Untuk pengukuran tekanan pada DAQ ini menggunakan signal dari arus sedangkan pengukuran temperatur dengan menggunakan signal tegangan.

National Instrument adalah sebuah instrumentasi yang digunakan untuk membantu pengukuran yang berbasis data akuisisi (DAQ), instrumen ini berupa modul yang digunakan untuk membantu pembacaan hasil pengukuran yang berupa gelombang elektromagnetik kemudian diubah menjadi data pengukuran yang sebenarnya. Sebagai contohnya pada saat mengukur tekanan menggunakan *pressure transmitter* hasil pengukuran berupa arus tetapi setelah melewati modul *national instrument* akan diubah menjadi satuan tekanan (bar).

Adapun *national instrument* yang dipakai pada saat pengambilan data adalah tipe DAQ – 9174, tetapi aplikasi modul yang digunakan untuk pengukuran berbeda-beda sesuai dengan spesifikasinya sebagai berikut:

- Termokopel → *National Instrument* (NI) 9211 TC \pm 0 mV
- *Pressure Transmitter* → *National Instrument* (NI) 9203 AI \pm 20 mA
- *Input* 9 – 30 V ; 15 W max.



Gambar 4.12 *National Instrument*

4.2 Tes Kebocoran

Setelah semua komponen sudah terpasang dengan baik (komponen alat absorpsi dengan alat ukurnya), maka tahap selanjutnya dilakukan tes kebocoran pada alat uji, sehingga pada saat beroperasi sistem berjalan dengan baik tanpa mengganggu kinerja sistem. Prosedur tes kebocoran adalah sebagai berikut :

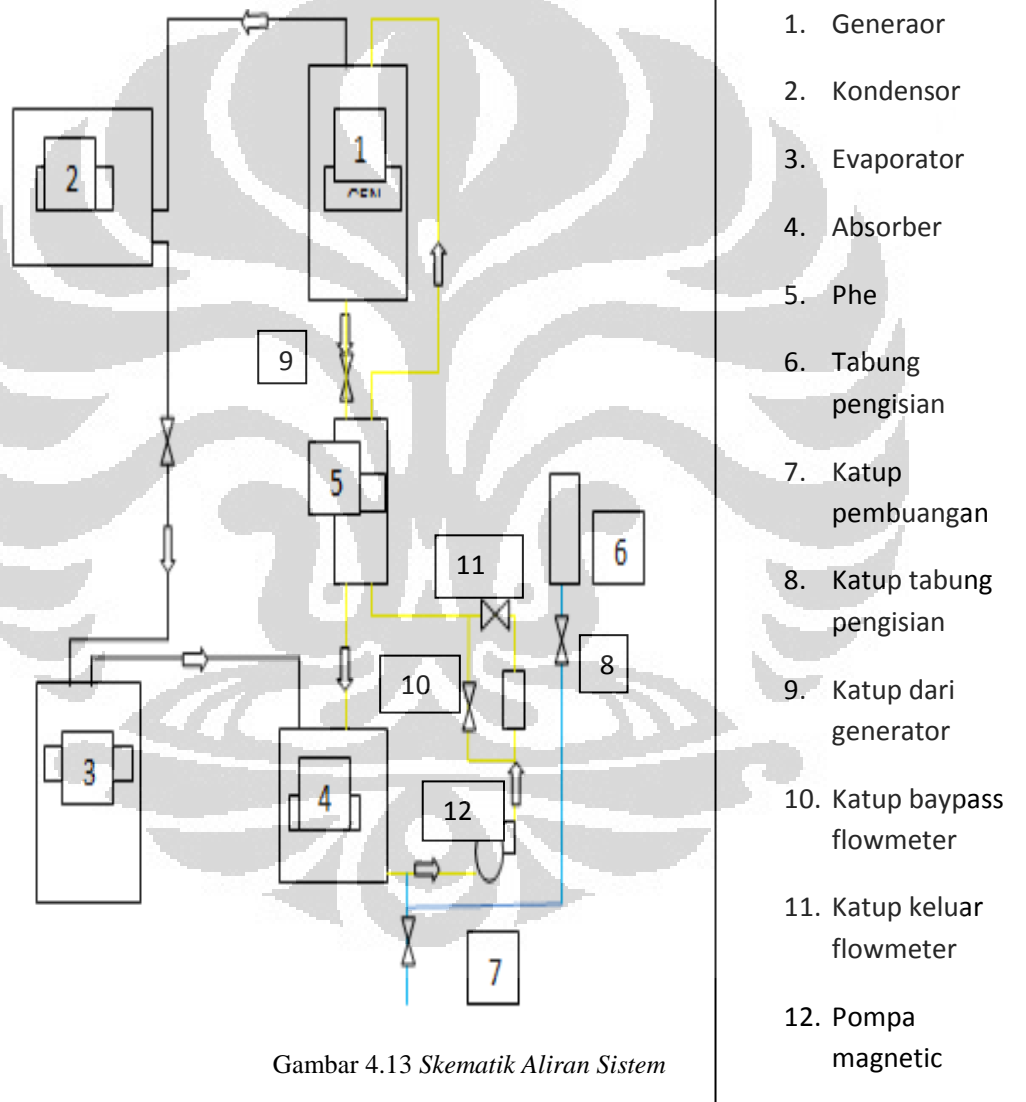
- Pastikan unit dalam keadaan off
- Sistem diisi dengan karbondioksida atau nitrogen sampai tekanan 7 psi.
- Kebocoran terjadi apabila tekanan menjadi turun dan dapat dilihat pada pressure gauge.
- Sistem pemipaan di tes dengan menggunakan busa sabun untuk mengetahui tempat kebocoran.
- Tandai tempat terjadinya kebocoran untuk diperbaiki.

4.3 Vaccum System

Setelah dipastikan tidak ada kebocoran dalam sistem maka proses selanjutnya adalah melakukan evakuasi system menggunakan pompa vakum, langkah ini

dimaksudkan untuk memastikan sistem tidak mengandung uap air. Berikut merupakan prosedur melakukan vakum :

- Pastikan unit dalam keadaan off
- Hubungkan selang manifold gauge pada suction kondensor dan pompa vakum
- Start pompa vakum hingga pada jarum pada vakum gauge menunjukan angka dibawah 1 bar. Menandakan kondisi sistem dalam keadaan vakum.



Gambar 4.13 Skematik Aliran Sistem

Note:

Garis berwarna kuning merupakan aliran Li-Br

Garis berwarna hitam merupakan Aliran uap air

Garis berwarna biru merupakan aliran saat pengisian Li-Br

4.4 Charging System

Setelah proses pengvakuman dengan menggunakan pompa vakum selesai, maka selanjutnya dilakukan pengisian solution Li-Br kedalam sistem absorpsi. Berikut prosedur pengisian solutin Li-Br kedalam sistem :

- Sistem di vaccum menggunakan pompa vaccum untuk mencapai tekanan kerja.
- Hidupkan Ni
- Hidupkan heater untuk air panas sampai dengan suhu 90°C
- Hidupkan pompa magnetic.
- Masukkan Li-Br kedalam wadah pengisian.
- Buka keran wadah pengisian sehingga Li-Br masuk kesistem dan dipompa kedalam generator
- Setelah itu alirkan air panas kedalam coil didalam gerator, dengan kondisi katup keluar generator di tutup. Panaskan Li-Br sampai suhu 80°C.

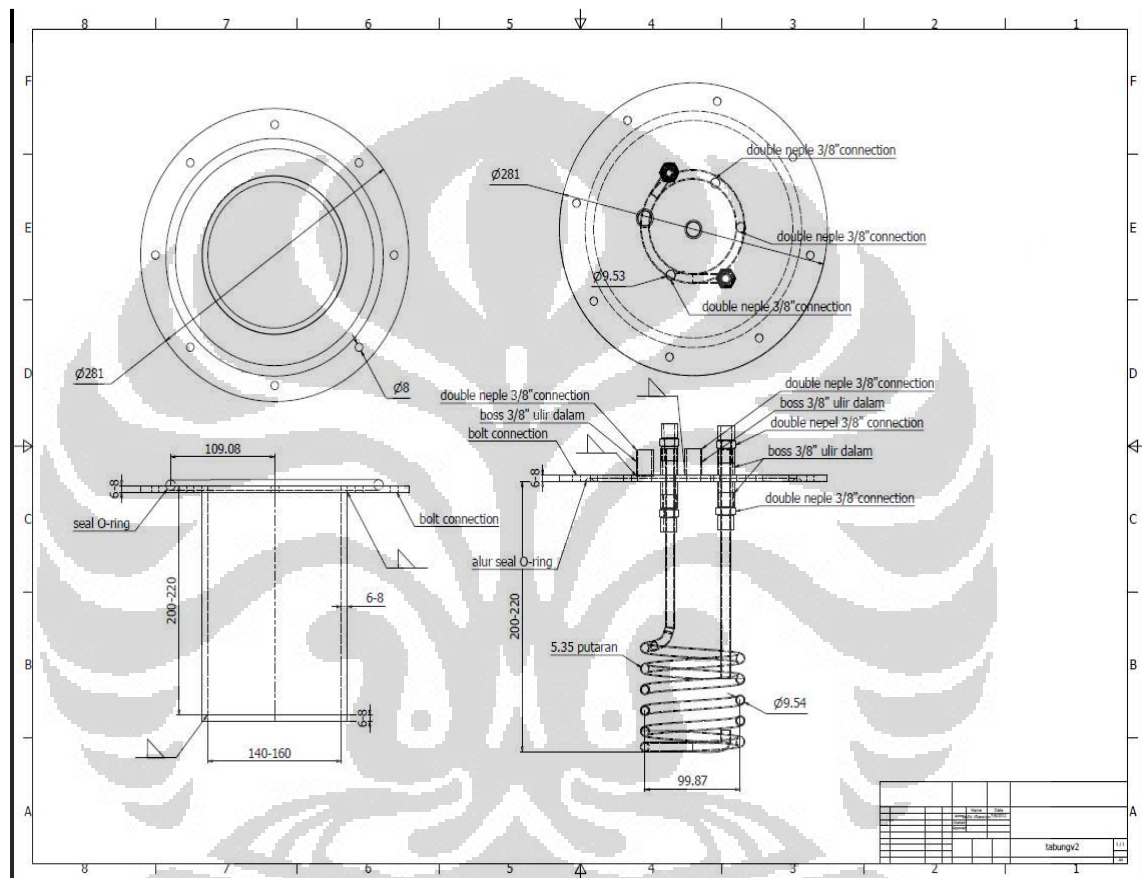
4.5 Metode Pengambilan Data

Setelah proses persiapan selesai (tes kebocoran, proses pengvakuman dan charging system) maka pengambilan data bisa dilakukan. Metode pengambilan data dengan menggunakan NI yang sudah di setting akan membaca tekanan dan temperature pada titik-titik yang sudah ditentukan.

BAB V

ANALISA DAN PENGAMBILAN DATA

5.1. Generator



Gambar 5.1 gambar kerja generator

Alat penukar kalor tipe coil and tube dengan diameter coil 99.87mm dan membentuk 5.35 putaran guna mendapatkan laju alir kalor yang diinginkan.

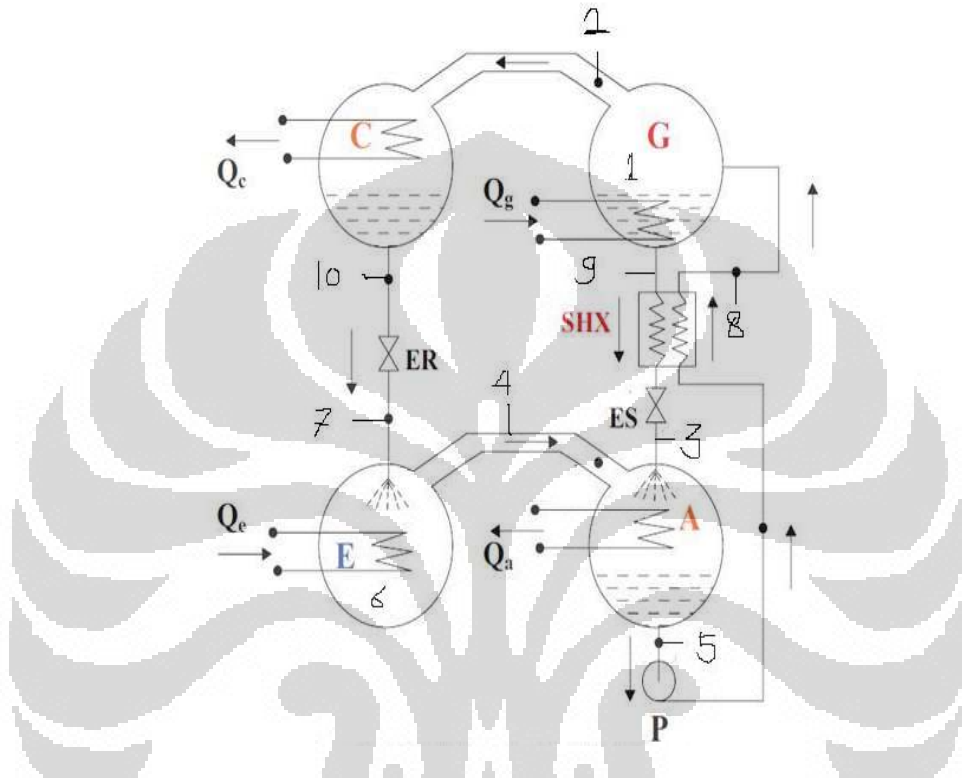
Untuk tabung bahan yang digunakan adalah pipa stainless steel yang kemudian di lakukan pengelasan plat penutup pada bagian bawah dan pengelasan flank pada bagian atasnya. Dilakukan pemilihan material stainless steel di sebabkan dari larutan Li-Br yang bersifat korosif. Berikut dimensi pada tabung stainless steel.

Spesifikasi :

Diameter luar penutup	: 251 mm
Diameter dalam tabung	: 160 mm
Diameter baut	: 8mm
Jumlah baut	: 6 buah
Tebal dinding tabung	: 3.81 mm
Tebal plat penutup bawah tabung	: 8 mm
Tebal plat penutup dan flank tabung	: 8 mm
Tinggi badan tabung	: 245 mm
Material tabung	: Stainless steel
Material <i>tube coil</i>	: Tembaga
Diameter <i>tube coil</i>	: 3/8 inch
Diameter luar <i>coil</i>	: 13.5 cm
Panjang total <i>coil</i>	: 2.09 m

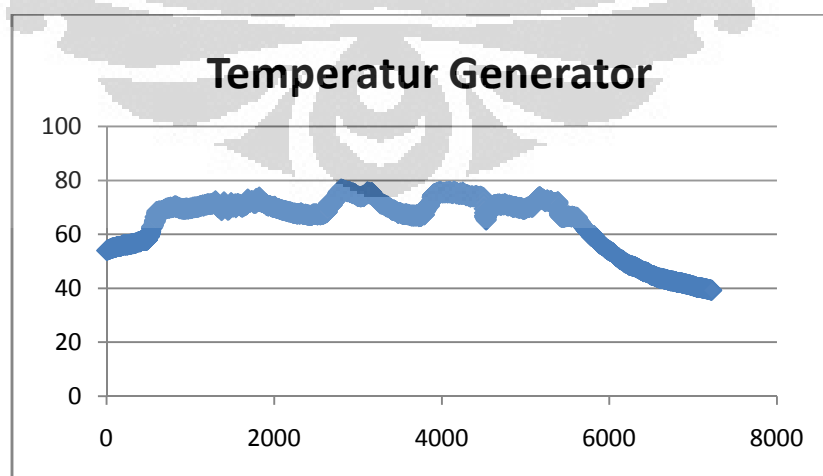
Material coil berasal dari pipa tembaga agar terjadi perpindahan kalor yang maksimal. Coil dan tutup tabung evaporator menggunakan joint sok stainless dan double neple. Hal ini diterapkan agar coil dan tutup dapat dipisah dan disatukan kembali dengan mudah tanpa menyebabkan kebocoran seperti pada evaporator versi sebelumnya. Dengan ketebalan dinding mendekati 4mm diharapkan dapat menahan gaya vakum saat dioperasikan. Selain itu, untuk mencegah kebocoran yang mungkin terjadi pada celah-celah ulir digunakan suatu cairan penyekat yang bernama locktite.

Berbeda dengan generator sebelumnya yang menggunakan *packing*, generator ini menggunakan O-ring sebagai seal pencegah bocor. Hal ini terbukti lebih baik dalam mencegah kebocoran.



Gambar 5.2 Skematik titik termokopel

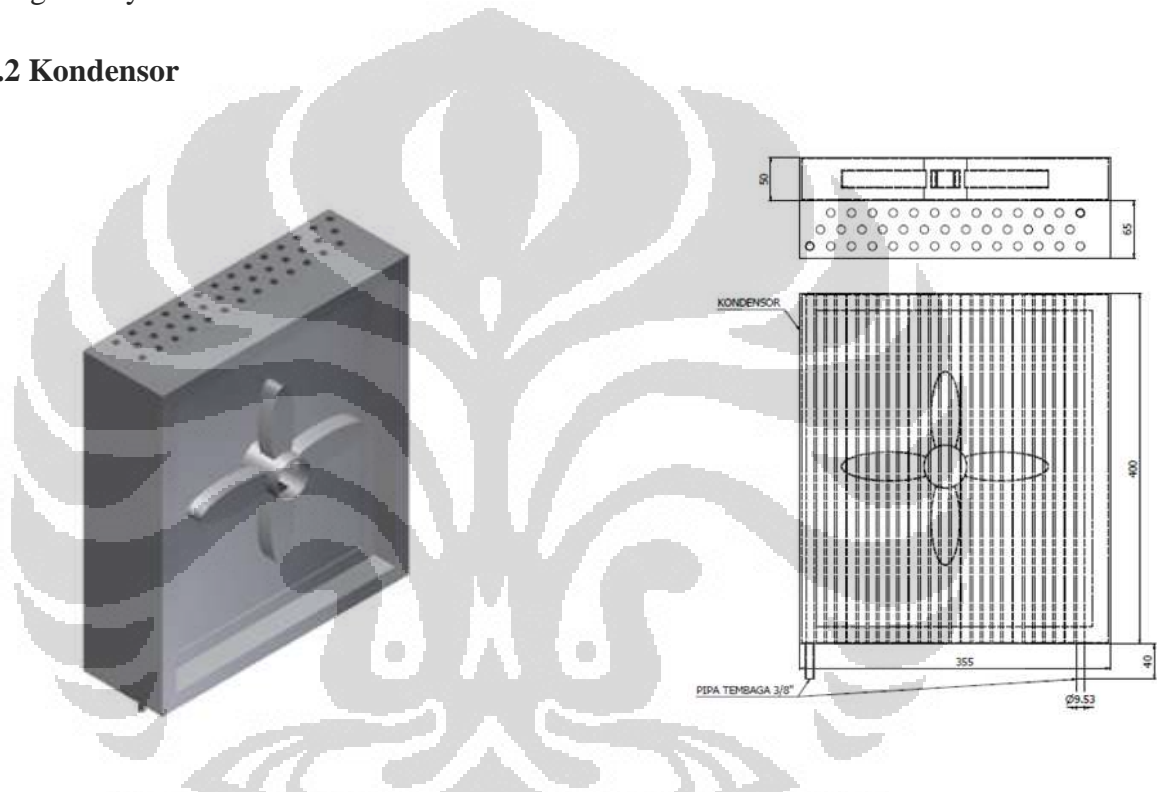
5.1.1. Grafik Temperatur Generator



Gambar 5.3 grafik temperature generator

Data diambil selama 2 jam. Grafik diatas adalah data temperatur pada generator. Temperatur generator yang dicapai antara 70° C sampai 75° C pada saat uji kerja alat. Dengan temperatur air panas yang masuk kedalam coil generator adalah 90° C. Data suhu generator yang didapat sudah hampir mendekati suhu rancangan yang diinginkan yaitu 80° C.

5.2 Kondensor



Gambar 5.4 kondensor

Spesifikasi :

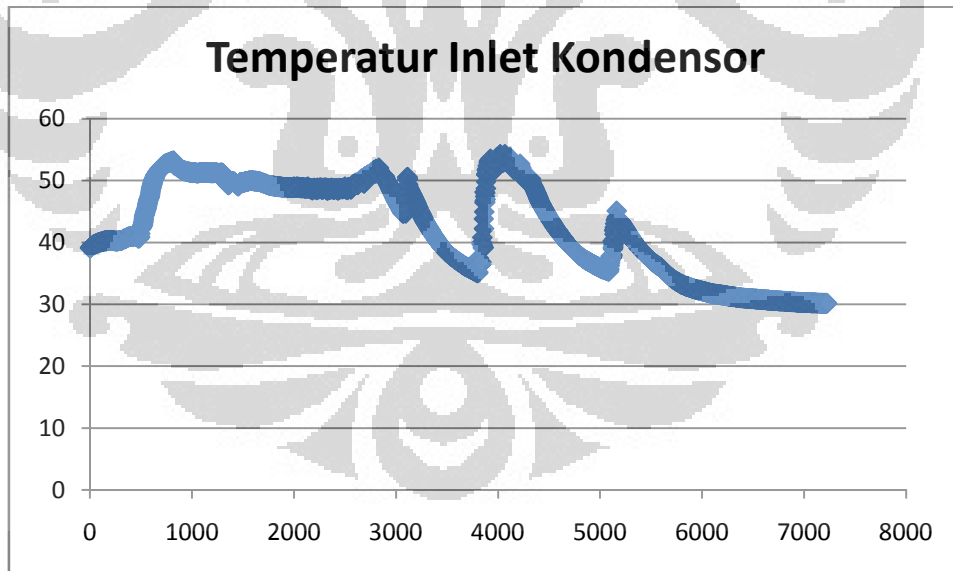
- Dimensi luar kondenser : P x L x T = 355 x 400 x 65 mm
- Kapasitas fan : 400 CFM
- *Pressure drop* : 5.14 Pa (0.02 in.Water)
- Material *tube* : Tembaga
- Material *fin* : Alumunium
- Total jumlah *tube* : 32 *tube*

- Total panjang *tube* : 10.8 m
- Posisi *tube* : horizontal
- Diameter *tube* : 3/8 inch (9.53 mm)
- Jumlah *fin* per inch : 14
- Jumlah *row* : 3 row

Pada kondensor alat menggunakan kondensor bekas dari air conditioning unit tipe split. Konstruksi kondensor yang di gunakan terdapat modifikasi pada jumlah aliran pipa yang dikurangi untuk menyesuaikan kapasitas kondensasi yang digunakan sistem ini.

Proses tes kebocoran pada kondenser dilakukan dengan cara memberikan udara bertekanan sebesar 3 bar.

5.2.1 Grafik Masuk Kondensor

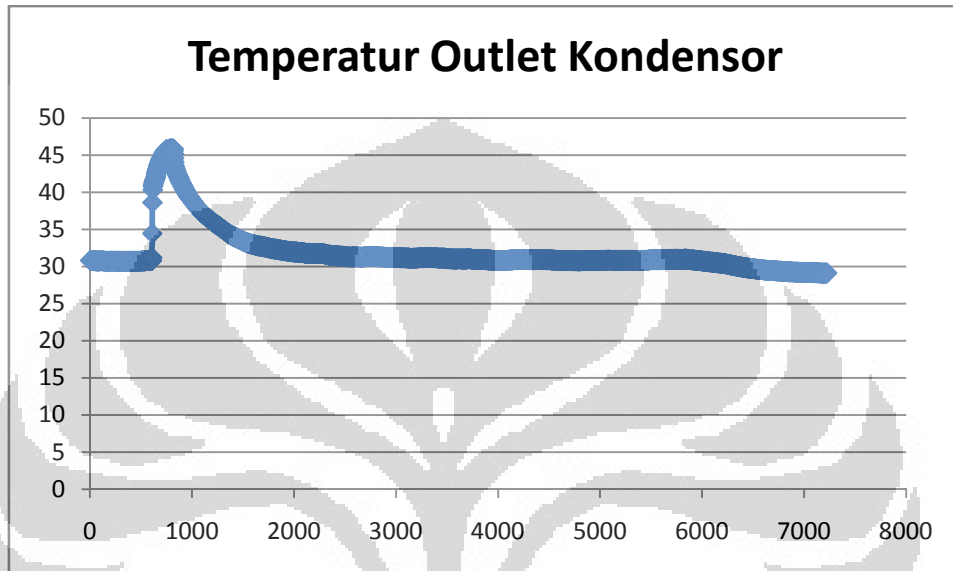


Gambar 5.5 grafik temperature inlet kondensor

Grafik di atas adalah data temperatur keluar Generator untuk masuk kedalam kondenser. Temperatur yang di dapatkan antara 55° C sampai 55° C, sedangkan

teperatur rancangan yang ingin dicapai adalah sama dengan temperatur generator yaitu 80°C .

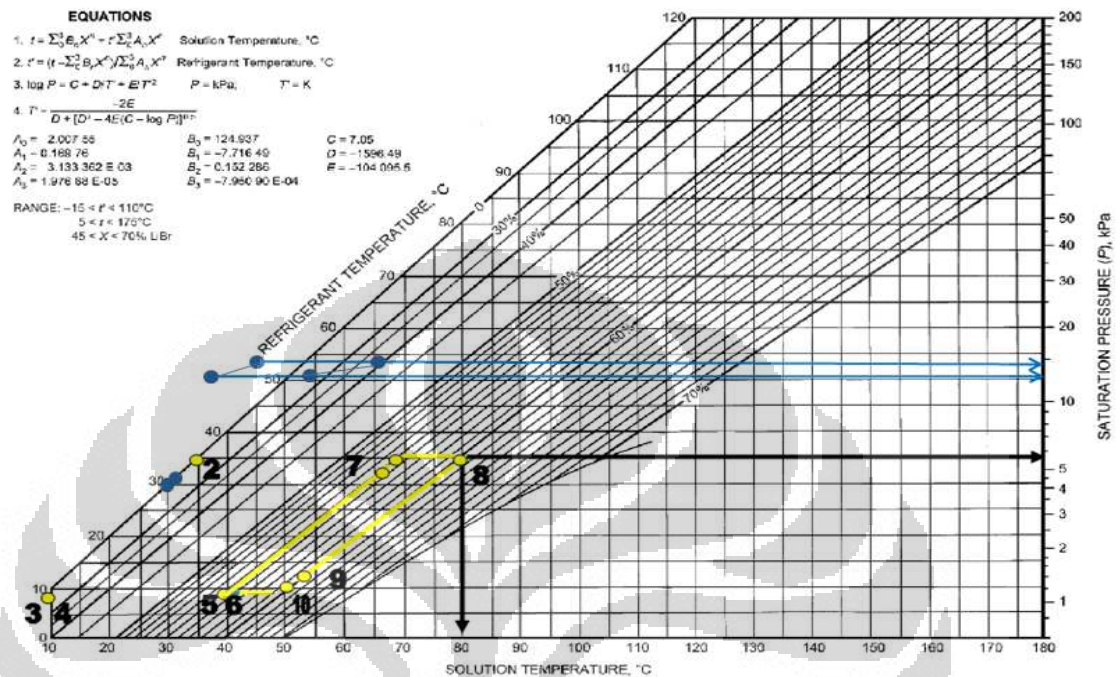
5.2.2 Grafik Temperatur Kelua Kondensor



Gambar 5.6 grafik temperature outlet kondensor

Grafik diatas adalah temperature keluar dari konsenser. Pada data temperature yang di dapat adalah konstan 33°C . tetapi pada saat awal uji kerja temperature keluar kondenser mencapai 47°C . Dari hasil data yang didapatkan hanya terjadi sesaat adanya aliran uap air didalam kondenser yang kemudian perlahan berhenti sehingga temperatur keluar kondensor konstan pada temperature 33°C . Hal ini terjadi karena uap air yang di hasilkan oleh generator tidak terjadi lagi dikarenakan tekanan pada generator yang semakin meningkat. Sehingga titik uap untuk larutan LiBr dengan air sudah tidak tercapai pada saat tekanan meningkat.

5.3. Plot Duhring Diagram



Gambar 5.7 duhring plot diagram

Pada diagram duhring di atas data hasil eksperimen merupakan garis dan titik biru, sedangkan data rancangan yang ingin dicapai adalah garis dan titik kuning. Pada generator tekanan yang diinginkan adalah antara 50 – 55 mbar, sedangkan pada data hasil eksperimen didapatkan tekanan 160 bar. Hal ini disebabkan karena vakum sistem yang tidak stabil yang dikarenakan adanya kebocoran pada sistem. Pada diagram plot titik 8 adalah temperatur didalam generator dan titik 2 adalah temperatur di kondenser.

5.4 Analisa Ketidak Sesuaian

- **Temperatur pada Generator**

Temperature pada generator yang didapat adalah 76 sedangkan pada desain adalah 80. Kondisi temperature di generator menggunakan coil heat exchanger sebagai pemanasnya. Air panas digunakan sebagai media pemanas pada coil heat exchanger untuk generator. Temperatur yang dicapai air panas saat itu adalah antara 90-91. Sehingga jika ingin menaikkan temperature generator untuk sampai dengan 80 ada beberapa cara :

- Naikan temperature air panas sampai 90-95 . Tetapi kondisi tersebut tidak mungkin tercapai dengan alat yang sekarang. Dikarenakan kita menggunakan pompa air biasa dan menggunakan selang plastic biasa.
- Dapat pula dengan menjaga aliran air panas pada selang sampai generator agar tidak banyak panas yang terbuang, dengan cara mengganti selang plastic biasa menggunakan selang khusus yang dapat menyimpan panas seperti selang heater atau selang oli radiator.
- Memperbanyak bagian luas permukaan perpindahan kalor pada coil untuk menambah heat transfer yang terjadi.

- **Temperatur masuk Kondensesor**

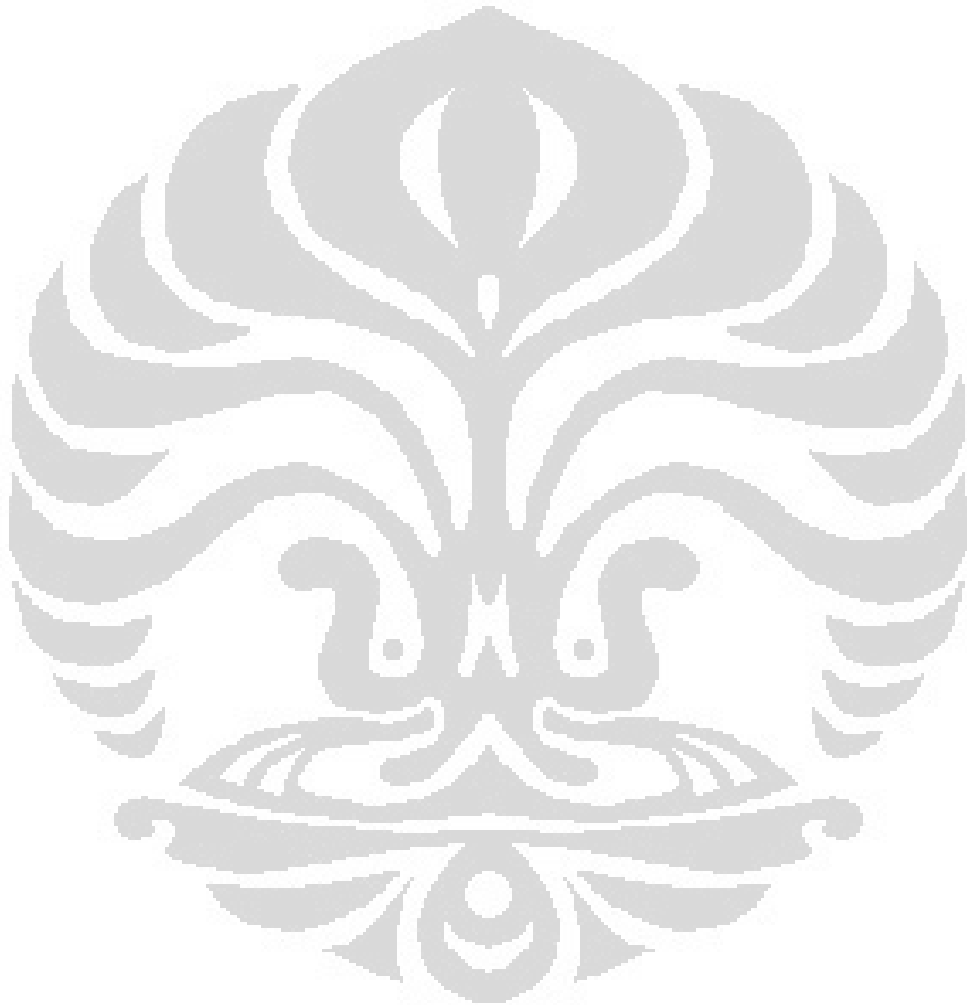
Pada awal desain diasumsikan uap yang masuk kedalam condenser sama dengan yang keluar generator. Didapatkan dari hasil percobaan temperature masuk condenser adalah 55. Sedangkan pada desain adalah 80. Hal ini disebabkan oleh beberapa hal yaitu :

- Temperature generator yang tidak sampai 80
- Isolasi pada generator yang kurang sempurna

- **Tekanan pada Generator dan Kondenser**

- Adanya kebocoran pada system

- Kinerja Li-Br yang belum bekerja sehingga tidak menimbulkan auto vakum



BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan pengambilan data yang di terjemahkan pada grafik dapat disimpulkan bahwa :

- Perubahan konstruksi generator dalam bentuk *joint* dan *seal* yang dipakai, mampu mencegah kebocoran pada generator.
- Temperatur generator sudah mendekati rancangan yaitu 75 °C
- Tekanan generator masih tidak tercapai yaitu 180 mbar, sedangkan pada rancangan 50-55 mbar
- Proses refrijerasi belum dapat terjadi.

6.2. Saran

Ada beberapa saran yang mungkin bermanfaat untuk penelitian lebih lanjut :

- LiBr

Menaikkan volume LiBr yang akan dimasukkan ke dalam sistem, karena terjadi perubahan volume tabung penampung pada absorber.

- Generator

Mengganti sambungan pompa air panas dari pipa pvc menjadi pipa tembaga guna mempertahankan konstruksi pemipaan saat dialirkan air bersuhu tinggi (90°C).

Menambahkan isolasi pada bagian tutup dan dasar generator, dan melapisi isolasi asbes dengan armaleks.

DAFTAR PUSTAKA

Cengel, Y. A. (2003) *Heat Transfer: A Practical Approach* (2nd ed). United States of America : McGraw-Hill.

Fox, Robert W., McDonald, Alan T. & Pritchard, Philip J., (2003) *Introduction to Fluid Mechanics*, 6th ed., John Wiley & Sons, Inc., United States of America.

G. Collier, John dan R. Thome, John. (1994). *Convective Boiling and Condensation*, 3rd Ed. United Kingdom: Oxford University Press.



Incropera, F.P., DeWitt, D.P., Bergman, T.L., Lavine, A.S. (2007). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 6th Ed, John Wiley & Sons, United States of America.

Kharagpur. (2008). *Refrigeration and Air Conditioning*, Version I ME, India.

Fakhrizal Yusri, (2011). *Rancang Bangun Mesin Refrigerasi Dengan Menggunakan Fluida Kerja LiBr + H₂O yang Ramah Lingkungan*. Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Indonesia.



Lampiran 1 : MSDS Lithium Bromida

Health	2
Fire	0
Reactivity	0
Personal Protection	E

Material Safety Data Sheet Lithium bromide MSDS

Section 1: Chemical Product and Company Identification	
Product Name: Lithium bromide Catalog Codes: SLL1411 CAS#: 7550-35-6 RTECS: OJ5755000 TSCA: TSCA 8(b) Inventory: Lithium bromide CI#: Not available. Synonym: Chemical Formula: LiBr	Contact information: Sciencelab.com, Inc. 14025 Smith Rd. Houston, Texas 77396 US Sales: 1-800-901-7247 International Sales: 1-281-441-4400 Order Online: ScienceLab.com CHEMTREC (24HR Emergency Telephone), call: 1-800-424-9300 International CHEMTREC, call: 1-703-527-3887 For non-emergency assistance, call: 1-281-441-4400

Section 2: Composition and Information on Ingredients		
Composition:		
Name	CAS #	% by Weight
Lithium bromide	7550-35-6	100
Toxicological Data on Ingredients: Lithium bromide: ORAL (LD50): Acute: 1800 mg/kg [Rat]- 1840 mg/kg [Mouse].		

Section 3: Hazards Identification
Potential Acute Health Effects: Extremely hazardous in case of ingestion. Hazardous in case of skin contact (Irritant), of eye contact (Irritant), of inhalation. Potential Chronic Health Effects: CARCINOGENIC EFFECTS: Not available. MUTAGENIC EFFECTS: Not available. TERATOGENIC EFFECTS: Not available. DEVELOPMENTAL TOXICITY: Not available. Repeated or prolonged exposure is not known to aggravate medical condition.

Section 4: First Aid Measures
Eye Contact: Check for and remove any contact lenses. Immediately flush eyes with running water for at least 15 minutes, keeping eyelids open. Cold water may be used. Do not use an eye ointment. Seek medical attention.
Skin Contact:

(lanjutan)

After contact with skin, wash immediately with plenty of water. Gently and thoroughly wash the contaminated skin with running water and non-abrasive soap. Be particularly careful to clean folds, crevices, creases and groin. Cold water may be used. Cover the irritated skin with an emollient. If irritation persists, seek medical attention.

Serious Skin Contact:

Wash with a disinfectant soap and cover the contaminated skin with an anti-bacterial cream. Seek immediate medical attention.

Inhalation: Allow the victim to rest in a well ventilated area. Seek immediate medical attention.

Serious Inhalation: Not available.

Ingestion:

Do not induce vomiting. Examine the lips and mouth to ascertain whether the tissues are damaged, a possible indication that the toxic material was ingested; the absence of such signs, however, is not conclusive. Loosen tight clothing such as a collar, tie, belt or waistband. If the victim is not breathing, perform mouth-to-mouth resuscitation. Seek immediate medical attention.

Serious Ingestion: Not available.

Section 5: Fire and Explosion Data

Flammability of the Product: Non-flammable.

Auto-ignition Temperature: Not applicable.

Flash Points: Not applicable.

Flammable Limits: Not applicable.

Products of Combustion: Not available.

Fire Hazards in Presence of Various Substances: Not applicable.

Explosion Hazards in Presence of Various Substances:

Risks of explosion of the product in presence of mechanical impact: Not available. Risks of explosion of the product in presence of static discharge: Not available.

Fire Fighting Media and Instructions: Not applicable.

Special Remarks on Fire Hazards: Not available.

Special Remarks on Explosion Hazards: Not available.

Section 6: Accidental Release Measures

Small Spill:

Use appropriate tools to put the spilled solid in a convenient waste disposal container. Finish cleaning by spreading water on the contaminated surface and dispose of according to local and regional authority requirements.

Large Spill:

Use a shovel to put the material into a convenient waste disposal container. Finish cleaning by spreading water on the contaminated surface and allow to evacuate through the sanitary system.

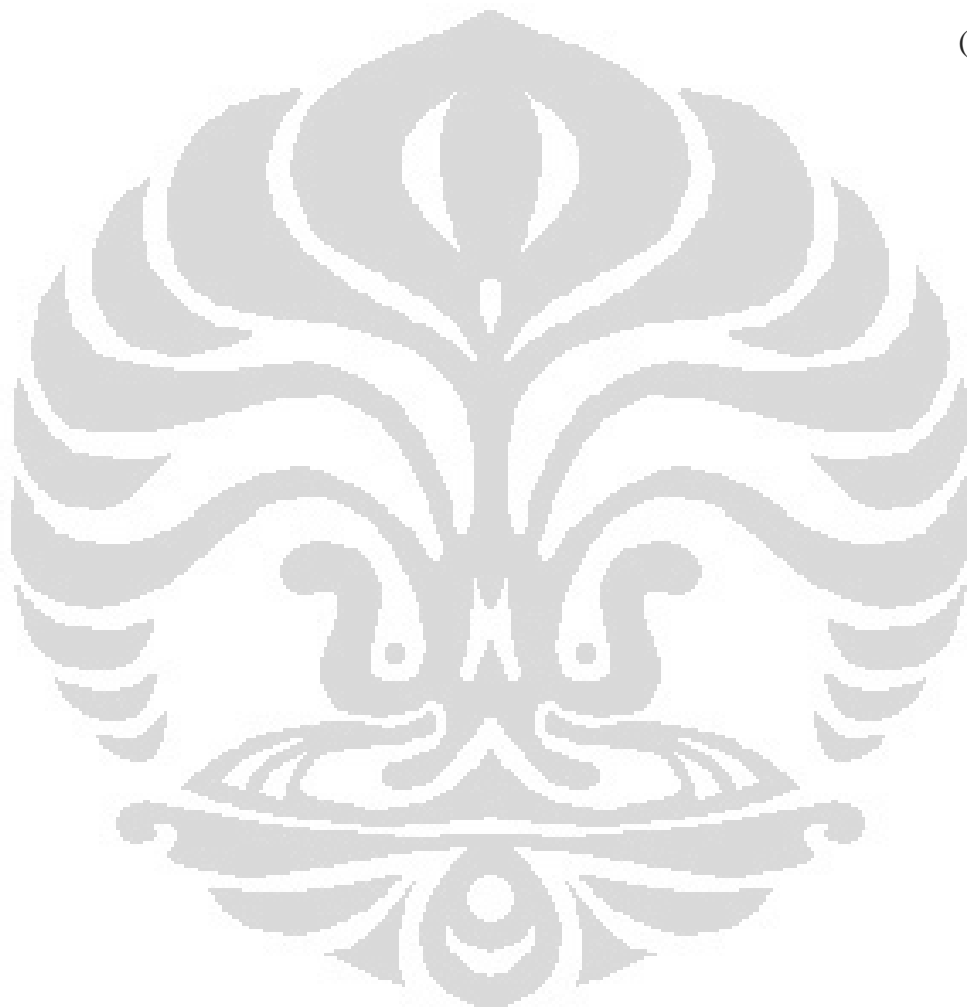
Section 7: Handling and Storage

Precautions:

Do not ingest. Do not breathe dust. Wear suitable protective clothing in case of insufficient ventilation, wear suitable respiratory equipment if ingested, seek medical advice immediately and show the container or the label. Avoid contact with skin and eyes

Storage:

(lanjutan)



No specific storage is required. Use shelves or cabinets sturdy enough to bear the weight of the chemicals. Be sure that it is not necessary to strain to reach materials, and that shelves are not overloaded.

Section 8: Exposure Controls/Personal Protection

Engineering Controls:

Use process enclosures, local exhaust ventilation, or other engineering controls to keep airborne levels below recommended exposure limits. If user operations generate dust, fume or mist, use ventilation to keep exposure to airborne contaminants below the exposure limit.

Personal Protection:

Splash goggles. Lab coat. Dust respirator. Be sure to use an approved/certified respirator or equivalent. Gloves.

Personal Protection in Case of a Large Spill:

Splash goggles. Full suit. Dust respirator. Boots. Gloves. A self contained breathing apparatus should be used to avoid inhalation of the product. Suggested protective clothing might not be sufficient; consult a specialist BEFORE handling this product.

Exposure Limits: Not available.

Section 9: Physical and Chemical Properties

Physical state and appearance: Solid.

Odor: Not available.

Taste: Not available.

Molecular Weight: 86.85 g/mole

Color: White.

pH (1% soln/water): 7 [Neutral.]

Boiling Point: 1265°C (2309°F)

Melting Point: 550°C (1022°F)

Critical Temperature: Not available.

Specific Gravity: 3.46 (Water = 1)

Vapor Pressure: Not applicable.

Vapor Density: Not available.

Volatility: Not available.

Odor Threshold: Not available.

Water/Oil Dist. Coeff.: Not available.

Ionicity (In Water): Not available.

Dispersion Properties: See solubility in water.

Solubility: Easily soluble in cold water.

Section 10: Stability and Reactivity Data

Stability: The product is stable.

Instability Temperature: Not available.

(lanjutan)

<p>Conditions of Instability: Not available.</p> <p>Incompatibility with various substances: Not available.</p> <p>Corrosivity: Non-corrosive in presence of glass.</p> <p>Special Remarks on Reactivity: Not available.</p> <p>Special Remarks on Corrosivity: Not available.</p> <p>Polymerization: No.</p>
<p>Section 11: Toxicological Information</p>
<p>Routes of Entry: Absorbed through skin, eye contact, inhalation, ingestion.</p> <p>Toxicity to Animals: Acute oral toxicity (LD50): 1600 mg/kg (Rat).</p> <p>Chronic Effects on Humans: Not available.</p> <p>Other Toxic Effects on Humans: Extremely hazardous in case of ingestion. Hazardous in case of skin contact (irritant), of inhalation.</p> <p>Special Remarks on Toxicity to Animals: Not available.</p> <p>Special Remarks on Chronic Effects on Humans: Human: passes through the placenta, excreted in maternal milk.</p> <p>Special Remarks on other Toxic Effects on Humans: Not available.</p>
<p>Section 12: Ecological Information</p>
<p>Ecotoxicity: Not available.</p> <p>BOD5 and COD: Not available.</p> <p>Products of Biodegradation: Possibly hazardous short term degradation products are not likely. However, long term degradation products may arise.</p> <p>Toxicity of the Products of Biodegradation: The products of degradation are as toxic as the original product.</p> <p>Special Remarks on the Products of Biodegradation: Not available.</p>
<p>Section 13: Disposal Considerations</p>
<p>Waste Disposal:</p>
<p>Section 14: Transport Information</p>
<p>DOT Classification: Not a DOT controlled material (United States).</p> <p>Identification: Not applicable.</p> <p>Special Provisions for Transport: Not applicable.</p>
<p>Section 15: Other Regulatory Information</p>
<p>Federal and State Regulations: Pennsylvania RTK: Lithium bromide Massachusetts RTK: Lithium bromide TSCA 8(b) Inventory: Lithium bromide</p>

p. 4

(lanjutan)

<p>Other Regulations: Not available.</p> <p>Other Classifications:</p> <p>WHMIS (Canada): Not controlled under WHMIS (Canada).</p> <p>DSCL (EEC): R22- Harmful if swallowed. R36/38- Irritating to eyes and skin.</p> <p>HMIS (U.S.A.):</p> <p>Health Hazard: 2</p> <p>Fire Hazard: 0</p> <p>Reactivity: 0</p> <p>Personal Protection: E</p> <p>National Fire Protection Association (U.S.A.):</p> <p>Health: 2</p> <p>Flammability: 0</p> <p>Reactivity: 0</p> <p>Specific hazard:</p> <p>Protective Equipment: Gloves. Lab coat. Dust respirator. Be sure to use an approved/certified respirator or equivalent. Splash goggles.</p>
Section 16: Other Information
<p>References: Not available.</p> <p>Other Special Considerations: Not available.</p> <p>Created: 10/11/2005 12:14 PM</p> <p>Last Updated: 11/01/2010 12:00 PM</p> <p><i>The information above is believed to be accurate and represents the best information currently available to us. However, we make no warranty of merchantability or any other warranty, express or implied, with respect to such information, and we assume no liability resulting from its use. Users should make their own investigations to determine the suitability of the information for their particular purposes. In no event shall ScienceLab.com be liable for any claims, losses, or damages of any third party or for lost profits or any special, indirect, incidental, consequential or exemplary damages, howsoever arising, even if ScienceLab.com has been advised of the possibility of such damages.</i></p>