



UNIVERSITAS INDONESIA

**PERANCANGAN ALAT UJI ALIRAN EVAPORASI DUA FASE
DENGAN MENGGUNAKAN KANAL MINI HORIZONTAL**

SKRIPSI

FISKA SUHENDA

0806368521

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
JULI 2011**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PERANCANGAN ALAT UJI ALIRAN EVAPORASI DUA FASE
DENGAN MENGGUNAKAN KANAL MINI HORIZONTAL**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

FISKA SUHENDA

0806368521

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

DEPOK

JULI 2011

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI


Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul:

PERANCANGAN ALAT UJI ALIRAN EVAPORASI DUA FASE DENGAN MENGUNAKAN KANAL MINI HORIZONTAL

Yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui, bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Nama : FISKA SUHENDA

NPM : 0806368521

Tanda Tangan : 

Tanggal : 10 Juni 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : FISKA SUHENDA
NPM : 0806368521
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi :

PERANCANGAN ALAT UJI ALIRAN EVAPORASI DUA FASE DENGAN MENGUNAKAN KANAL MINI HORIZONTAL


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. Agus S. Pamitran, ST., MSc.  (.....)

Penguji : Dr. Ir. Engkos A. Kosasih, MT.  (.....)

Penguji : Dr.-Ing. Ir. Nasruddin, MEng.  (.....)

Penguji : Ardiyansyah, ST., MEng  (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 1 juli 2011

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan izin-Nya penulisan skripsi ini dapat terselesaikan. Skripsi yang berjudul **Perancangan Alat Uji Aliran Evaporasi Dua Fase Dengan Menggunakan Kanal Mini Horizontal** ini disusun sebagai salah satu syarat kelulusan Sarjana Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Agus S. Pamitran, ST., M.Eng., selaku dosen pembimbing satu-satunya yang telah meluangkan waktu di tengah-tengah pekerjaannya, untuk membimbing, mengarahkan, dan memberi koreksi selama penyusunan skripsi ini.
2. Orang tua saya yang telah memberi dukungan moril maupun materil untuk menguatkan semangat dan ikhtiar kami dalam menjalani pendidikan di Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia.
3. Sambas Prasetya, dan Yudha S. Agustian selaku rekan skripsi yang telah bekerja sama dengan baik selama pengerjaan skripsi ini.
4. Teman-teman mahasiswa S1 PPSE angkatan 2008 yang telah banyak membantu dan menjadi salah satu tempat untuk bertukar informasi.

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, Juli 2011

Penulis

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

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

Nama : FISKA SUHENDA
NPM : 0806368521
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:

**PERANCANGAN ALAT UJI ALIRAN EVAPORASI DUA FASE DENGAN
MENGUNAKAN KANAL MINI HORIZONTAL**

beserta perangkat yang ada. Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan 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 : 10 juni 2011

Yang menyatakan,



(Fiska Suhenda)

ABSTRAK

Nama : Fiska Suhenda
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Perancangan Alat Uji Aliran Evaporasi Dua Fase dengan Menggunakan Kanal Mini Horizontal

Dalam penelitian ini akan dibahas tentang perancangan alat uji aliran evaporasi dua fase dengan menggunakan kanal mini horizontal. Adapun alat ujinya terdiri atas bagian *test section* yang terbuat dari pipa stainless steel dengan diameter dalam 3 mm, diameter luar 5 mm dan panjang 1000 mm yang diberikan flux kalor yang seragam disepanjang pipa tersebut dengan mengalirkan arus listrik dan memberikan insulasi pada bagian luar *test section* untuk meminimalisasi kalor yang terbuang ke lingkungan. Dimana flux kalor yang diberikan pada *test section* besarnya dapat divariasikan mulai dari 5 kW/m^2 s/d 15 kW/m^2 . Untuk perancangannya dilakukan perhitungan terhadap berbagai komponen yang akan digunakan, serta menggunakan *software* pembantu perancangan CATIA V5R17, sebagai perencanaan alat uji yang akan dibangun. Alat uji ini terdiri dari beberapa komponen penting diantaranya adalah refrigerant kerja (R-22) *Tube in tube Heat Exchanger* sebagai penukar kalor, *Test Section* sebagai area yang diamati, dan *Receiver tank* yang digunakan untuk menampung refrigerant yang kemudian akan ditimbang menggunakan timbangan digital.

Kata kunci:

Evaporasi, R-22, Test Section, Kanal Mini Horizontal, *Openloop System*.

ABSTRACT

Name : Fiska Suhenda
Study Program : Mechanical Engineering
Title : Design of Test Equipment for Evaporation Two-Phase Flow Using Horizontal Minichannel.

In this study will be discussed about the design of test equipment evaporative two-phase flow by using a mini horizontal channel. As for the test equipment consists of the test section is made of stainless steel pipe with a diameter of 3 mm, outer diameter 5 mm and length 1000 mm which provided a uniform heat flux along the pipe with a current of electricity and provide insulation on the outside of the test section to minimize the heat lost to the environment. Where the heat flux is given on a test section can be varied from 5 kW/m² s / d 15 kW/m². For the design made the calculation of the various components to be used, as well as using CATIA V5R17 software design assistant, as the planning of test equipment that will be built. This test tool consists of several important components of which are working refrigerant (R - 22) Tube in tube heat exchanger as a heat exchanger, Test Section as the observed area, and receiver tanks are used to accommo date the refrigerant, which then weighed using digital scales.

Keywords :

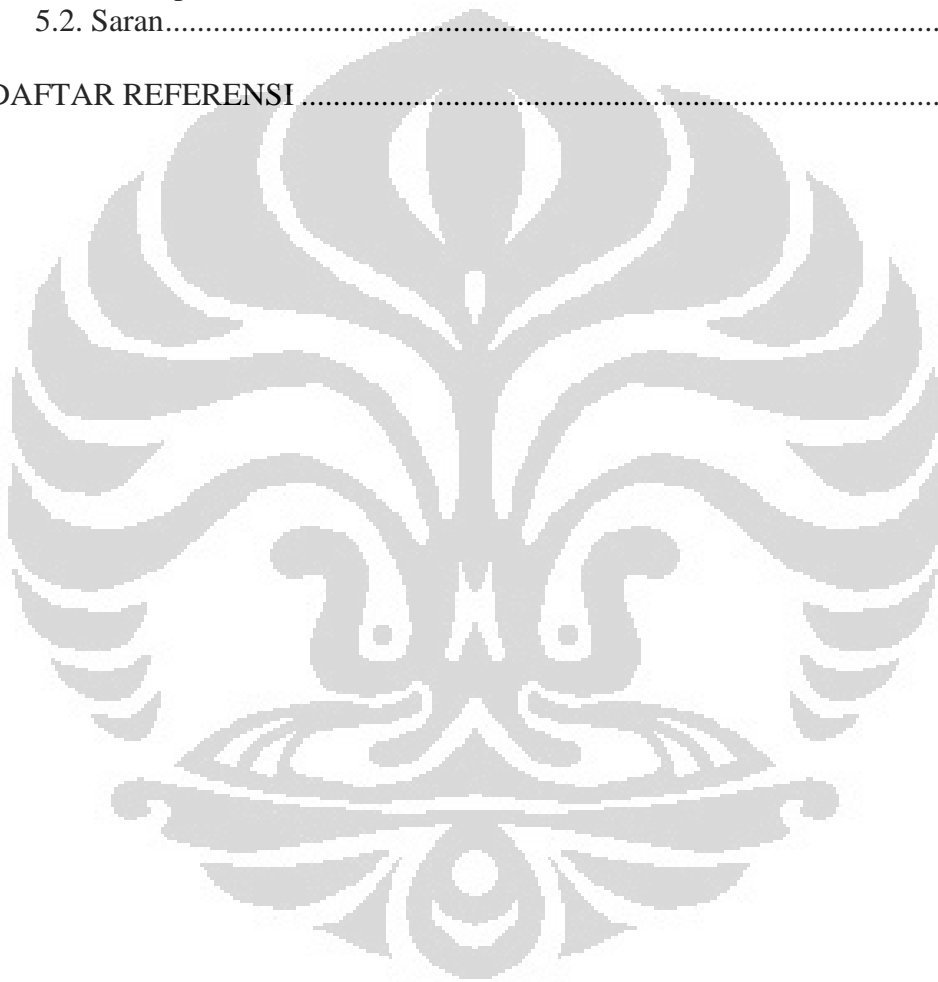
Evaporation, R-22, Test Section, Mini Horizontal Channel, Openloop System

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Studi.....	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Sistematika Penulisan	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1. Aliran Dua Fasa (<i>Two Phase Flow</i>).....	4
2.2. Sistem Refrigerasi	8
2.2.1 Penjelasan Mengenai Sistem Pendingin	8
2.2.2 Komponen-komponen dalam Sistem Pendingin	11
2.2.2.1 Kompresor	11
2.2.2.2 Kondenser	11
2.2.2.3 Evaporator	12
2.2.2.4 Katup Ekspansi	13
2.2.3 Persamaan dalam sistem refrigerasi	13
2.2.4 Aksesoris dalam system refrigerasi	14
2.2.4.1 Chech Valve	14
2.2.4.2 Pressure Gauge.....	15
2.2.4.3 Refrigeran dan Piping.....	15
2.2.4.4 Thermocouple	17
2.2.5 Komponen sistem kontrol	18
2.2.4.1 Miniature Circuit Breaker.....	18
2.2.4.2 Thermostat.....	19
2.3. Perpindahan Kalor (Heat Transfer).....	20
2.3.1 Konduksi	20
2.3.2 Konveksi	25
2.4. Alat Penukar Kalor.....	29
2.4.1 Jenis Tube in tube Heat Exchanger.....	29
2.4.2 Jenis Double Pipe.....	31
2.4.3 Koil pipa.....	32
2.4.4 Jenis Pipa Terbuka	33

2.4.5	Komponen-komponen Heat Exchanger	35
2.4.5.1	Shell	35
2.4.5.2	Tube (pipa)	37
BAB 3	METODOLOGI PENYELESAIAN	38
3.1.	Metodologi	38
3.1.1	Flow Chart	38
3.1.2	Metodologi Penyelesaian Masalah	39
3.2.	Perancangan	40
3.2.1	Tujuan Perancangan	40
3.2.2	Langkah Perancangan	40
3.3.	Perencanaan Alat Uji.....	40
3.3.1	Penempatan Komponen Alat Uji	41
3.3.2	Gambar Sket Rancangan Dan Bagian Utama Alat Uji	41
3.3.2.1	Elektrik Heater.....	42
3.3.2.2	Pipa Koneksi.....	44
3.3.2.3	Refrigeran R-22	44
3.3.2.4	Perangkat Alat Penukar Kalor	45
3.3.2.5	Valve.....	50
3.3.2.6	Test Section	51
3.3.2.7	Sight Glass.....	52
3.3.2.8	Pressure Gauge	53
3.3.2.9	Receiver Tank.....	53
3.3.2.10	Cool Box.....	54
3.3.2.11	Timbangan Digital.....	54
3.3.2.12	Isolator.....	55
3.3.2.13	Komputer.....	55
3.3.2.14	Thermocouple dan Data Aquisisi	56
3.4.	Instalasi Alat Uji	59
3.4.1	Skematik Alat Uji	59
3.4.2	Komponen-komponen yang digunakan pada alat uji	62
3.5.	Tes Kebocoran	63
3.6.	Vaccum Sistem.....	63
3.7.	Prinsip kerja alat uji	64
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	66
4.1	Hasil Perhitungan	66
4.1.1	Elektrik Heater	66
4.1.1.1	Elektrik Heater Pada Tabung Refrigerant	66
4.1.1.2	Elektrik Heater Pada Test Section	66
4.1.2	Perangkat Alat Penukar Kalor	68
4.1.2.1	Condensing Unit 3PK.....	68
4.1.2.2	Toren.....	72
4.1.2.3	Ethylene Glicol.....	72
4.1.2.4	Tube in tube Heat Exchanger	72
4.1.2.1	Condensing Unit 1PK.....	74
4.1.3	Test Section	74

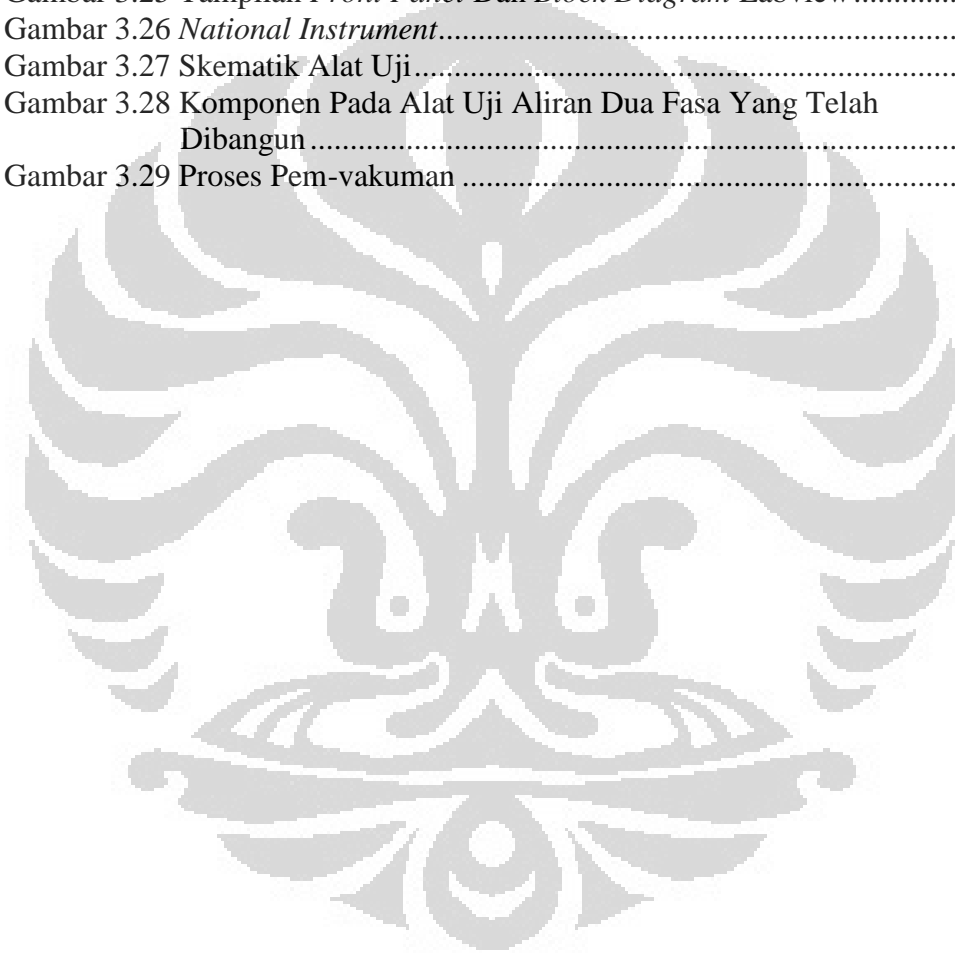
4.1.4 Sight Glass	75
4.1.5 Pressure Gauge	75
4.1.6 Receiver Tank	76
4.1.7 Cool Box	76
4.1.2 Timbangan Digital	76
4.2 Proses Kalibrasi Thermocouple	76
4.2.1 Data Hasil Kalibrasi	77
4.3. Unjuk Kerja Alat Uji Aliran Dua Fasa.....	79
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN.	81
5.1. Kesimpulan	81
5.2. Saran.....	82
DAFTAR REFERENSI	83



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pola Aliran Dua Fasa Yang Terjadi Pada Pipa <i>Horizontal</i>	6
Gambar 2.2 Pola Aliran Dua Fasa Pada Pipa <i>Horizontal</i>	7
Gambar 2.3 Peta Pola Aliran Dua Fasa Pada Aliran <i>Horizontal</i>	8
Gambar 2.4 Sistem Refrigerasi Standar.....	9
Gambar 2.5 Diagram p-h Dan T-s Sistem Refrigerasi.....	10
Gambar 2.6 Prinsip Kerja Kompresor.....	11
Gambar 2.7 Ilustrasi <i>Condenser</i> Secara Sederhana	12
Gambar 2.8 Sistem Refrigerasi Standar Dengan Diagram T-s	13
Gambar 2.9 Aliran Fluida Pada <i>Check Valve</i>	15
Gambar 2.10 <i>Bourdon Pressure Gauge</i>	15
Gambar 2.11 <i>Thermocouple</i> Yang Sering Digunakan.....	17
Gambar 2.12 Komponen Dalam MCB.	19
Gambar 2.13 Komponen Dalam <i>Thermostat</i> Sederhana.	19
Gambar 2.14 Perpindahan Kalor Secara Konduksi.....	20
Gambar 2.15 Perpindahan Kalor Secara Konduksi Pada Zat Padat,Cair Dan Gas.	21
Gambar 2.16 Perpindahan Kalor Secara konduksi Pada Silinder.....	24
Gambar 2.17 Perpindahan Kalor Secara Konveksi Dari Blok Panas Ke Udara	26
Gambar 2.18 Perpindahan Kalor Dengan Konveksi Paksa Dan Konveksi Alami.....	27
Gambar 2.19 Proses Pendidihan (<i>Boiling</i>) Dan Kondensasi.....	27
Gambar 2.20 Konstruksi Alat Penukar Kalor Jenis <i>Tube in tube Heat Exchanger</i>	29
Gambar 2.21 Alat Penukar Kalor Jenis <i>Double Pipe</i>	32
Gambar 2.22 Pipa <i>Coil Heat Exchanger</i>	32
Gambar 2.23 Alat Penukar Kalor Jenis <i>Open Tube Section</i>	33
Gambar 2.24 <i>Spiral Heat Exchanger</i>	34
Gambar 2.25 <i>Plate Heat Exchanger</i>	35
Gambar 2.26 Bentuk-bentuk <i>Shell</i> Dan Penutupnya.....	36
Gambar 2.27 Tipe Susunan <i>Tube</i>	37
Gambar 3.1 <i>Flow Chart</i>	38
Gambar 3.2 Desain Alat Uji, Digambar Dengan <i>Software</i> Catia V5R17	42
Gambar 3.3 <i>Heater</i> yang dipasang pada tabung <i>refrigerant</i>	43
Gambar 3.4 Variable Heater Untuk Test Section.....	44
Gambar 3.5 Pipa Tembaga (<i>Copper</i>)	44
Gambar 3.6 Condensing Unit 1PK	46
Gambar 3.7 Pompa Wasser	47
Gambar 3.8 <i>Plate Heat Exchanger</i>	48
Gambar 3.9 Pressure Control	48
Gambar 3.10 Toren Tempat Menyimpan Fluida Cair Glikol	49
Gambar 3.11 <i>Tube in tube Heat Exchanger</i>	50
Gambar 3.12 <i>Needle Valve</i>	50
Gambar 3.13 <i>Check Valve</i>	51
Gambar 3.14 <i>Test Section</i> Dan Pembagian 9 Titik Pengambilan Data.....	51

Gambar 3.15 Test Section	52
Gambar 3.16 Gambar Sket <i>Sight Glass</i>	52
Gambar 3.17 Gambar <i>Sight Glass</i>	52
Gambar 3.18 <i>Pressure Gauge</i>	53
Gambar 3.19 <i>Receiver Tank</i>	54
Gambar 3.20 <i>Cool Box</i>	54
Gambar 3.21 Posisi Timbangan Digital Pada Alat Uji	55
Gambar 3.22 Peletakan <i>Thermocouple</i> Pada <i>Test Section</i>	56
Gambar 3.23 <i>Thermocouple</i>	57
Gambar 3.24 Pemasangan <i>Thermocouple</i> serta <i>Heater</i> pada <i>Test Section</i> sebelum <i>Test Section</i> dibungkus <i>isolator</i>	57
Gambar 3.25 Tampilan <i>Front Panel</i> Dan <i>Block Diagram</i> Labview	58
Gambar 3.26 <i>National Instrument</i>	58
Gambar 3.27 Skematik Alat Uji	59
Gambar 3.28 Komponen Pada Alat Uji Aliran Dua Fasa Yang Telah Dibangun	62
Gambar 3.29 Proses Pem-vakuman	64



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Refrigeran Yang Umum Digunakan.	16
Tabel 2.2 Tabel Pipa Tembaga Yang Umum Digunakan	17
Tabel 2.3 Tabel Jenis-jenis <i>Thermocouple</i>	18
Tabel 2.4 Konduktivitas Termal Beberapa Bahan Pada Temperatur 300 K.	23
Tabel 2.5 Koefisien Perpindahan Kalor Konveksi Untuk Beberapa Jenis Fluida	28
Tabel 3.1 Spesifikasi <i>Heater</i> Pada Tabung	42
Tabel 3.2 Spesifikasi <i>Heater</i> Pada <i>Test Section</i>	43
Tabel 3.3 Karakteristik R-22.....	45
Tabel 3.4 Spesifikasi <i>Condensing Unit</i> 1PK.....	46
Tabel 3.5 Spesifikasi Pompa	47
Tabel 3.6 Spesifikasi <i>Plate Heat Exchanger</i>	47
Tabel 3.7 Titik Beku Air Dan Campuran Glikol	49
Tabel 3.8 Spesifikasi <i>Pressure Gauge</i>	53
Tabel 3.9 Spesifikasi <i>Receiver Tank</i>	53
Tabel 3.10 Spesifikasi Komputer	56
Tabel 3.11 Spesifikasi <i>Thermocouple</i>	57
Tabel 3.12 Spesifikasi <i>National Instrument</i>	58
Tabel 4.1 Tekanan Saturasi R-22 Pada Beberapa Nilai Temperatur Masuk.	75
Tabel 4.2 Data hasil pengukuran temperatur pada inserted thermocouple sisi inlet	77
Tabel 4.3 Data hasil pengukuran temperatur pada inserted thermocouple sisi outlet	78
Tabel 4.4 Data hasil pengujian kondisi 1	79
Tabel 4.5 Data hasil pengujian kondisi 2	79
Tabel 4.6 Data hasil pengujian kondisi 3	80

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Proses pendinginan adalah suatu proses dimana terjadinya penyerapan panas dari suatu benda ke fluida kerja/refrigeran. Proses ini telah menjadi hal yang penting pada kehidupan sehari-hari, mulai dari pendinginan bahan makanan agar tidak cepat rusak, pengkondisian udara untuk kenyamanan sampai pendinginan pada mesin dan alat elektronik agar tetap berfungsi dengan baik.

HCFC (Hydro-Chloro-Fluoro-Carbon) atau biasa disebut R-22 merupakan refrigeran yang memegang peranan penting dalam sistem refrigerasi. Hal ini dikarenakan R-22 memiliki properti fisika dan termal yang baik sebagai refrigeran, stabil, tidak mudah terbakar, tidak beracun dan kompatibel terhadap sebagian besar bahan komponen dalam sistem refrigerasi. Akan tetapi setelah masyarakat mengetahui hipotesa bahwa R-22 termasuk *Ozone Depleting Substance* (ODS), yaitu zat yang dapat menyebabkan kerusakan ozon. Dimana ikatan C-Cl pada R-22 akan terputus menghasilkan radikal-radikal bebas klorin. Radikal-radikal inilah yang merusak ozon. Oleh karena itu dalam pemilihan *refrigerant alternatif* ramah lingkungan pengganti R-22 seperti R-134, propane, CO₂ harus memperhatikan properti dari R-22.

Selain itu kesadaran baru tentang manfaat dari proses intensifikasi telah mendorong permintaan akan ukuran desain alat – alat proses industri yang lebih kecil. Begitu pula pada komponen - komponen seperti evaporator, kondenser pada sistem refrigerasi dan *air conditioning*. Komponen tersebut memerlukan desain yang lebih kecil, salah satu nya adalah pipa kanal mini yang telah banyak digunakan dalam proses industri.

Dalam dunia teknik, pengembangan ilmu pengetahuan tidak hanya terbatas pada upaya untuk menemukan teknologi baru yang dapat bermanfaat bagi manusia, tetapi juga diarahkan untuk menemukan metoda- metoda teknis atau jenis material yang dapat menunjang penerapan teknologi baru tersebut agar bisa lebih efisien. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian-penelitian termasuk dalam bidang teknik pendingin.

Guna menunjang penelitian yang akan dilakukan, maka dirancang sebuah alat dengan sistem *openloop* untuk mengetahui karakteristik-karakteristik dari *refrigerant* yang akan diteliti. Diantaranya adalah karakteristik dari koefisien perpindahan kalor *refrigerant* R-22.

1.2 Perumusan Masalah

Pada penelitian ini dirancang suatu alat uji dengan menggunakan pipa kanal mini berdiameter dalam 3 mm dan panjang 1 m yang terbuat dari stainless steel SS316 dan mengalirkan refrigeran R-22 didalamnya. Pada pipa tersebut dipasang pemanas listrik sebagai beban pemanasan. Aliran R-22 dijaga temperatur, tekanan dan laju lairannya pada saat memasuki pipa sebagai variabel kontrolnya.

1.3 Tujuan Studi

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Mempelajari secara langsung segala sesuatu yang dibutuhkan dalam proses perancangan suatu alat.
2. Mampu memilih bahan yang sesuai dengan keperluan.
3. Untuk mendapatkan karakteristik koefisien perpindahan kalor untuk aliran evaporasi dua fasa pada kanal mini *horizontal* dengan refrigeran R-22 pada *system open loop*.
4. Dengan penerapan aliran refrigeran pada kanal mini, diharapkan penggunaan material dan energi dapat lebih efisien.

1.4 Batasan Masalah

Dengan mempertimbangkan masalah dan memingat luasnya ruang lingkup yang harus dibahas dalam proses perancangan ini, maka dibuat batasan masalah karena keterbatasan waktu, biaya, dan pengetahuan yang dikuasai.

Dalam penelitian ini, masalah terbatas pada proses perancangan alat yang akan digunakan untuk mengetahui karakteristik koefisien perpindahan kalor aliran evaporasi dua fasa pada kanal mini *horizontal* dengan refrigeran R-22 pada *system open loop*.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini terdiri dari:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan studi, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang teori-teori atau hal-hal yang menjadi pendukung dalam studi yang dilakukan, seperti sistem refrigerasi, perpindahan kalor dan massa, serta pengetahuan tentang *refrigerant*.

BAB 3 PERANCANGAN ALAT DAN PERSIAPAN PENGUJIAN

Bab ini berisi tentang metodologi, skematik alat pengujian yang direncanakan untuk dibangun, desain alat uji, pemilihan alat-alat yang digunakan, serta kondisi pengujian yang direncanakan akan dilakukan.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang prosedur pemilihan komponen alat uji yang telah dibangun, serta proses pengujian alat yang telah dibangun tersebut

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan yang diperoleh dari hasil pengujian yang dilakukan dan saran atau masukan untuk pelaksanaan proses studi sejenis di masa yang akan datang.

DAFTAR PUSTAKA

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Aliran Dua Fasa (*Two Phase Flow*)

Aliran dua fasa yaitu aliran fluida dimana terdiri dari fasa *liquid* dan fasa gas yang biasanya terjadi pada proses pendidihan atau kondensasi. Untuk mempelajari dan menganalisa aliran dua fasa dilakukan beberapa macam asumsi yang umumnya digunakan diantaranya :

a) Model aliran homogen (*homogeneous flow model*)

Pada metode analisa ini mengasumsikan, bahwa aliran dua fasa sebagai aliran satu fasa.

b) Model aliran terpisah (*the separated flow model*)

Pada pendekatan ini, aliran dua fasa dianggap sebagai aliran yang terpisah yaitu aliran dengan fasa *liquid* dan fasa gas dimana masing-masing fasa memiliki persamaannya masing-masing.

c) Model pola aliran (*flow pattern model*)

Pada pendekatan ini aliran dua fasa dinggap tersusun oleh satu dari tiga atau empat geometri yang telah ditentukan. Geometri tersebut berdasarkan pada variasi konfigurasi dari pola aliran yang ditemukan ketika fasa gas dan fasa *liquid* secara bersamaan mengalir pada suatu kanal.

Pada aliran dua fasa, konfigurasi yang dibentuk oleh fasa gas dan fasa *liquid* mempunyai bentuk-bentuk tertentu, konfigurasi-konfigurasi yang disusun oleh fasa gas dan fasa *liquid* disebut dengan pola aliran (*flow pattern*).

Berbagai macam teknik dan cara telah dilakukan untuk mempelajari pola aliran dua fasa pada kanal/pipa yang dipanaskan maupun tidak dipanaskan, seperti yang dilakukan oleh Hewitt (1978), dengan menggunakan kanal transparan dan juga oleh Derbyshire (1964) dan Hewitt (1978) dengan menggunakan *X-radiography*. Kemudian, oleh Alves

(1954) diperkenalkan pola aliran dua fasa yang terjadi pada kanal *horizontal* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.1, yaitu antara lain :

a) *Bubbly flow*

Pada pola aliran ini, fasa gas atau uap tersebar sebagai gelembung diskrit (terputus-putus) pada fasa *liquid* dengan ukuran kecil dimana gelembung uap tersebut bergerak menuju ke setengah bagian atas pipa.

b) *Plug flow*

Pada pola aliran ini gelembung gas atau uap besarnya kurang lebih mendekati besarnya diameter pipa. Ujung dari gelembungnya mempunyai karakteristik bentuk seperti tutup yang berbentuk bola dan gas didalam gelembung dipisahkan dari dinding pipa dengan adanya penurunan lapisan *liquid* secara perlahan-lahan

c) *Strarified flow*

Pola aliran ini terjadi ketika kecepatan fasa *liquid* dan gas rendah sekali.

d) *Wavy flow*

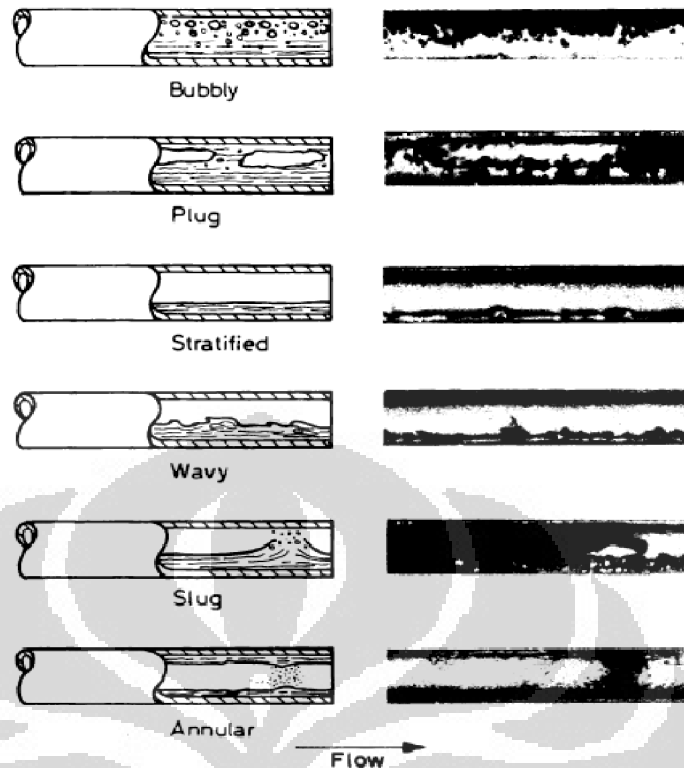
Pola aliran ini terjadi ketika kecepatan uap naik, dimana nantinya permukaan pemisah (*interface*) akan terganggu oleh gelombang yang bergerak pada arah alirannya.

e) *Slug flow*

Pola aliran ini terjadi ketika adanya kenaikan lebih lanjut kecepatan uap yang menyebabkan gelombang pada permukaan pemisah (*interface*) akan terbawa dalam bentuk busa yang disebarkan disepanjang kanal dengan kecepatan tinggi.

f) *Annular flow*

Pola aliran ini terjadi ketika kecepatan uap tinggi yang akan menyebabkan pembentukan inti gas dengan lapisan *liquid* disekeliling selimut pipa.lapisan *liquid* tersebut mungkin tidak kontinyu disekeliling pipa tapi pada akhirnya akan kontinyu mengelilingi pipa dimana lapisan *liquid* pada bagian bawah pipa akan lebih tebal.



Gambar 2.1 Pola Aliran Dua Fasa Yang Terjadi Pada Pipa *Horizontal*
(John G. Collier 1994)

Klasifikasi ukuran diameter pipa kanal yang digunakan dibagi menjadi 3, yaitu:

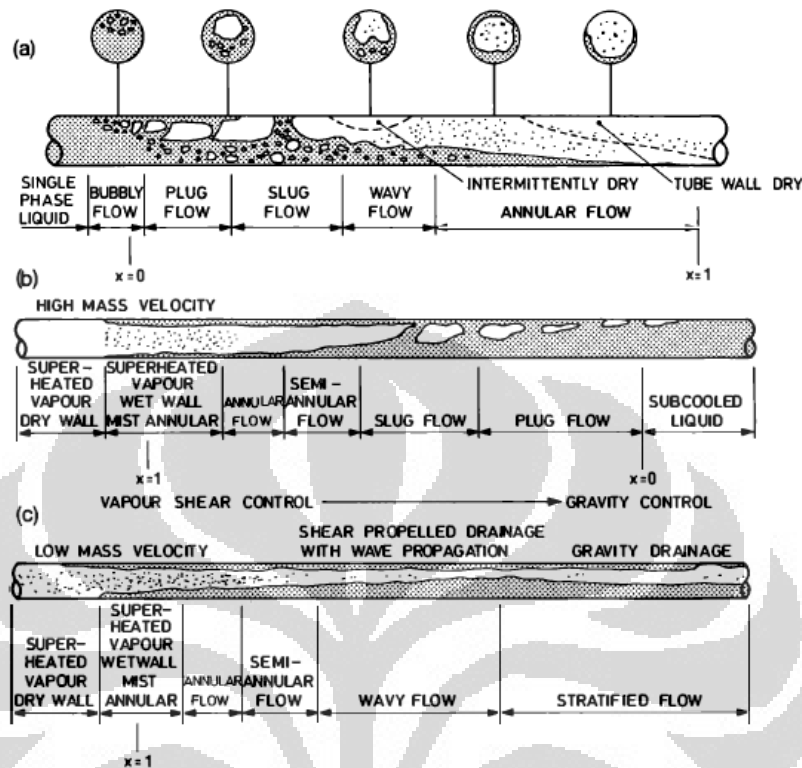
- Pipa kanal mikro. Pipa dengan diameter kanal $10 \mu\text{m} < \text{ID} < 200 \mu\text{m}$.
- Pipa kanal mini. Pipa dengan diameter kanal $200 \mu\text{m} < \text{ID} < 3 \text{ mm}$.
- Pipa kanal konvensional. Pipa dengan diameter kanal $\text{ID} > 3 \text{ mm}$.

Pada pipa kanal mini dengan ukuran diameter yang kecil memiliki beberapa keuntungan, antara lain:

- Rasio kontak antara permukaan fluida dengan volume fluida yang lebih besar dibanding dengan pipa kanal konvensional.
- Pembuatan alat penukar kalor yang lebih kompak karena ukuran pipa yang kecil.

Pola aliran yang terbentuk pada kanal *horizontal* selama pembentukan uap dipengaruhi oleh sifat baik secara termodinamik maupun hidrodinamik. Pola

aliran dua fasa pada proses pendidihan dan kondensasi dapat dilihat pada ilustrasi Gambar 2.2 di bawah ini



Gambar 2.2 Pola Aliran Dua Fasa Pada Pipa *Horizontal* ;(a) Pendidihan;(b) Kondensasi dengan flux massa tinggi ;(c) Kondensasi Dengan flux massa rendah

(John G. Collier 1994)

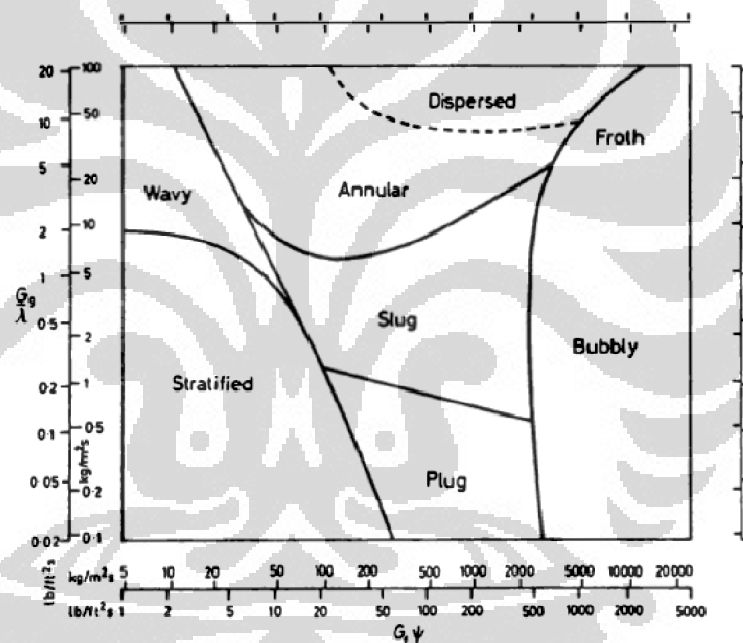
Dimana pada gambar 2.2 (a) merupakan pola aliran dua fasa yang terjadi pada saat proses pendidihan dengan kecepatan aliran yang rendah (< 1 m/s). Dimana perpindahan kalor yang terjadi pada proses ini menjadi salah satu hal penting karena jika dilihat pada pola aliran *slug* dan *wavy* pada bagian dinding atas pipa terkadang kering dan terkadang basah, hal tersebut yang nantinya akan mempengaruhi perpindahan kalor yang terjadi. Sedangkan pada pola aliran *annular* bagian atas pipanya dalam keadaan kering.

Sedangkan pada Gambar 2.2 (b) dan (c) merupakan pola aliran dua fasa yang terjadi pada proses kondensasi baik dengan flux massa yang tinggi maupun flux massa yang rendah (Schlunder ; 1983)

Pada proses kondensasi, karena adanya lapisan kondensasi disekeliling permukaan pipa pada bagian inlet (masuk) maka akan membentuk pola aliran

anular dengan beberapa kumpulan titik-titik air pada inti uap berkecepatan tinggi. Ketika proses kondensasi terus berlangsung akan mengakibatkan turunnya kecepatan uap dan akan mengurangi pengaruh tegangan geser uap terhadap kondensat dan menyebabkan pengaruh gaya gravitasi terhadap aliran tersebut menjadi tinggi. Pada proses kondensasi dengan flux massa yang tinggi pola aliran *slug* dan *bubble* akan terbentuk, sedangkan pada flux massa yang rendah maka akan terbentuk pola aliran *wavy* dan *stratified*.

Peta pola aliran dua fasa pada aliran *horizontal* yang digunakan secara luas yaitu peta pola aliran yang diberikan oleh Baker (1954) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Peta Pola Aliran Dua Fasa Pada Aliran *Horizontal* (Baker 1954)
(John G. Collier 1994)

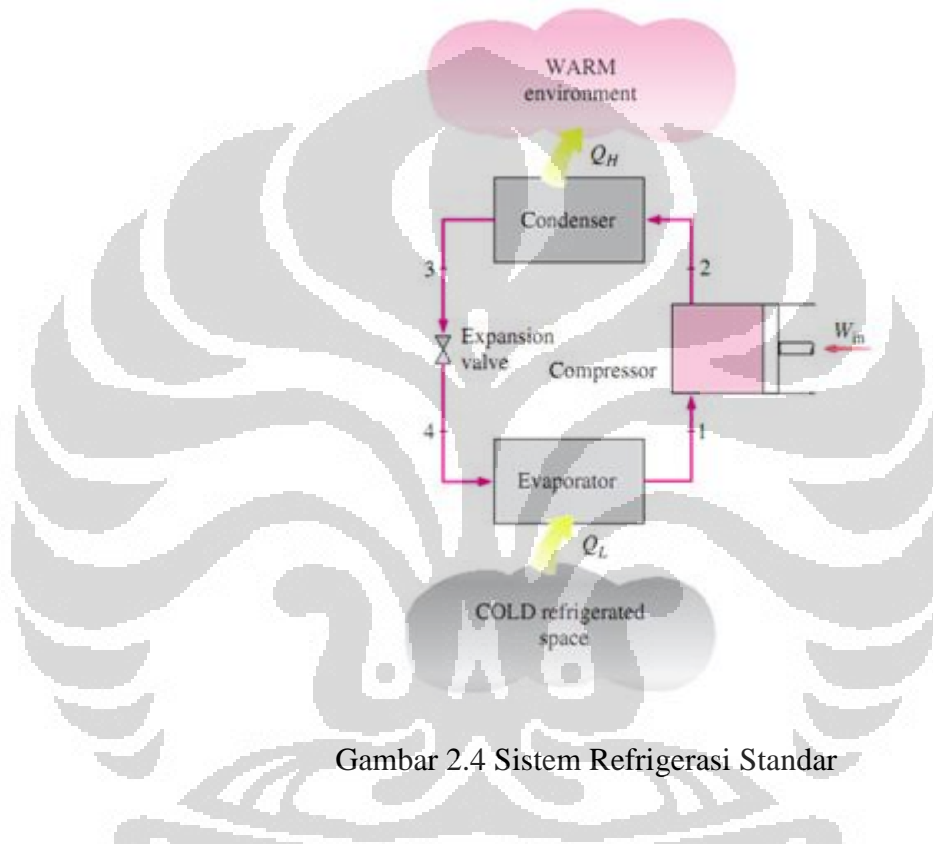
2.2 Sistem Refrigerasi

2.2.1 Penjelasan Mengenai Sistem Pendingin

Sistem refrigerasi yang biasa digunakan yaitu dengan kompresi uap, karena fluida berubah fasa menjadi uap setelah dikompresi dan dikondensasikan menjadi cairan kemudian cairan kembali diuapkan agar dapat dikompresi, hal ini terjadi secara terus-menerus sehingga biasa

Universitas Indonesia

disebut dengan siklus refrijerasi kompresi uap. Seperti yang telah dijelaskan bahwa terdapat fluida yang akan diuapkan dan dicairkan, dalam sistem refrigerasi fluida yang bekerja dalam sistem ini disebut dengan refrigeran. Pada Gambar 2.4 menggambarkan aliran kerja dari sebuah sistem refrigerasi standar dan berikut adalah jalannya *refrigerant* dalam sistem tersebut.

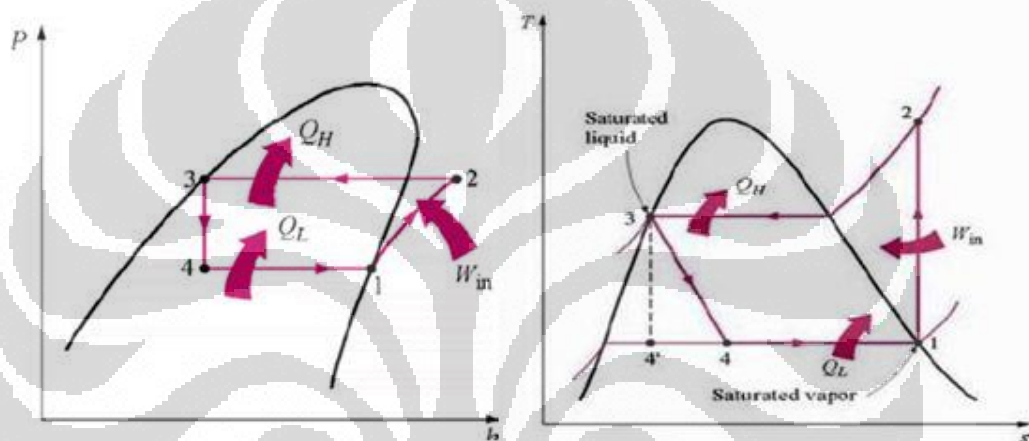


Gambar 2.4 Sistem Refrigerasi Standar

Dimulai dari titik 1, refrigeran memasuki kompresor dalam bentuk gas untuk dikompresi sehingga temperatur dan tekanan refrigeran bertambah dan terjadi secara isentropik kemudian memasuki kondenser untuk diimbunkan. Pada kondenser (titik 2), refrigeran berubah fasa menjadi cairan karena refrigeran melepas kalor ke lingkungan sehingga temperatur menurun dikenal dengan efek pemanasan. Refrigeran mengalir menuju Expansion Device (titik 3) sehingga tekanan menurun tanpa ada perubahan entalpi, memasuki evaporator (titik 4). Di bagian ini, refrigeran mengambil kalor dari lingkungan, sehingga temperatur lingkungan menurun, dikenal

dengan efek pendinginan dan refrigeran berubah fasa menjadi uap kemudian gas, dan kembali mengalami kompresi.

Sistem refrigerasi juga digambarkan dalam diagram tekanan-entalpi (p-h) atau temperatur-entropi (T-s) untuk melihat perubahan yang terjadi pada refrigeran, oleh sebab itu grafik yang tergambar dalam diagram tersebut dapat saja berbeda karena perbedaan sifat dari refrigeran yang digunakan. Berikut Gambar 2.5 merupakan diagram p-h dan T-s untuk sistem refrigerasi secara umum.



Gambar 2.5 Diagram p-h Dan T-s Sistem Refrigerasi

Pada p-h diagram dapat dibaca, sebagai berikut:

- Proses 1-2 : Kompresi isentropik, tekanan dan temperatur bertambah, refrigeran pada kondisi *superheated*.
- Proses 2-3 : Kondensasi refrigeran (uap – campuran uap dan cair), tekanan dan temperatur menurun, sewaktu di daerah kubah uap, temperatur dan tekanan konstan.
- Proses 3-4 : Ekspansi adiabatik, tekanan dan temperatur menurun, refrigeran berupa campuran uap dan cairan (lebih banyak cairan).
- Proses 4-1 : Pendidihan refrigeran, tekanan dan temperatur bertambah setelah keluar dari kubah uap, dan *refrigerant* seutuhnya berada pada fasa uap.

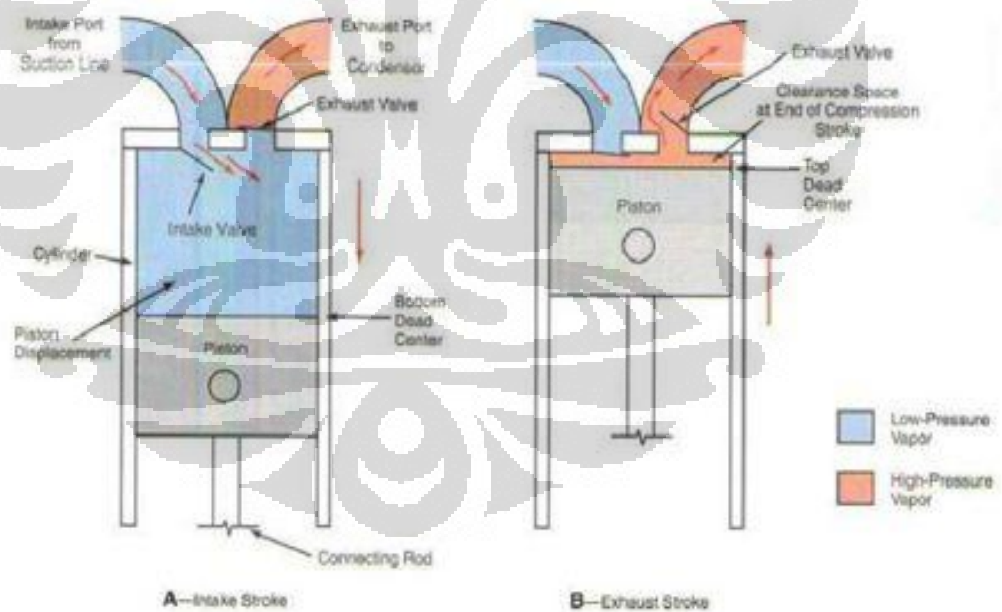
2.2.2 Komponen-komponen dalam Sistem Pendingin

2.2.2.1 Kompresor

Kompresor merupakan jantung dari sistem refrigrasi kompresi uap karena bertugas memompa *refrigerant* dan mengalirkannya dalam sistem, membuat perbedaan tekanan sehingga sistem refrigrasi dapat berkerja.

Kompresor yang digunakan memiliki berbagai variasi dan digunakan sesuai dengan kebutuhan, akan tetapi dapat dibagi secara garis besar menjadi dua bagian, yaitu *positive displacement* dan *dynamic*. *Positive displacement* merupakan jenis kompresor yang menaikkan tekanan dengan pengurangan *volume* secara kontinu, sedangkan *dynamic* karena perubahan momentum.

Prinsip kerja *compressor* adalah pada kompresi uap pada piston yang berada di dalamnya. Seperti diilustrasikan dalam Gambar 2.6 berikut:

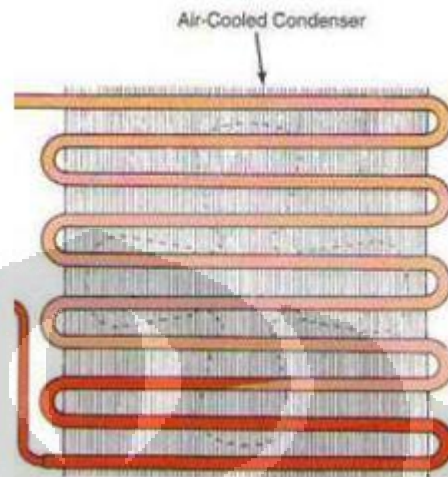


Gambar 2.6 Prinsip Kerja Kompresor

2.2.2.2 Kondenser

Kondenser dan evaporator secara berturut-turut terjadi perpindahan kalor dari sistem ke lingkungan dan dari lingkungan

ke sistem, oleh sebab itu keduanya disebut sebagai alat penukar kalor. Terdapat dua jenis untuk kondenser dan evaporator yaitu refrigeran yang berada di dalam pipa atau di luar pipa.



Gambar 2.7 Ilustrasi *Condenser* Secara Sederhana

Kondenser yang digunakan memiliki dua tipe berdasarkan lingkungan yang mendinginkannya atau tempat yang akan dibuang kalor dari refrigeran yaitu cairan dan udara. Kondenser berpendingin air seperti *open shell and tube*, *shell and coil* (horisontal atau vertikal) dan *double pipe*, perpindahan yang terjadi secara konveksi dan konduksi. Berpendingin udara terjadi konveksi alamiah, sering kali ditambahkan kipas agar perpindahan kalor terjadi dengan cepat disebut sebagai konveksi paksa. Jenis ini diaplikasikan dengan pipa/*tube* dan *fin*. Sehingga refrigeran berada di dalam pipa dan udara lingkungan mengalir masuk ke dalam kondenser, yang terdapat fin agar kalor berkurang melalui fin tersebut.

2.2.2.3 Evaporator

Evaporator yang sering digunakan yaitu refrigeran berada didalam pipa dan mendinginkan fluida (lingkungan) yang melewatinya karena kalor dari fluida tersebut diambil untuk mendidihkan refrigeran yang berada dalam pipa.

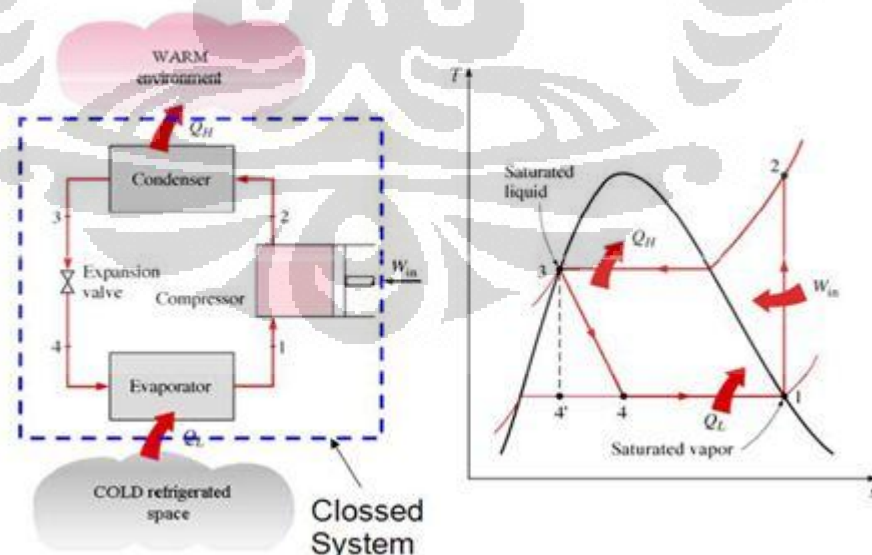
Aliran refrigeran yang masuk ke dalam evaporator diatur oleh *Expansion Device* sehingga refrigeran bertemperatur rendah dengan kualitas uap yang lebih kecil, dan refrigeran dapat lebih banyak mengambil kalor agar kualitas uapnya bernilai 1.

2.2.2.4 Katup Ekspansi

Refrigeran cair dari condenser yang akan diuapkan di evaporator dikontrol oleh katup ekspansi. Refrigeran berbentuk liquid di ekspansi yang menyebabkan fasanya berubah menjadi campuran cair jenuh dan uap (saturated liquid-vapor mixture) dan tekanannya turun. Ketika terjadi penurunan tekanan, temperaturnya juga turun.

2.2.3 Persamaan dalam sistem Refrigerasi

Dalam menganalisa suatu sistem refrigerasi, diketahui sistem yang digunakan kemudian dilakukan perhitungan untuk memilih komponen-komponen utama dan tambahan dalam sistem. Berikut perhitungan dasar dalam sebuah sistem refrigerasi standar dengan asumsi bahwa sistem merupakan sistem tertutup. Seperti ditunjukkan Gambar 2.8 berikut :



Gambar 2.8 Sistem Refrigerasi Standar Dengan Diagram T-s

1. *Coefficient of performance (COP)*

COP merupakan nilai keefektifan dari suatu sistem refrigerasi karena membandingkan nilai output dengan kerja yang dilakukan. Nilai output suatu sistem merupakan kalor yang diserap oleh evaporator, dan kerja dilakukan oleh kompresor.

$$COP = \frac{Q_{\text{evaporator}}}{W_{\text{kompresor}}} \quad (2.1)$$

2. Daya Kompresor

$$W_{in} = m(h_2 - h_1) \quad (2.2)$$

3. Kalor yang dibuang kondenser

$$Q_{kondenser} = m(h_2 - h_3) \quad (2.3)$$

4. Kapasitas Pendinginan

$$Q_{\text{evaporator}} = m(h_4 - h_1) \quad (2.4)$$

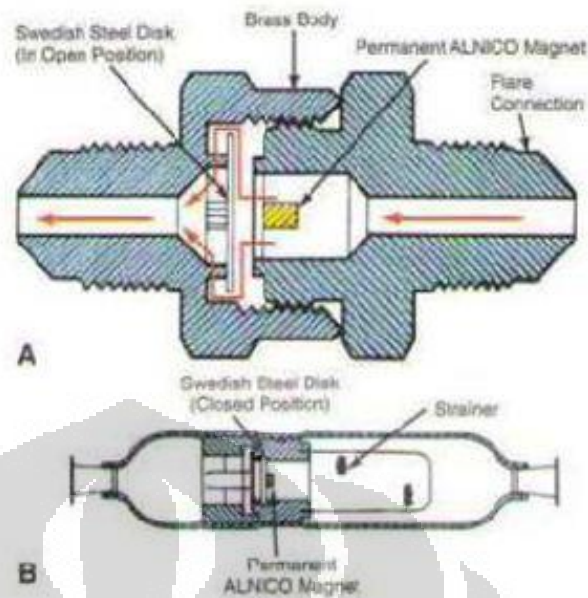
5. *Expansion Device*

$$\begin{aligned} Q - W &= m(h_4 - h_3) \\ 0 &= m(h_4 - h_3) \\ h_4 &= h_3 \end{aligned} \quad (2.5)$$

2.2.4 Aksesoris dalam sistem refrigerasi

2.2.4.1 Check Valve

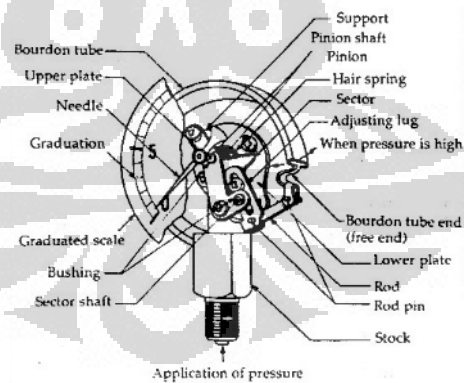
Check valve berfungsi untuk mengatur aliran *refrigerant* agar tetap mengalir dalam satu arah. Cara kerjanya berdasarkan katup dan magnet permanen yang berada di dalam. Seperti digambarkan dalam contoh berikut:



Gambar 2.9 Aliran Fluida Pada *Check Valve*

2.2.4.2 Pressure Gauge

Merupakan suatu *indicator analog* yang berfungsi untuk menunjukkan kondisi tekanan pada suatu titik dalam instalasi suatu sistem.



Gambar 2.10 *Bourdon Pressure Gauge*

2.2.4.3 Refrigeran dan Piping

Refrigeran merupakan komponen yang bersifat kimiawi yang berguna sebagai media penghantar kalor. Jenis-jenis refrigeran yang sering dipergunakan ialah sebagai berikut:

Universitas Indonesia

Tabel 2.1 Refrigeran Yang Umum Digunakan

Number	Refrigerant Name	Chemical Composition
R-11	Trichlorofluoromethane	CFC
R-12	Dichlorofluoromethane	CFC
R-13	Cholorotrifluoromethane	CFC
R-13B1	Bromotrifluoromethane	CFC
R-22	Chlorodifluoromethane	HCFC
R-23	Trifluoromethane	HFC
R-113	Trichlorotrifluoroethane	CFC
R-114	Dichlorotetrafluoroethane	CFC
R-123	Dichlorotrifluoroethane	HCFC
R-124	Chlorotetrafluoroethane	HCFC
R-125	Pentafluoroethane	HFC
R-134a	Tetrafluoroethane	HFC
R-401A	R-22 + R-152a + R-124	Azeotropic (HCFC)
R-401B	R-22 + R-152a + R-124	Azeotropic (HCFC)
R-401C	R-22 + R-152a + R-124	Azeotropic (HCFC)
R-402A	R-22 + R-125 + R290	Azeotropic (HCFC)
R-402B	R-22 + R-125 + R290	Azeotropic (HCFC)
R-404A	R-125 + R-143a + R-134a	Azeotropic (HCFC)
R-406A	R-22 + R-142b + R-600a	Azeotropic (HCFC)
R-407A	R-32 + R-125 + R-134a	Azeotropic (HFC)
R-407B	R-32 + R-125 + R-134a	Azeotropic (HFC)
R-407C	R-32 + R-125 + R-134a	Azeotropic (HFC)
R-410A	R-32 + R-125	Azeotropic (HFC)
R-500	Refrigerants 152a/12	Azeotropic (CFC)
R-502	Refrigerants 22/115	Azeotropic (CFC)
R-503	Refrigerants 23/13	Azeotropic (CFC)
R-507A	Refrigerants 125/143a	Azeotropic (HFC)
R-717	Ammonia	Inorganic Compound

Sedangkan untuk pemipaan jenis material pipa yang digunakan untuk sistem pendinginan ialah pipa tembaga (*Copper*). Hal ini karena tembaga memiliki nilai konduktivitas kalor yang tinggi sehingga cocok dipergunakan sebagai media penyerap kalor.

Tabel 2.2 Tabel Pipa Tembaga Yang Umum Digunakan

Outside diameter (mm)	Thick-ness (mm)	Outside Area (m ² /m)	Internal Sectional Area (cm ²)	Volume (l/m)	Weight (kg/m)
6.4	0.8	0.02	0.18	0.018	0.12
9.5	0.8	0.03	0.49	0.049	0.20
12.7	1.0	0.04	0.90	0.090	0.33
15.9	1.2	0.05	1.43	0.143	0.49
19.1	1.2	0.06	2.16	0.216	0.60
22.2	1.2	0.07	3.08	0.308	0.71
25.4	1.2	0.08	4.15	0.415	0.81
31.8	1.6	0.10	6.51	0.651	1.28
38.1	1.6	0.12	9.67	0.967	1.53
45.0	2.0	0.14	13.20	1.320	2.40
50.8	2.0	0.16	17.19	1.719	2.77
63.5	2.0	0.20	27.79	2.779	3.44
76.2	2.5	0.24	39.80	3.980	4.96




















2.2.4.4 Thermocouple

Thermocouple merupakan suatu sambungan antara 2 buah material berbentuk kawat yang berbeda. Dimana kedua kawat tersebut memproduksi tegangan sesuai dengan perbedaan *temperature* diantar keduanya.

Gambar 2.11 *Thermocouple* Yang Sering Digunakan

Thermocouple dapat dibagi beberapa jenis, tergantung pada kedua material yang dipergunakan, seperti dapat dilihat dalam tabel berikut :

Tabel 2.3 Tabel Jenis-jenis *Thermocouple*

Type	Temperature range °C (continuous)	Temperature range °C (short term)	Tolerance class one (°C)	Tolerance class two (°C)	IEC Color code	BS Color code	ANSI Color code
K	0 to +1100	-180 to +1300	±1.5 between -40 °C and 375 °C ±0.004×T between 375 °C and 1000 °C	±2.5 between -40 °C and 333 °C ±0.0075×T between 333 °C and 1200 °C			
J	0 to +700	-180 to +600	±1.5 between -40 °C and 375 °C ±0.004×T between 375 °C and 750 °C	±2.5 between -40 °C and 333 °C ±0.0075×T between 333 °C and 750 °C			
N	0 to +1100	-270 to +1300	±1.5 between -40 °C and 375 °C ±0.004×T between 375 °C and 1000 °C	±2.5 between -40 °C and 333 °C ±0.0075×T between 333 °C and 1200 °C			
R	0 to +1600	-50 to +1700	±1.0 between 0 °C and 1100 °C ±(1 + 0.003×(T - 1100)) between 1100 °C and 1600 °C	±1.5 between 0 °C and 600 °C ±0.0025×T between 600 °C and 1600 °C			Not defined.
S	0 to 1600	-50 to +1750	±1.0 between 0 °C and 1100 °C ±(1 + 0.003×(T - 1100)) between 1100 °C and 1600 °C	±1.5 between 0 °C and 600 °C ±0.0025×T between 600 °C and 1600 °C			Not defined.
B	+200 to +1700	0 to +1820	Not Available	±0.0025×T between 600 °C and 1700 °C	No standard use copper wire	No standard use copper wire	Not defined.
T	-185 to +300	-250 to +400	±0.5 between -40 °C and 125 °C ±0.004×T between 125 °C and 350 °C	±1.0 between -40 °C and 133 °C ±0.0075×T between 133 °C and 350 °C			
E	0 to +800	-40 to +900	±1.5 between -40 °C and 375 °C ±0.004×T between 375 °C and 800 °C	±2.5 between -40 °C and 333 °C ±0.0075×T between 333 °C and 900 °C			
Chromel/AuFe	-272 to +300	n/a	Reproducibility 0.2% of the voltage, each sensor needs individual calibration.				

2.2.5 Komponen sistem kontrol

2.2.5.1 *Miniature Circuit Breaker* (MCB)

Merupakan suatu komponen yang berguna untuk melindungi komponen-komponen lain saat terjadi *overload* akibat korsleting. Hal ini karena MCB akan memutuskan hubungan arus listrik saat hal itu terjadi. Cara kerjanya seperti dijabarkan dalam gambar berikut:



Gambar 2.12 Komponen Dalam MCB

Komponen komponen dalam gambar tersebut ialah:

1. Tombol untuk menyambung aliran
2. Mekanisme *actuator*
3. *Contact*, yang akan menyambung dan memutus bila arus berlebih
4. Terminal
5. Kawat bimetal
6. Sekrup untuk kalibrasi
7. Solenoid
8. *Extinguisher* (apabila terjadi bunga api akibat short)

2.2.5.2 *Thermostat*

Thermostat merupakan suatu komponen yang berfungsi untuk memutus atau menyambungkan aliran listrik berdasarkan respon *temperature* yang ditentukan.



Gambar 2.13 Komponen Dalam *Thermostat* Sederhana

Komponen-komponen gambar di atas adalah:

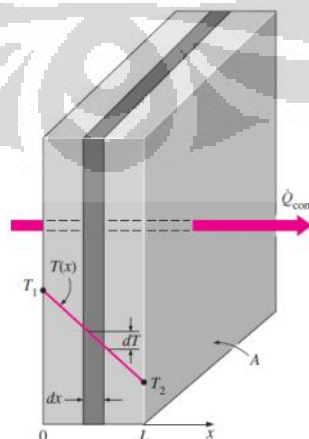
1. Tuas untuk menentukan set point *temperature*
2. Kawat bimetal yang ditempelkan pada suatu coil
3. Kawat *Flexible* (untuk menggerakkan kawat sambungan)
4. Kawat sambungan untuk menyambung dan memutuskan aliran listrik
5. Magnet untuk memastikan bahwa kawat benar-benar telah bersentuhan
6. Sekrup untuk mengencangkan

2.3 Perpindahan Kalor (*Heat Transfer*)

Perpindahan Kalor adalah perpindahan energi termal (kalor) karena adanya perbedaan temperatur. Terdapat beberapa macam proses atau mekanisme dari perpindahan kalor yang terjadi yaitu diantaranya konduksi dan konveksi.

2.3.1 Konduksi

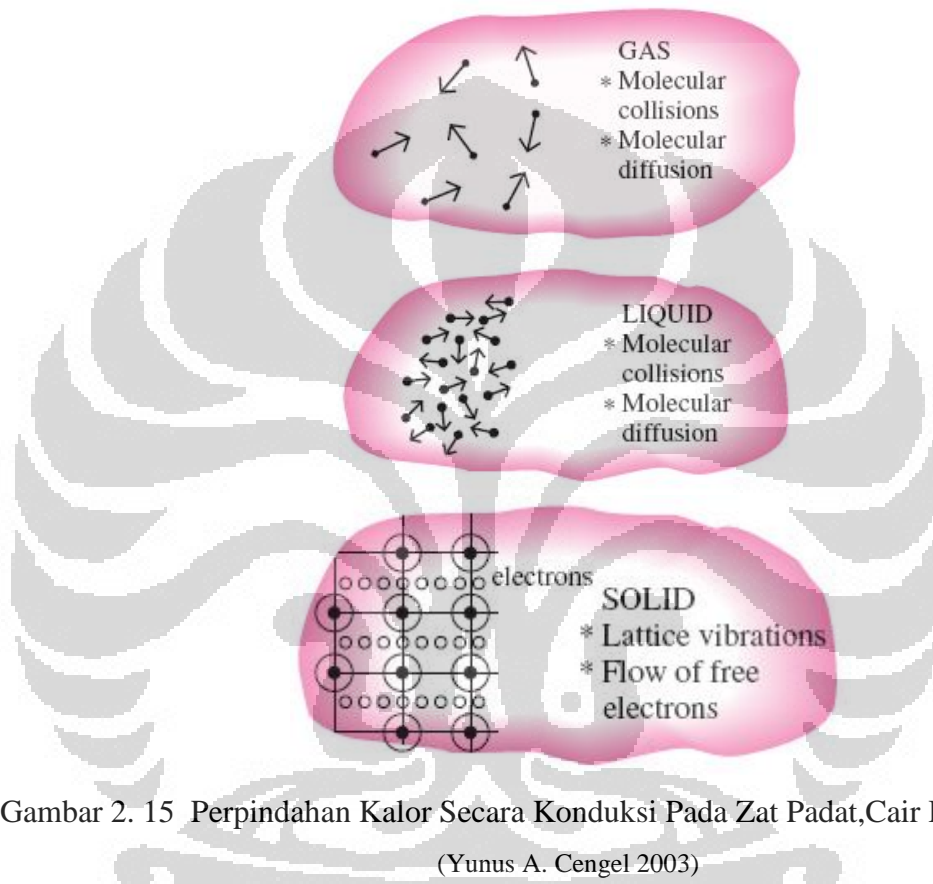
Konduksi ialah perpindahan kalor yang terjadi pada suatu benda karena adanya interaksi dari molekul / partikel yang bergerak lebih cepat dengan partikel yang bergerak lebih lambat dimana partikel yang bergerak lebih cepat memiliki energi yang lebih besar dibandingkan dengan partikel yang bergerak lambat. Perpindahan kalor secara konduksi terjadi ketika ada perbedaan temperatur pada medium yang diam (*stationary*) seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.14 yang merupakan proses perpindahan kalor secara konduksi.



Gambar 2. 14 Perpindahan Kalor Secara Konduksi

(Yunus A. Cengel 2003)

Perpindahan kalor secara konduksi dapat terjadi baik pada zat padat, cair maupun gas. Pada zat cair dan gas, konduksi terjadi karena adanya tumbukan dan difusi (penyebaran) dari molekul-molekul selama gerak acak dari molekul-molekul tersebut. Sedangkan pada zat padat, konduksi terjadi karena kombinasi dari getaran pada kisi-kisi molekul dan energi ditransfer oleh elektron bebas, seperti yang dapat dilihat pada ilustrasi Gambar 2.15.



Gambar 2. 15 Perpindahan Kalor Secara Konduksi Pada Zat Padat,Cair Dan Gas
(Yunus A. Cengel 2003)

Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.15, laju perpindahan kalor secara konduksi yang melalui suatu media dipengaruhi oleh ukuran (geometri), ketebalan, bahan, dan perbedaan temperatur pada media tersebut. *Fundamental* dari perpindahan kalor secara konduksi dapat dijelaskan melalui hukum Fourier, dengan persamaan seperti di bawah ini

$$Q_x = -KA \frac{dT}{dx} \quad (2.6)$$

Dimana ; Q_x = laju perpindahan kalor secara konduksi dengan arah x (Watt)

K = Konduktivitas bahan (Watt/m.K)

A = Luas penampang (m^2)

dT/dx = gradient temperatur dalam arah x (K)

Pada persamaan 2.6 nilai negatif menunjukkan bahwa terdapat penurunan temperatur yang terjadi dalam arah x pada media. Pada kondisi tunak (*steady*), dimana distribusi temperatur *linear* maka untuk persamaan temperatur *gradient* dapat ditulis sebagai berikut ;

$$\frac{dT}{dx} = -\frac{(T_2 - T_1)}{L} \quad (2.7)$$

$$\frac{dT}{dx} = \frac{(T_1 - T_2)}{L} \quad (2.8)$$

Maka laju perpindahan kalor secara konduksi yang terjadi dengan persamaan ;

$$Q_x = -KA \frac{dT}{dx} \quad (2.9)$$

$$Q_x = -KA \frac{(T_2 - T_1)}{L} \quad (2.10)$$

$$Q_x = KA \frac{(T_1 - T_2)}{L} = \frac{\Delta T}{R_{konduksi}} \quad (2.11)$$

Dimana ; L = tebal dari media (m)

T_1 = temperatur tinggi (K)

T_2 = temperatur rendah (K)

T = $T_1 - T_2$ (K)

$R_{konduksi}$ = Tahanan termal konduksi = L / KA

Sementara flux kalor/ *heat flux* (laju perpindahan kalor yang terjadi per satuan luas media yang arahnya tegak lurus permukaan yang besarnya berbanding lurus dengan temperatur gradiennya) yang terjadi yaitu ;

$$q_x = -K \frac{(T_2 - T_1)}{L} \quad (2.12)$$

Dimana ; q_x = flux kalor (W/m^2)

L = tebal dari media (m)

K = Konduktivitas bahan ($W/m.K$)

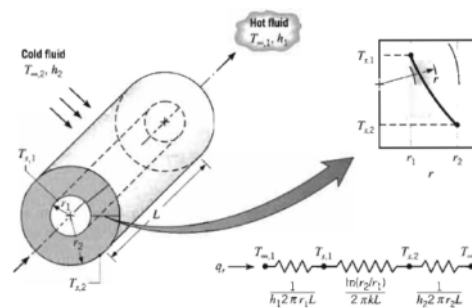
Sedangkan untuk nilai konduktivitas termal nilainya berbeda-beda tergantung dari material benda tersebut, berikut ini konduktivitas beberapa bahan/material yang dapat dilihat pada tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Konduktivitas Termal Beberapa Bahan Pada Temperatur 300 K

<i>Material</i>	<i>Thermal conductivity (W/m.K)</i>
<i>Cooper (Pure)</i>	399
<i>Gold (Pure)</i>	317
<i>Aluminium (Pure)</i>	237
<i>Iron (Pure)</i>	80.2
<i>Carbon steel (1%)</i>	43
<i>Stainless steel (18/8)</i>	15.1
<i>Glass</i>	0.81
<i>Plastics</i>	0.2 – 0.3
<i>Wood (shredded/ cemented)</i>	0.087
<i>Cork</i>	0.039
<i>Water (liquid)</i>	0.6
<i>Ethylene glycol (liquid)</i>	0.26
<i>Hydrogen (gas)</i>	0.18
<i>Benzene (liquid)</i>	0.159
<i>Air</i>	0.026

(Kharagpur 2008)

Untuk benda-benda yang berbentuk silinder umumnya perpindahan kalor terjadi pada arah radial, karena pada arah radial inilah terdapat perbedaan temperatur (gradient temperatur), perpindahan kalor secara konduksi yang terjadi pada silinder seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.16 :



Gambar 2. 16 Perpindahan Kalor Secara konduksi Pada Silinder

(Incropera 2007)

Dari ilustrasi di atas dapat dilihat bahwa perbedaan temperatur (gradient temperatur) terdapat pada arah radial, dimana terdapat tahanan termal baik dari fluida yang berada di luar silinder dan di dalam silinder maupun dari bahan silinder itu sendiri. Maka perpindahan kalor konduksi pada silinder dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut

$$Q_r = \frac{2\pi Lk(T_{s1} - T_{s2})}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \quad (2.13)$$

dimana ; kondisi di atas ialah $T_{s1} > T_{s2}$, dengan

Q = laju perpindahan kalor secara konduksi arah radial (Watt)

q = heat flux arah radial (Watt/m²)

K = Konduktivitas bahan (Watt/m.K)

T_{s1} = temperatur permukaan dalam (K)

T_{s2} = temperatur permukaan luar (K)

r_1 = jari-jari dalam silinder (m)

r_2 = jari-jari luar silinde (m)

L = Panjang silinder (m)

d_1 = diameter dalam silinder (m)

Jika kondisi di atas $T_{s1} < T_{s2}$, dimana fluida dengan temperatur lebih rendah mengalir di dalam silinder sedangkan fluida dengan temperatur lebih tinggi mengalir di luar maka persamaan di atas menjadi

$$Q_r = \frac{2\pi Lk(T_{s2} - T_{s1})}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}, \quad (2.14)$$

Dan untuk mencari temperatur dinding dalam dapat digunakan persamaan berikut

$$T_{s1} = T_{s2} - \left(\frac{Q \ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right)}{2\pi Lk} \right)$$

Dimana $Q = q \times A_{SELIMUT} = q \times \pi D_1 L$, Maka persamaan di atas dapat ditulis sebagai berikut ;

$$T_{s1} = T_{s2} - \left(\frac{q\pi D_1 L \ln \left(\frac{D_2}{D_1} \right)}{2\pi Lk} \right)$$

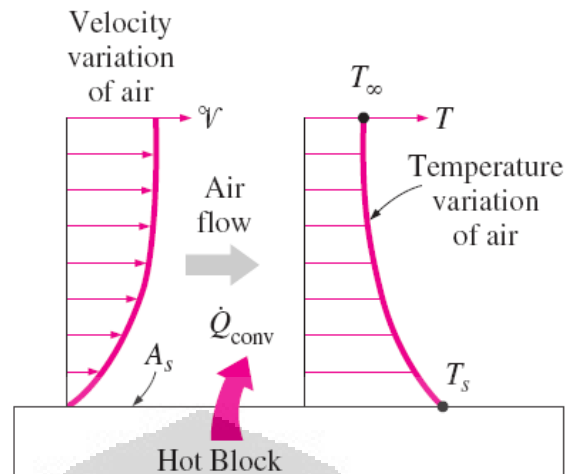
Sehingga untuk mencari besarnya Temperatur dinding dalam silinder digunakan persamaan 2.15 berikut ini ;

$$T_{s1} = T_{s2} - \left(\frac{qD_1 \ln \left(\frac{D_2}{D_1} \right)}{2k} \right) \quad (2.15)$$

2.3.2 Konveksi

Konveksi ialah perpindahan energi kalor yang terjadi antara permukaan zat padat yang berdekatan/ berbatasan dengan zat cair atau gas yang bergerak, dimana perpindahan energi kalor yang terjadi melibatkan efek kombinasi dari konduksi dan gerakan fluida. Semakin cepat pergerakan fluida, maka semakin besar perpindahan kalor secara konveksi yang terjadi.

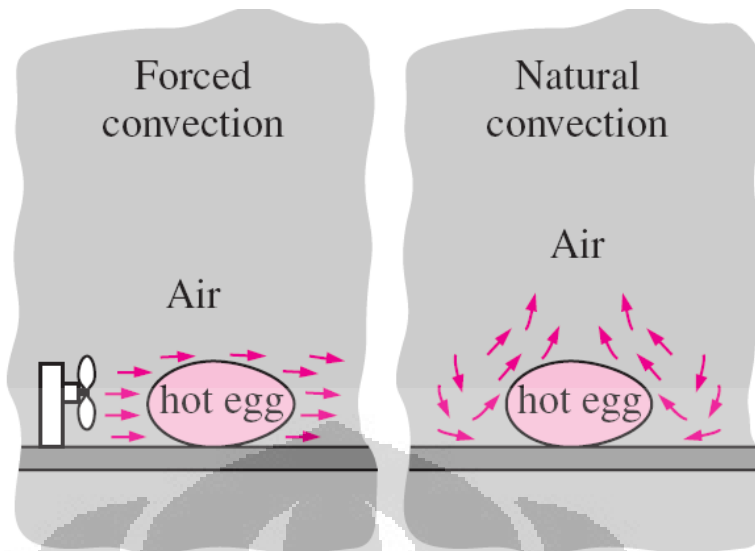
Apabila tidak ada pergerakan dari fluida maka perpindahan kalor yang terjadi ialah perpindahan kalor secara konduksi saja. Untuk lebih jelasnya mengenai perpindahan kalor secara konveksi dapat dilihat pada ilustrasi Gambar 2.17, dimana pada permukaan blok panas dihembuskan udara dingin.



Gambar 2. 17 Perpindahan Kalor Secara Konveksi Dari Blok Panas Ke Udara
(Yunus A. Cengel 2003)

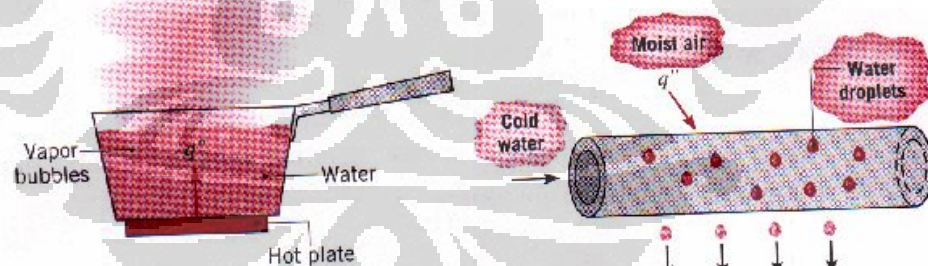
Energi pertama kali ditransfer dari blok panas ke lapisan udara secara konduksi, selanjutnya energi dibawa oleh udara menjauhi permukaan blok panas secara konveksi. Itulah yang merupakan efek kombinasi dari konduksi di dalam udara yang dikarenakan adanya gerak acak dari molekul udara dan gerakan makroskopik (lapisan) udara yang mengganti udara panas di sekitar permukaan blok panas dengan udara yang lebih dingin.

Perpindahan kalor secara konveksi disebut dengan konveksi paksa (*forced convection*) jika fluida dipaksa mengalir di suatu permukaan yang panas dengan menggunakan suatu alat eksternal baik berupa kipas (*fan*) atau pompa (*pump*). Sedangkan perpindahan kalor secara konveksi disebut dengan konveksi alami (*natural convection*) jika pergerakan fluida dikarenakan oleh adanya gaya buoyancy yang disebabkan oleh perbedaan massa jenis yang dikarenakan adanya perbedaan temperatur pada fluida tersebut, dimana fluida yang memiliki temperatur lebih tinggi akan memiliki massa jenis yang lebih kecil dibandingkan dengan fluida yang memiliki temperatur yang lebih rendah, sehingga fluida dengan temperatur yang lebih tinggi akan naik ke atas sedangkan ruang kosong yang ditinggalkan oleh fluida dengan temperatur tinggi nantinya akan ditempati oleh fluida yang mempunyai temperatur yang lebih rendah. Berikut ini pada Gambar 2.5 merupakan ilustrasi gambar dari konveksi paksa dengan konveksi alami



Gambar 2. 18 Perpindahan Kalor Dengan Konveksi Paksa Dan Konveksi Alami
(Yunus A. Cengel 2003)

Proses perpindahan kalor yang melibatkan terjadinya perubahan fasa juga dipertimbangkan sebagai konveksi karena pergerakan fluida terjadi pada proses ini, seperti naiknya gelembung uap pada proses pendidihan atau jatuhnya tetesan air (droplet) pada proses kondensasi, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.19 di bawah ini.



Gambar 2.19 Proses Pendidihan (*Boiling*) Dan Kondensasi
(Incropera 2007)

Besarnya laju perpindahan panas secara konveksi yang terjadi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini ;

$$Q = h_c A (T_w - T_\infty) = \frac{(T_w - T_\infty)}{R_{konveksi}} \quad (2.16)$$

$$q = h_c (T_w - T_\infty) \quad (2.17)$$

Dimana ; $T_w > T$

Q = laju perpindahan kalor secara konveksi (Watt)

q = *heat flux* (Watt/m²)

h_c = koefisien perpindahan kalor secara konveksi (Watt/m².K)

T_w = temperatur permukaan benda padat (dinding) (K)

T = temperatur udara sekitar (K)

A = Luas permukaan (m²)

$R_{konveksi}$ = Tahanan termal konveksi = $1 / h_c \cdot A$

L = Panjang silinder (m)

Pada perpindahan kalor yang terjadi secara konveksi temperatur fluida yang berdekatan dengan permukaan benda padat akan sama. Sedangkan koefisien laju perpindahan kalor konveksi bukanlah merupakan sifat atau karakteristik dari fluida. koefisien laju perpindahan kalor konveksi merupakan parameter yang ditentukan dengan percobaan yang besar nilainya tergantung dari semua variabel yang mempengaruhi proses konveksi seperti geometri permukaan, gerakan alami dari fluida, karakteristik dari fluida, dan kecepatan fluida. Berikut ini diberikan beberapa nilai dari koefisien perpindahan kalor konveksi untuk beberapa jenis fluida pada tabel di bawah ini.

Tabel 2. 5 Koefisien Perpindahan Kalor Konveksi Untuk Beberapa Jenis Fluida (Kharagpur 2008)

<i>Type of fluid and flow</i>	<i>Convective heat transfer coefficient (W/m²K)</i>
<i>Air, free convection</i>	6-30
<i>Water, free convection</i>	20-100
<i>Air or superheated steam, forced convection</i>	30-300
<i>Oil, forced convection</i>	60-1800
<i>Water, forced convection</i>	300-18000
<i>Synthetic refrigrants, boiling</i>	500-3000
<i>Water, boiling</i>	3000-60000
<i>Synthetic refrigrants, condensing</i>	1500-5000
<i>Steam, condensing</i>	6000-120000

Dilihat dari satuannya, koefisien perpindahan kalor konveksi dapat didefinisikan sebagai besarnya laju perpindahan kalor yang terjadi antara permukaan zat padat dengan fluida per satuan luas permukaan per satuan

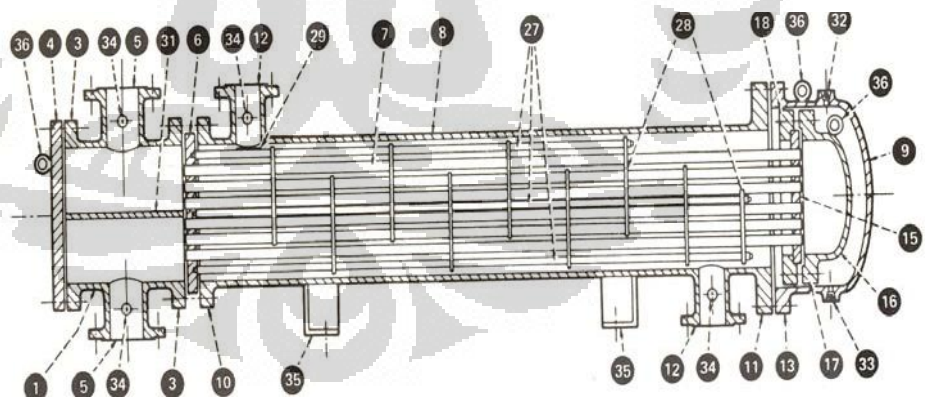
perbedaan temperatur. Penentuan besarnya koefisien perpindahan kalor konveksi dapat dihitung dengan menggunakan beberapa persamaan dimana setiap persamaan tersebut hanya cocok digunakan untuk kondisi tertentu, seperti aliran terbuka pada plat datar atau aliran di dalam pipa.

2.4 Alat Penukar Kalor

Seperti yang telah diketahui terdapat banyak sekali jenis-jenis alat penukar kalor, diantaranya adalah:

2.4.1 Jenis Shell and Tube

Jenis ini merupakan jenis yang paling banyak digunakan dalam industri. Alat ini terdiri dari sebuah *shell* (tabung/slinder besar) dimana didalamnya terdapat suatu *bundle* (berkas) pipa dengan diameter yang relative kecil. Satu jenis fluida mengalir didalam pipa-pipa sedangkan fluida lainnya mengalir dibagian luar pipa tetapi masih didalam *shell*. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2.22



Gambar. 2.20 Konstruksi Alat Penukar Kalor Jenis *Shell And Tube*

Keterangan :

1. Saluran ujung yang tetap
2. Topi ujung yang tetap
3. Saluran atau tepi ujung yang tetap

4. Tutup saluran – *chanel cover*
5. Nosel ujung stasioner – *Stationary head nozzle*
6. Pelat tube stasioner – *Stationary tubes sheet*
7. *Tube*
8. *Shell*
9. Tutup shell – *shell cover*
10. *Flens shell* pada ujung stasioner-*shell flange stationary head end*
11. *Flens shell* ujung yang dibelakang, *shell flange – Rear Head End*
12. Nossel shell – *Shell Nozzle*
13. Flens penutup shell – *shell cover flange*
14. Sambungan ekspansi – *Expansion Joint*
15. Pelat tube yang mengambang – *Floating Head Cover*
16. Tutup kepala yang mengambang - *Floating Head Cover*
17. Flens kepala yang mengambang – *Floating Head Flange*
18. Penahan kepala yang mengambang – *Floatinh Head Backing Device*
19. Cincin pemisah – *Split Shear Ring*
20. Flens penahan dengan *slip – on – slip – on backing flange*
21. Tutup kepala yang mengambang sebelah luar – *Floating Head Cover*
22. Pelat tutup yang mengambang yang menyusur – *Floating Tube Sheet Skirt*
23. Flens packing – *Packing box flange*
24. *Packing*
25. Cincin penekan packing – *Packing follower ring*
26. Cincin latern – *Latern Ring*
27. Batang pengikat dan spasi – *Tie Rod and Spacer*

28. Pelat penahan atau sekat transverse – *Transverse Baffles or Support Plate*
29. Sekat yang disentuh langsung – *Impingement Baffles*
30. Sekat yang longitudinal – *Longitudinal Baffles*
31. Pemisah aliran pass – *Pass Partition*
32. Sambungan untuk venting – *Vent Connection*
33. Sambungan untuk buangan – *Drain Connection*
34. Sambungan untuk instrument – *Instrument Connection*
35. Penahan bejana kepondasi/sadel – *Support Saddle*
36. Tahanan untuk mengangkat – *Lifting Lug*
37. Penahan gantungan – *Support Bracket*
38. *Weir*
39. Saluran untuk cairan – *Liquid Level Connection*

2.4.2 Jenis *Double Pipe* (Pipa Ganda)

Pada jenis ini tiap pipa atau beberapa pipa mempunyai shell sendiri-sendiri. Untuk menghindari tempat yang terlalu panjang, heat exchanger ini dibentuk menjadi U (lihat gambar 2.23). Pada keperluan khusus, untuk meningkatkan kemampuan memindahkan panas, bagian diluar pipa diberi sirip. Bentuk siripnya ada yang memanjang, melingkar dan sebagainya.

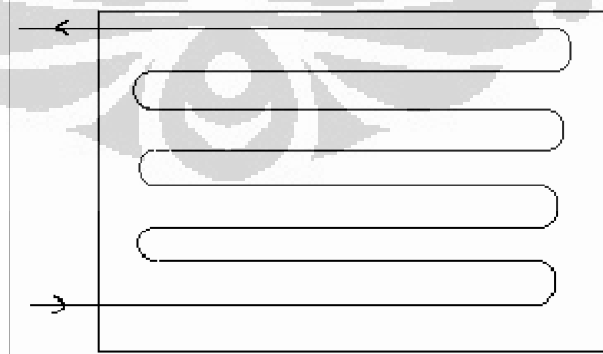
Keistimewaan jenis ini adalah mampu beroperasi pada tekanan yang tinggi, dan karena tidak ada sambungan, resiko tercampurnya kedua fluida sangat kecil. Kelemahannya terletak pada kapasitas perpindahan panasnya sangat kecil.



Gambar. 2.21 Alat Penukar Kalor Jenis *Double Pipe*

2.4.3 Koil Pipa

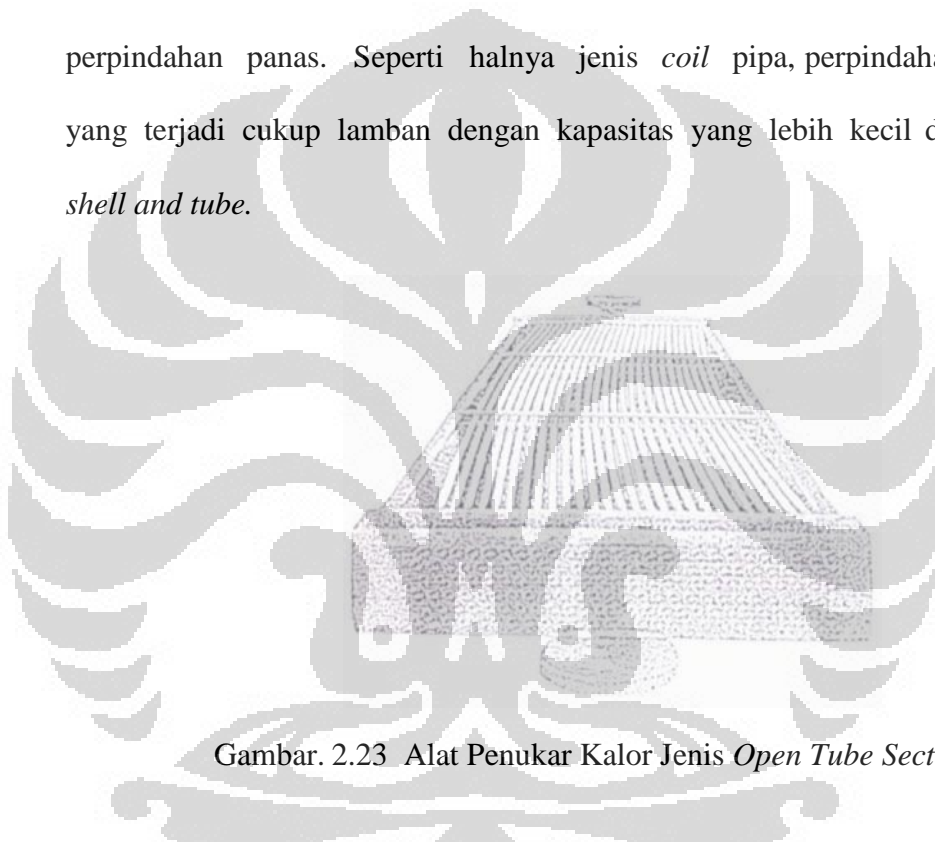
Heat Exchanger ini mempunyai pipa berbentuk koil yang ditenamkan didalam sebuah *box* berisi air dingin yang mengalir atau yang disemprotkan untuk mendinginkan fluida panas yang mengalir di dalam pipa. Jenis ini disebut juga sebagai *box cooler* (gambar 2.24) jenis ini biasanya digunakan untuk pemindahan kalor yang *relative* kecil dan fluida yang didalam *shell* yang akan diproses lanjut.



Gambar 2.22 Pipa *Coil Heat Exchanger*

2.4.4 Jenis Pipa Terbuka (*Open Tube Section*)

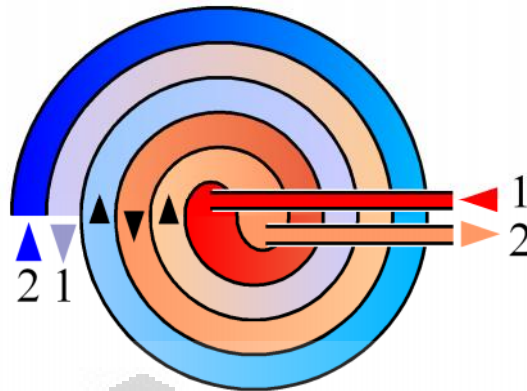
Pada *heat exchanger* ini pipa-pipa tidak ditempatkan lagi didalam *shell*, tetapi dibiarkan di udara. Prndingin dilakukan dengan mengalirkan air atau udara pada bagian pipa. Berkas pipa itu biasanya cukup panjang. Untuk pendinginan dengan udara biasanya bagian luar pipa diberi sirip-sirip untuk memperluas permukaan perpindahan panas. Seperti halnya jenis *coil* pipa, perpindahan panas yang terjadi cukup lamban dengan kapasitas yang lebih kecil dari jenis *shell and tube*.



Gambar. 2.23 Alat Penukar Kalor Jenis *Open Tube Section*

Di samping jenis-jenis di atas, masih terdapat jenis-jenis lain yang dijumpai di industri, antara lain :

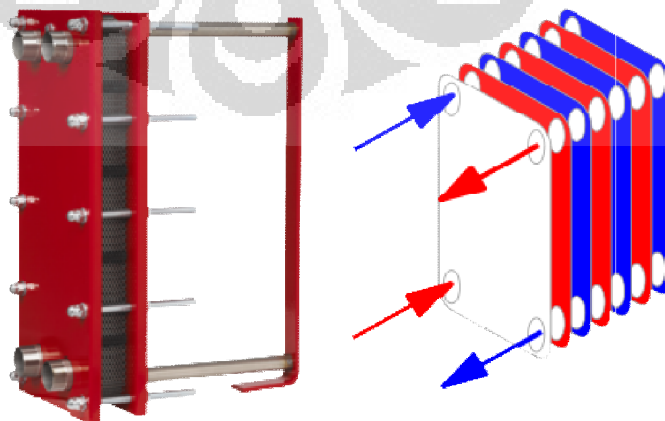
- jenis spiral, mempunyai bidang perpindahan panas yang melingkar. Karena alirannya yang melingkar maka system ini dapat “*Self Cleaning*” dan mempunyai efisiensi perpindahan panas yang baik. Akan tetapi konstruksi seperti ini tidak dapat dioperasikan pada tekanan tinggi.



Gambar 2.24 *Spiral Heat Exchanger*

- jenis lamella, biasanya digunakan untuk memindahkan panas dari gas ke gas pada tekanan rendah. Jenis ini memiliki koefisien perpindahan panas yang baik/tinggi.

- *Gasketter plate exchanger*, mempunyai bidang perpindahan panas yang terbentuk dari lembaran pelat yang dibuat beralur. Lajuan fluida (biasanya untuk cairan) terdapat diantara lembaran pelat yang dipisahkan gasket yang dirancang khusus sehingga dapat memisahkan aliran dari kedua cairan. Perawatannya mudah dan mempunyai efisiensi perpindahan panas yang baik.



Gambar. 2.25 *Plate Heat Exchanger*

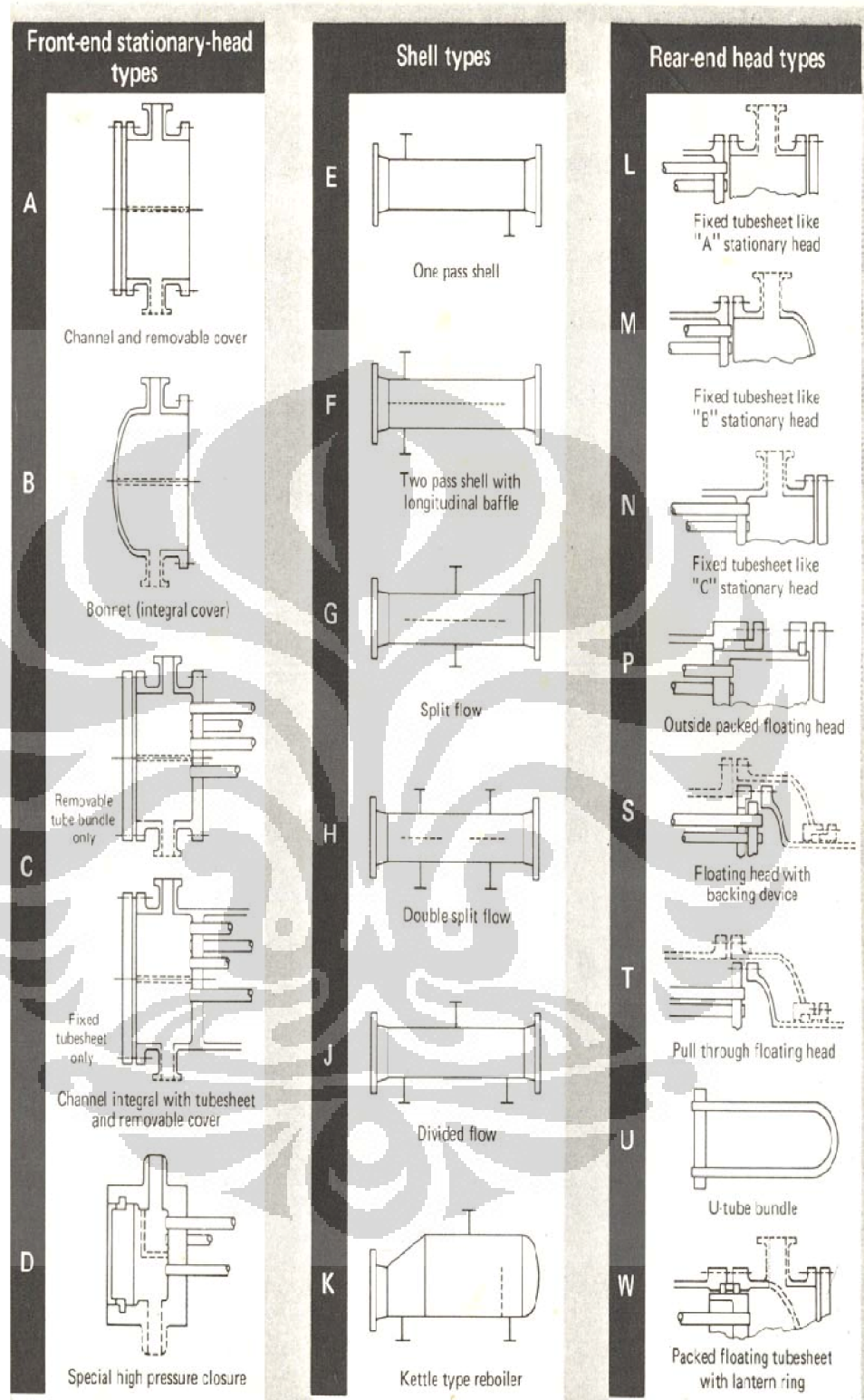
Pada umumnya *heat exchanger* dibuat dengan pemesanan, karena harus sesuai dengan kebutuhannya. Baik ukuran maupun bentuk dapat bermacam-macam, sesuai dengan keperluan masing-masing.

2.4.5 Komponen-komponen *Heat Exchanger*.

Dalam penguraian komponen-komponen *heat exchanger* jenis *shell and tube* akan dibahas beberapa komponen yang sangat berpengaruh pada konstruksi *heat exchanger*. Untuk lebih jelasnya disini akan dibahas beberapa komponen dari *heat exchanger* jenis *shell and tube*.

2.4.5.1 *Shell*

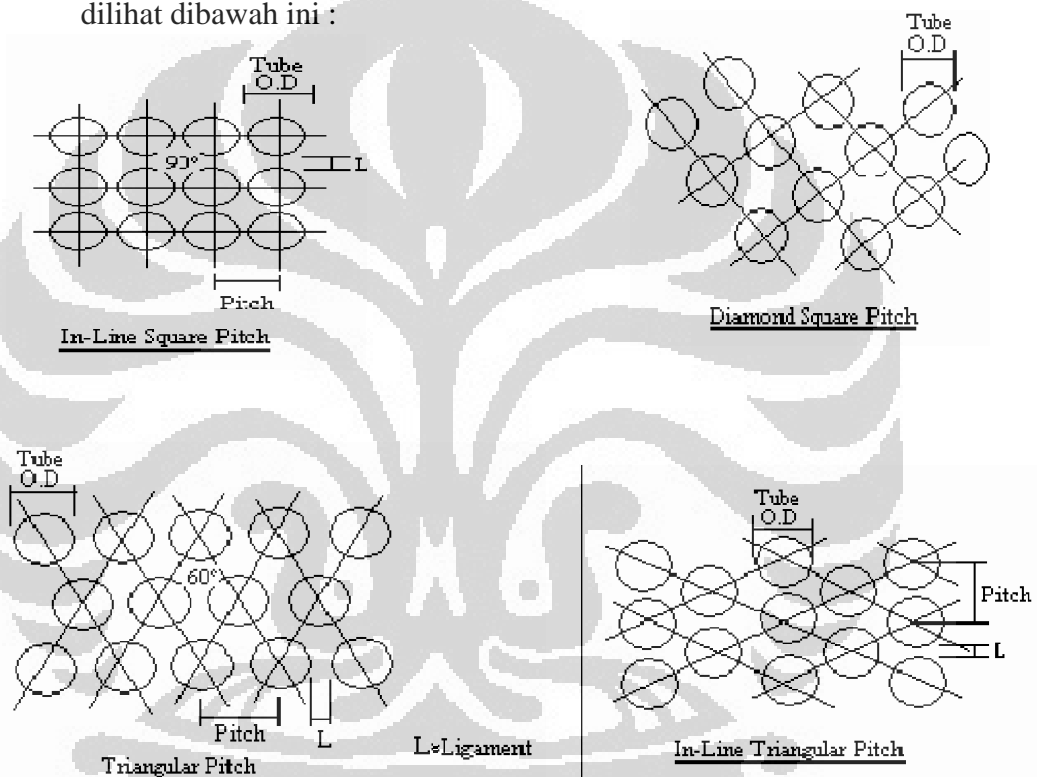
Konstruksi *shell* sangat ditentukan oleh keadaan *tubes* yang akan ditempatkan didalamnya. *Shell* ini dapat dibuat dari pipa yang berukuran besar atau pelat logam yang dirol. *Shell* merupakan badan dari *heat exchanger*, dimana didapat *tube bundle*. Untuk temperatur yang sangat tinggi kadang-kadang *shell* dibagi dua disambungkan dengan sambungan ekspansi. Bentuk-bentuk *shell* yang lazim digunakan ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar. 2. 26 Bentuk-bentuk Shell Dan Penutupnya.

2.4.5.2 Tube (pipa)

Tube atau pipa merupakan bidang pemisah antara kedua jenis fluida yang mengalir didalamnya dan sekaligus sebagai bidang perpindahan panas. Ketebalan dan bahan pipa harus dipilih pada tekanan operasi fluida kerjanya. Selain itu bahan pipa tidak mudah terkorosi oleh fluida kerja. Adapun beberapa tipe susunan *tube* dapat dilihat dibawah ini :



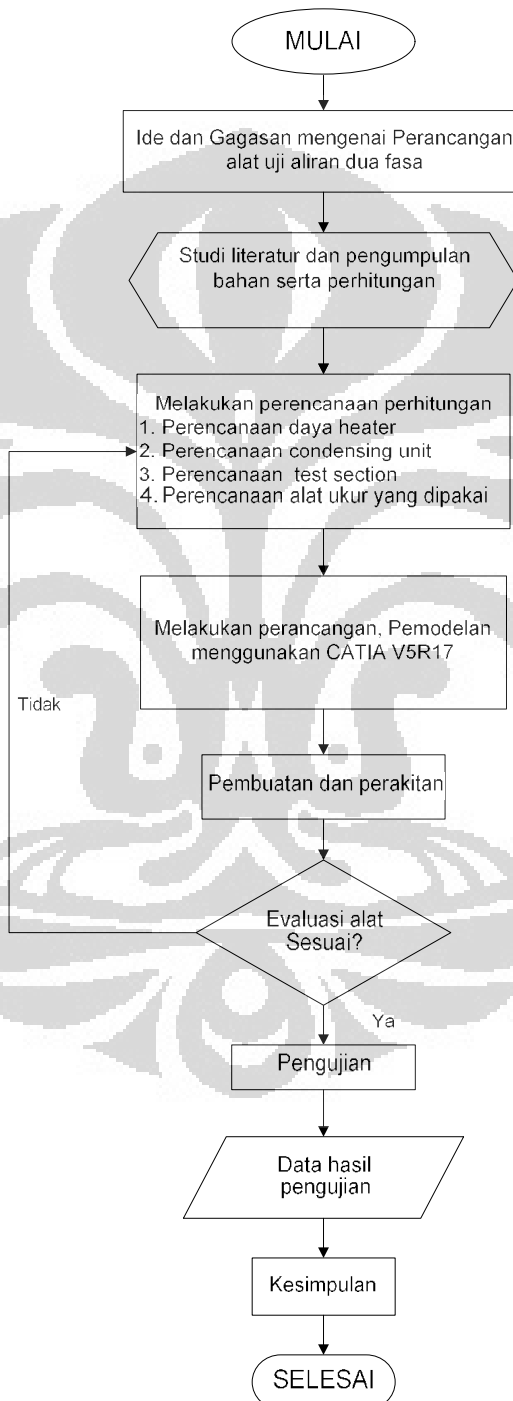
Gambar 2.27 Tipe Susunan *Tube*.

Susunan dari *tube* ini dibuat berdasarkan pertimbangan untuk mendapatkan jumlah pipa yang banyak atau untuk kemudahan perawatan (pembersihan permukaan pipa).

BAB 3 METODOLOGI PENYELESAIAN

3.1 Metodologi

3.1.1 Flow Chart



Gambar 3.1 Flow Chart

3.1.2 Metodologi Penyelesaian Masalah

Metodologi penyelesaian masalah yang akan digunakan dalam pengerjaan Perancangan alat dan tahapan pengerjaannya, meliputi :

1. *Studi literature*

Studi literature merupakan proses pengumpulan informasi baik dari buku, jurnal maupun internet.

2. Observasi yaitu dengan mengamati dan mengumpulkan data dan informasi secara langsung yang berkaitan dengan masalah yang dibahas.
3. Berdiskusi dengan dosen pembimbing mengenai proses perancangan alat yang akan dibuat.
4. Proses pembuatan meliputi pemilihan alat dan bahan serta perhitungan *part* yang akan dipakai dan perakitan bagian-bagian tersebut menjadi satu kesatuan unit.
5. Pengujian, setelah perakitan selesai maka hasilnya akan diuji dengan simulasi. Pengujian dilakukan sesuai dengan parameter-parameter yang ditentukan, seperti pemberian daya heater serta tekanan yang diatur pada test section.
6. Analisa dan perbaikan, setelah pengujian selesai, dan terdapat kesalahan yang terjadi pada alat dan menyimpang dari tujuan yang diinginkan. Hal ini memerlukan analisa sebab akibat kesalahan tersebut dan mengharuskan perhitungan ulang dengan kondisi yang berbeda. Kemudian dilakukan pengujian ulang untuk mengetahui perbaikan tersebut menjadikannya lebih baik.
7. Pembuatan laporan.

3.2 Perancangan

3.2.1 Tujuan Perancangan

Dalam pembuatan alat ini diperlukan perencanaan yang benar-benar terencana dengan baik, dimana salah satunya adalah mengetahui tujuan dari perancangan alat uji aliran dua fasa ini. Adapun tujuan perancangan ini adalah :

1. Memperoleh gambaran yang lebih jelas sebelum melangkah pada pembuatan alat.
2. Memperkecil kesalahan-kesalahan yang terjadi pada proses pembuatan sehingga tujuan dapat tercapai sesuai dengan perancangan.
3. Merencanakan suatu desain alat uji aliran dua fasa sesuai gambar dan *part* yang dipakai sesuai dengan perhitungan.
4. Menginstalasi alat uji.

3.2.2 Langkah Perancangan

1. Melakukan persiapan yang menyangkut pertimbangan dalam hal pengoperasian alat uji.
2. Menggambar layout dengan menggunakan *software* sebagai pembantu.
3. Proses produksi dari gambar dan perhitungan yang telah dilakukan.
4. Melakukan uji coba dan menganalisa terhadap kinerja alat uji yang telah dibuat.

3.3 Perencanaan Alat Uji

Dalam merancang alat uji aliran dua fasa ada beberapa hal yang harus diperhatikan, agar pada saat alat uji dijalankan tidak ada hambatan dari segi konstruksinya. Beberapa hal yang harus dipertimbangkan dalam hal merancang alat uji ini, diantaranya adalah:

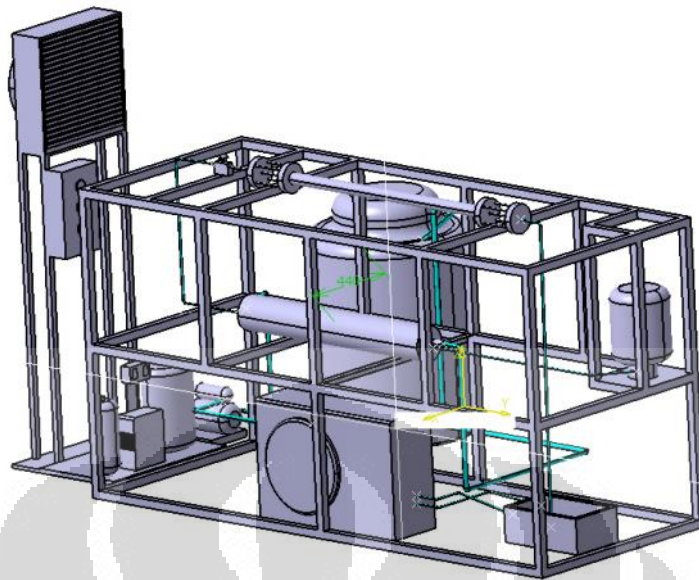
3.3.1 Penempatan Komponen Alat Uji

Proses perencanaan penempatan komponen alat uji ini tidak terlepas dari ketersediaan tempat di Laboratorium Pendingin lantai 3 DTM FT UI ini sendiri. Alat ini ditempatkan di pojok kanan karena tempat yang tersedia hanya disitu. Dengan berbagai pertimbangan, alat yang dibuat berdimensi besar sekitar 2.5 m x 1.5 m. Dari semua itu tentu saja mempengaruhi juga pada penempatan *part* yang akan menunjang alat uji ini.

Pada alat uji aliran dua fasa ini, tabung berada pada susunan pertama, tabung ditempatkan sejajar dengan *Tube in tube Heat Exchanger*, dengan harapan aliran refrigerant nanti akan mengalir tanpa adanya hambatan hambatan yang berarti seperti misalnya adanya belokan-belokan. *Condensing unit* 3PK ditempatkan dekat jendela dikarenakan agar sirkulasi udara yang terjadi lancar sehingga mempermudah penempatan kondenser. *Test section* ditempatkan di atas, tujuannya adalah untuk mempermudah pengamatan, serta mempermudah pemasangan termokopel yang nantinya akan dipasang pada *test section*. *Cool box* sebagai tempat *receiver tank*, ditempatkan di bawah, tujuannya untuk mempermudah penempatan timbangan digital, serta mempermudah pengamatan pada saat alat uji dijalankan.

3.3.2 Gambar Sket Rancangan Dan Bagian Utama Alat Uji

Perancangan alat uji ini dimulai dengan gambar sket rancangan yang diharapkan dapat memberikan fungsi utama sesuai dengan yang diharapkan. Selanjutnya bentuk dan dimensi sebenarnya ditentukan berdasarkan perhitungan-perhitungan dan pertimbangan-pertimbangan lain. Berikut adalah Gambar 3.2 desain dari Alat uji yang akan dibangun, desain ini dirancang dengan menggunakan software Catia V5R17.



Gambar 3.2 Desain Alat Uji, Digambar Dengan *Software* Catia V5R17

Adapun bagian-bagian utama dari alat uji aliran dua fasa dengan kanal mini horizontal ini adalah sebagai berikut:

3.3.2.1 *Electric Heater*

1. *Electric Heater Pada Tabung Refrigerant*

Berfungsi untuk menaikkan *temperature* tabung, sehingga tekanan di dalam tabung akan naik. Kenaikan tekanan tersebut dimanfaatkan supaya aliran tetap berjalan lancar kendati refrigerant yang ada di dalam tabung tersebut semakin berkurang.

Tabel 3.1 Spesifikasi *Heater* Pada Tabung

Spesifikasi <i>Belt Heater</i>	
Merk <i>heater</i>	Shangda
Maks <i>Temperature</i>	125 °C



Gambar 3.3 Heater yang dipasang pada tabung *refrigerant*.

2. *Electric Heater Pada Test Section (Variable Transformer)*

Variable Transformer digunakan untuk memberikan heat fluks pada *test section*. Kenaikan heat fluks nya bisa diatur dengan suatu panel control yang ada pada variable heater tersebut. Variable heater ini di sambungkan ke heater yang terbuat dari nikelin atau kawat baja yang terpasang pada permukaan selimut pipa *test section*.

Tabel 3.2 Spesifikasi *Heater Pada Test Section*

Spesifikasi <i>Heater</i>	
<i>Volt</i>	0 - 220 V
Maks <i>Amphere</i>	5 A



Gambar 3.4 Variable Heater Untuk Test Section

3.3.2.2 Pipa Koneksi

Pipa koneksi berfungsi untuk menghubungkan antar komponen di dalam system. Seluruh pipa koneksi dilapisi insulator untuk mengurangi terjadinya pelepasan kalor ke lingkungan yang tidak diharapkan.



Gambar 3.5 Pipa Tembaga (*Copper*)

3.3.2.3 Refrigerant R-22

Pada penelitian ini, refrigeran yang digunakan adalah R-22. Dimana R-22 adalah *refrigerant* yang banyak digunakan oleh masyarakat sekarang ini. Dimana R-22 memiliki karakteristik seperti berikut :

Tabel 3.3 Karakteristik R-22

Property	Value
Density (ρ) at -69 °C (liquid)	1.49 g.cm ⁻³
Density (ρ) at -41 °C (liquid)	1.413 g.cm ⁻³
Density (ρ) at -41 °C (gas)	4.706 kg.m ⁻³
Density (ρ) at 15 °C (gas)	3.66 kg.m ⁻³
Specific gravity at 21 °C (gas)	3.08 (air = 1)
Specific volume (v) at 21 °C (gas)	0.275 m ³ .kg ⁻¹
Density (ρ) at 15 °C (gas)	3.66 kg.m ⁻³
Triple point temperature (T_t)	-157.39 °C (115.76 K)
Critical temperature (T_c)	96.2 °C (369.3 K)
Critical pressure (p_c)	4.936 MPa (49.36 bar)
Critical density (ρ_c)	6.1 mol.l ⁻¹
Latent heat of vaporization (l_v) at boiling point (-40.7 °C)	233.95 kJ.kg ⁻¹
Heat capacity at constant pressure (C_p) at 30 °C (86 °F)	0.057 kJ.mol ⁻¹ .K ⁻¹
Heat capacity at constant volume (C_v) at 30 °C (86 °F)	0.048 kJ.mol ⁻¹ .K ⁻¹
Heat capacity ratio (γ) at 30 °C (86 °F)	1.178253
Compressibility factor (Z) at 15 °C	0.9831
Acentric factor (ω)	0.22082
Dipole moment ^[disambiguation needed]	1.458 D
Viscosity (η) at 0 °C	12.56 μ Pa.s (0.1256 cP)
Ozone depletion potential (ODP)	0.055 (CCl ₃ F = 1)
Global warming potential (GWP)	1810 (CO ₂ = 1)

(Wikipedia, 2011)

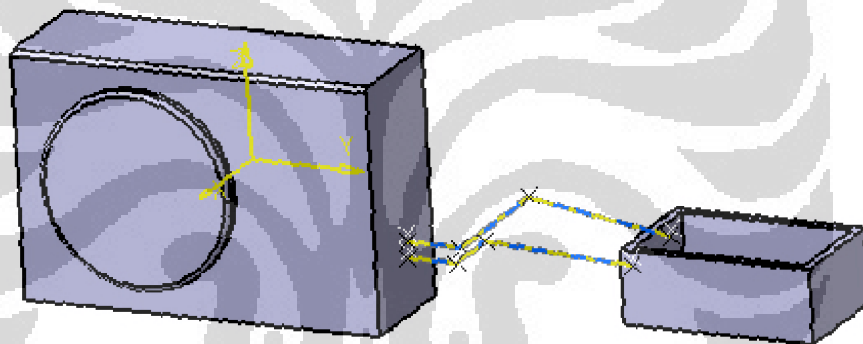
3.3.2.4 Perangkat Alat Penukar Kalor

Perangkat alat penukar kalor ini rencananya terdiri dari dua jenis, yaitu:

1. *Condensing unit IPK*, dipasang pada *cool box receiver*. Tujuannya adalah untuk menurunkan tekanan yang ada di *receiver tank* dengan harapan fluida yang masuk ke *receiver* menjadi lebih lancar, karena di dasarnya fluida mengalir dari tekanan tinggi ke tekanan rendah. Dan dengan menurunkan temperature secara beriringan tekanan juga akan menurun.

Tabel 3.4 Spesifikasi *Condensing Unit* 1PK

Spesifikasi <i>condensing unit</i> 1PK	
Merk/Type	Changhong/KF-26GW/WS
<i>Power input</i>	8600 W
<i>Rated Current (Cooling)</i>	4.0 A
<i>Comp Locked Current</i>	25 A
<i>Pressure</i>	Hi : 2,2 MPa Low : 1,0 MPa
<i>Refrigerant</i>	R22
<i>Net Weight</i>	34 Kg


Gambar 3.6 *Condensing Unit* 1PK

2. *Condensing unit* 3PK, *Condensing unit* merupakan gabungan antara kompresor dan kondenser dalam satu kedudukan. Dengan tipe kompresor yang digunakan adalah hermetic serta 1 buah kondenser fan serta sebuah liquid receiver. yang dipasang pada posisi sebelum *test section*. Tujuannya adalah untuk mengubah fasa refrigeran dari gas menjadi liquid kembali sebelum refrigeran masuk ke *test section* dengan bantuan *Shell and Coil*.

2.1 Pompa fluida

Pompa ini berfungsi untuk mengalirkan fluida dari toren ke *brazed plate heat exchanger*, yang kemudian dialirkan ke *Tube in tube Heat Exchanger*.

Tabel 3.5 Spesifikasi Pompa


Spesifikasi Pompa	
Merk/Model	WASSER/PW-139EA
<i>Power Source</i>	220 V/50Hz
<i>Output</i>	125 W
<i>Suction Lift</i>	9 m
<i>Total Head Maks</i>	40 m
<i>Capacity Maks</i>	35 ltr/min
Gambar	 <p>Gambar 3.7 Pompa Wasser</p>

2.2 Plate Heat Exchanger (PHE)

Berfungsi sebagai sistem pendingin pada *condensing unit* 3Pk. PHE ini berfungsi mendinginkan glikol yang mengalir pada sistem PHE itu sendiri. Yang kemudian glikol tersebut dialirkan ke dalam *Shell and Coil*.

Tabel 3.6 Spesifikasi Plate Heat Exchanger

Spesifikasi Plate Heat Exchanger	
Merk/Model	Kaori/K105*20B
<i>Maks Working</i>	200°C

<i>Temperature</i>	
<i>Maks Working Pressure</i>	30 bar
<i>Test pressure</i>	43 bar
Gambar	 <p>Gambar 3.8 <i>Plate Heat Exchanger</i></p>

2.3 High Low Pressure (HLP)

Merupakan suatu alat untuk mengontrol tekanan *discharge* dari kompresor agar tidak terlampaui besar. Alat ini berguna sebagai sistem pengaman agar tidak terjadi *breakdown* pada sistem akibat *overload* dari kompresor.



Gambar 3.9 Pressure Control

2.4 Toren

Berfungsi sebagai penyimpan *refrigerant* Glikol yang nantinya akan di pompa ke PHE dan diteruskan ke *Tube in tube Heat Exchanger* untuk mendinginkan *refrigerant* yang ada pada pipa tembaga. Toren yang digunakan mempunyai kapasitas maksimum sampai 300 lt.



Gambar 3.10 Toren Tempat Menyimpan Fluida Cair Glikol

2.5 Ethylene Glicol

Berfungsi menurunkan titik beku air. Dimana apabila air biasa titik bekunya adalah 0 °C, dan apabila sudah dicampur dengan *glycol* maka titik bekunya akan turun tergantung berapa *percent* campuran yang dimasukan ke dalam air tersebut.

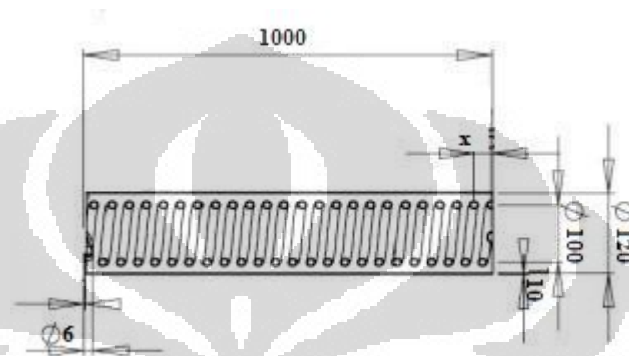
Dibawah ini *table* campuran glycol pada air.

Tabel 3.7 Titik Beku Air Dan Campuran Glikol

Weight Percent EG (%)	Freezing Point (deg F)	Freezing Point (deg C)
0	32	0
10	25	-4
20	20	-7
30	5	-15
40	-10	-23
50	-30	-34
60	-55	-48
70	-60	-51
80	-50	-45
90	-20	-29
100	10	-12

2.6 Tube in tube Heat Exchanger

Dipasang pada pipa sebelum *test section*, tujuannya adalah untuk menurunkan temperatur serta tekanan dan merubah fasa dari fasa gas menjadi fasa liquid sebelum memasuki *test section*. Tube in tube Heat Exchanger didukung oleh condensing unit 3 pk sebagai pendinginnya. Gambar dibawah merupakan dimensi dari tube in tube heat exchanger.



Gambar 3.11 Tube in tube Heat Exchanger

3.3.2.5 Valve

1. Needle Valve

Dipasang sebelum *test section*, bertujuan untuk mengatur masuknya *refrigerant* ke *test section*. Diusahakan *Needle valve* mampu mengatur masuknya *refrigerant* sampai berkembang penuh, artinya pada *sight glass* yang terlihat hanya *refrigerant* cair yang mengalir, tidak ada udara.



Gambar 3.12 Needle Valve

2. Check Valve

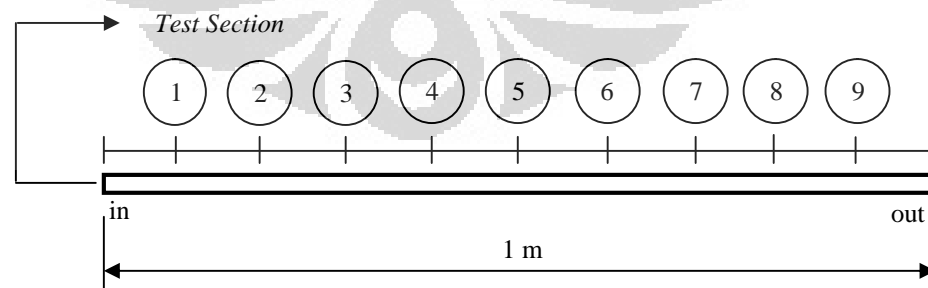
Check Valve dipasang diantara *test section* dan *receiver tank*. Itu dimaksudkan agar setelah *refrigerant* melewati *test section* dan akan masuk ke *receiver tank*, terlebih dahulu melewati *check valve*. Sehingga pada saat *receiver tank* penuh, *refrigerant* yang ada dalam *receiver tank* tidak kembali ke *test section* karena ada *check valve*.



Gambar 3.13 Check Valve

3.3.2.6 Test Section

Test section merupakan pipa stainless steel 316 sepanjang 1 meter dengan diameter dalam sebesar 3 mm, dan diameter luar sebesar 5 mm. Selanjutnya *test section* ini akan dibagi menjadi sepuluh bagian dengan interval 0.1 meter, sehingga terdapat 9 titik pengambilan data seperti ditunjukkan pada Gambar 3.16.



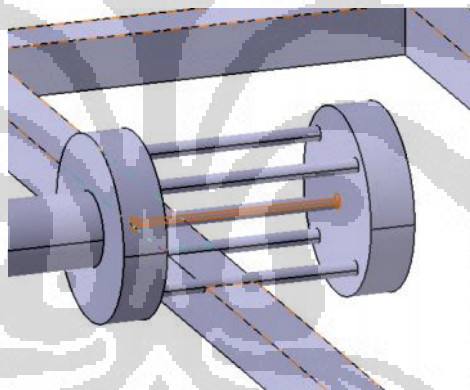
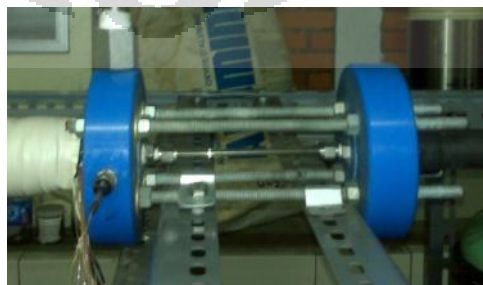
Gambar 3.14 *Test Section* Dan Pembagian 9 Titik Pengambilan Data



Gambar 3.15 Test Section

3.3.2.7 Sight Glass

Alat yang terletak sebelum dan sesudah *test section* ini berfungsi untuk melihat apakah terjadi perubahan fasa atau tidak. Terjadinya perubahan fasa ditandai dengan terlihat berkurangnya fluida cair pada *sight glass* apabila dibandingkan antara *sight glass* sebelum *test section* dan *sight glass* setelah *test section*.

Gambar 3.16 Gambar Sket *Sight Glass*

Gambar 3.17 Gambar Sight Glass

3.3.2.8 Pressure Gauge

Pressure Gauge berfungsi untuk melihat tekanan pada sisi inlet dan pada sisi outlet dari test section.

Tabel 3.8 Spesifikasi *Pressure Gauge*

Spesifikasi <i>Pressure Gauge</i>	
<i>Range</i>	<i>High Pressure</i> : 0 – 10 bar
	<i>Low Pressure</i> : 0 - bar



Gambar 3.18 *Pressure Gauge*

3.3.2.9 Receiver Tank

Refrigerant yang di alirkan pada sistem akan di ukur *mass flow* nya, maka dibutuhkan *receiver tank* untuk menampung dan kemudian ditimbang. *Receiver tank* mempunyai batas kapasitas yang berbeda-beda, Dalam sistem ini digunakan *Receiver tank* dengan kapasitas sampai 1.2 kg.

Tabel 3.9 Spesifikasi *Receiver Tank*

Spesifikasi <i>Receiver Tank</i>	
Merk/Tipe	Air Mender/CR-101-2
<i>Working Pressure</i>	3. R12 4. R22 5. R134a 6. R404a 7. R502 8. R507
<i>Maksimum Capacity</i>	1,2 Kg



Gambar 3.19 Receiver Tank

3.3.2.10 Cool Box

Cool box digunakan sebagai tempat menyimpan *receiver tank*, temperatur di dalam *cool box* di usahakan lebih dingin dibanding temperatur lingkungan. Itu dimaksudkan agar tekanan dan *temperature* di dalam *receiver tank* menurun. *Coolbox* di dinginkan oleh *condensing unit* 1PK.



Gambar 3.20 Cool Box

3.3.2.11 Timbangan Digital

Salah satu komponen penting di dalam sistem ini adalah timbangan digital. Itu disebabkan karena timbangan digital ini digunakan untuk melihat pertambahan masa persatuan waktu yang terjadi di dalam alat uji. Timbangan digital ini mempunyai masa maksimum sebesar 6 Kg. Jadi dianggap mampu menghitung berat *receiver tank* yang hanya mempunyai kapasitas maksimum 1.2 Kg. Timbangan elektrik ini diposisikan di bawah *coolbox* dan *receiver tank*, agar pada saat sistem berjalan, masa dari *receiver tank* dapat terus di amati.



Gambar 3.21 Posisi Timbangan Digital Pada Alat Uji

3.3.2.12 *Isolator*

Fungsi dari isolasi adalah untuk membatasi serapan kalor supaya hanya terjadi pada sistem itu sendiri dan tidak menyebar ke udara sekitar. Sekaligus juga untuk mencegah masuknya kalor dari luar sistem. Maka dari itu isolasi harus mempunyai sifat *isolator* yang bagus/daya hantar kalor yang sangat rendah (daya hantar kalor yang sangat rendah karena berfungsi sebagai pembatas utama antara sistem dengan lingkungan), mudah dibentuk sesuai keinginan, dan *elastic* (supaya dapat mengisi rongga yang muncul akibat kurang rataanya permukaan komponen-komponen yang ada. Seperti penutup, sambungan, dan lain-lain).

3.3.2.13 **Komputer**

Komputer merupakan alat penunjang dalam pengujian alat uji ini. Komputer digunakan sebagai alat penerima *signal* dari data akuisisi dan penyimpan data pengujian. Komputer yang digunakan mempunyai *port* USB dan terinstal perangkat lunak konversi tegangan dan *amphere* (Labview 8.5).

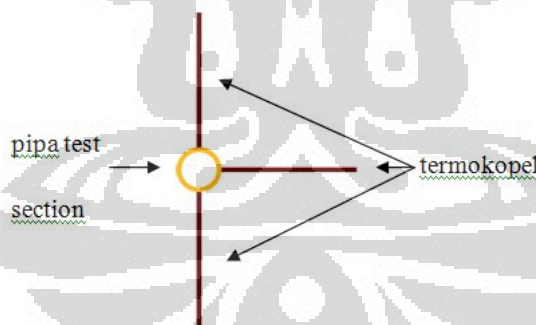
Tabel 3.10 Spesifikasi Komputer

Spesifikasi Komputer	
Model	Intel Pentium 4 Dual Core CPU E5400 2,7 GHz
Tipe	2 GB of RAM
Jenis	Microsoft XP service pack 3
Output	4 port USB
Software	NI dan Labview 8.5

3.3.2.14 Thermocouple Dan Data Aquisisi

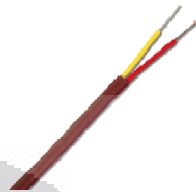
- **Thermocouple**

Untuk penelitian ini, digunakan termokopel tipe K berjumlah 27 *unit*. Tiap tiga *unit* termokopel ditempatkan pada *test section* pada posisi 10 ~ 90 cm dari awal pipa dengan interval 10 cm dan dengan peletakan seperti pada gambar berikut :

Gambar 3.22 Peletakan *Thermocouple* Pada *Test Section*

Tiap termokopel disambungkan ke data akuisisi dari *National Instrument* dan data akan di catat di komputer melalui program LabView.

Tabel 3.11 Spesifikasi *Thermocouple*

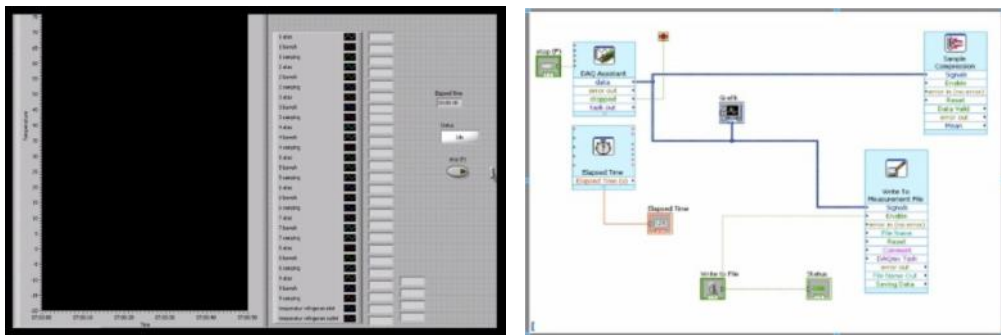
Spesifikasi <i>Thermocouple</i>	
Tipe	K
Range	-180 s/d 1100 °C
Akurasi	± 1 °C
Gambar	 <p>Gambar 3.23 <i>Thermocouple</i></p>



Gambar 3.24 Pemasangan *Thermocouple* serta *Heater* pada *Test Section* sebelum *Test Section* dibungkus *isolator*

- ***Data Aquisisi (DAQ)***

Data aquisisi (DAQ) yang digunakan untuk pembacaan perbedaan tegangan pada termokopel tipe K adalah *DAQ National Instrument*. Dimana *DAQ* ini terhubung dengan komputer melalui *port* USB. Tampilan digital dari beda tegangan pada termokopel dapat terlihat pada layar monitor komputer dengan menggunakan *software* LABVIEW yang telah di *setting* baik nama maupun *slot* yang terpakainya.



Gambar 3.25 Tampilan *Front Panel* Dan *Block Diagram* Labview

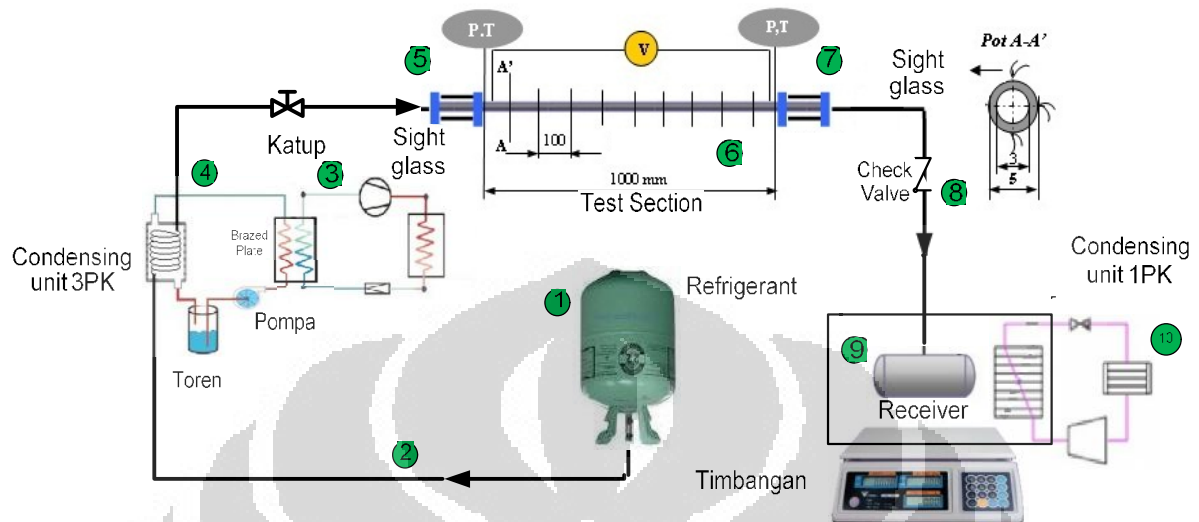
Pada gambar diatas, merupakan tampilan dari perangkat lunak labview. *Front panel* merupakan *menu* pada labview yang berfungsi menampilkan informasi yang diterima dari data akuisisi. Informasi yang di dapatkan dapat berupa grafik ataupun informasi *numeric* dari sistem alat uji aliran dua fasa yang dibuat diagram alirnya pada *block diagram*.

Tabel 3.12 Spesifikasi *National Instrument*

Spesifikasi National Instrument	
Model	9174
Tipe	4 panel
Dimensi	Panjang : 9 cm Lebar : 3 cm Tinggi : 7 cm
Gambar	<p>Gambar 3.26 <i>National Instrument</i></p>

3.4 Instalasi Alat Uji

3.4.1 Skematik Alat Uji



Gambar 3.27 Skematik Alat Uji

Proses yang terjadi pada setiap titik adalah sebagai berikut :

- Titik 1 :
Tabung *refrigerant* di panaskan, sehingga terjadi kenaikan *temperature* pada dinding tabung. Dan panasnya dinding tabung tersebut menyebabkan menguapnya *refrigerant* yang ada di dalamnya. Maka tekanan di dalam tabung akan naik sehingga *refrigerant* akan keluar dari tabung dengan *pressure* yang tetap walaupun *refrigerant* mengalami pengurangan terus menerus akibat di alirkan.
- Titik 2 :
Refrigerant yang keluar dari tabung di teruskan dengan menggunakan pipa tembaga, pipa tembaga tersebut dibungkus oleh isolator dan di teruskan ke *Tube in tube Heat Exchanger*.
- Titik 3 :
Condensing unit 3PK berfungsi mendinginkan fluida yang mengalir pada *Tube in tube Heat Exchanger*. Sehingga apabila ada fluida ataupun gas yang mengalir pada *Tube in tube Heat Exchanger*, akan terjadi perpindahan kalor. Dari fluida yang mengalir ke dalam *Tube in*

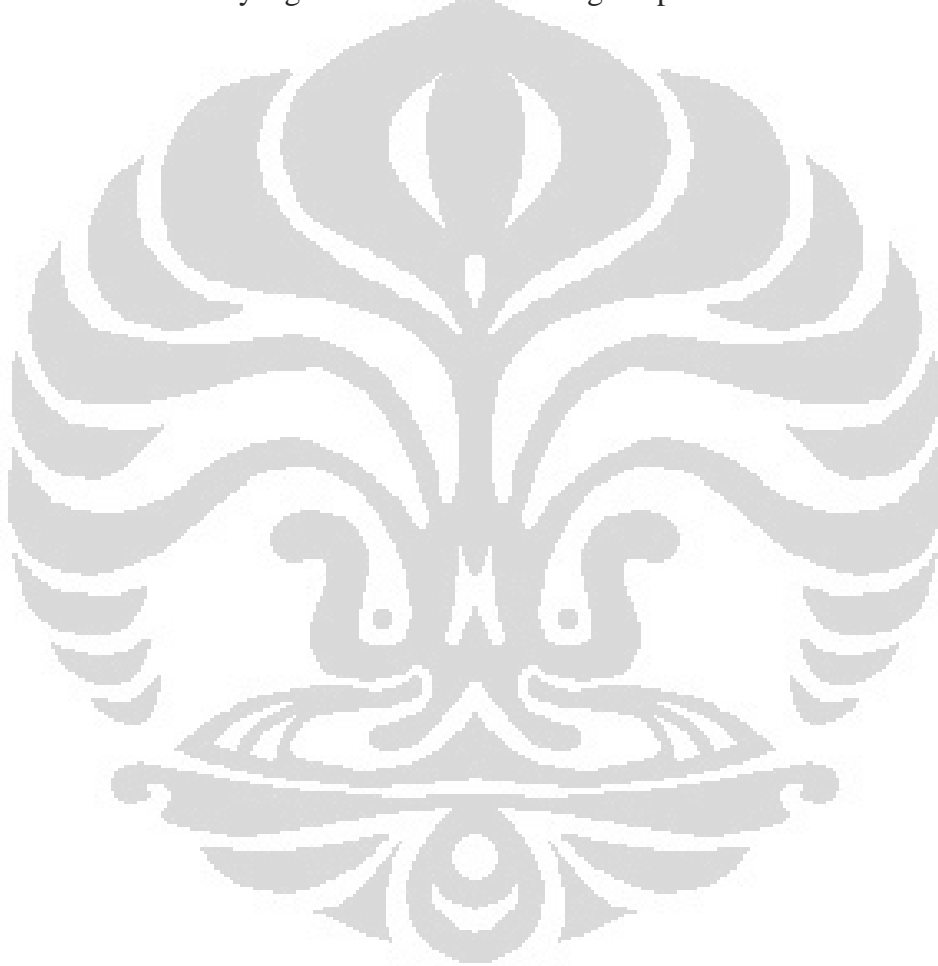
tube Heat Exchanger dalam pipa tembaga, ke glikol yang mengalir dalam *Tube in tube Heat Exchanger*.

- Titik 4 :
Setelah memasuki *Tube in tube Heat Exchanger*, fluida R22 dalam pipa tembaga di teruskan. Kondisi R22 pada titik ini telah mengalami penurunan tekanan dan *temperature*. Jumlah fluida yang akan mengalir ke *test section* sangat bergantung pada pembukaan katup pada titik ini.
- Titik 5 :
Sebelum fluida kerja memasuki *test section*, fluida kerja tersebut memasuki *Sight Glass* terlebih dahulu. Dari *sight glass* ini dapat terlihat fasa yang akan mengalir ke *test section*. Kita dapat mengatur apakah alirannya sudah berkembang penuh atau belum.
- Titik 6 :
Test section terbuat dari Stainless Steel 316 dengan panjang 1 m dan diameter dalam 3 mm. *Test section* dibagi menjadi 9 titik pengujian yang ditempel *thermocouple* setiap titik bagiannya tersebut. *Test section* mendapatkan pemanasan dari *electric heater* yang heat fluksnya dapat kita atur. Pada *test section* ini terjadi perubahan fasa, dari cair menjadi gas. Dimana Tekanan dan perubahan fasenya dapat terlihat pada *sight glass*.
- Titik 7 :
Setelah fluida kerja melewati *test section* selanjutnya akan melewati *sight glass* kembali, *sight glass* ini berfungsi untuk melihat perubahan fasa yang terjadi setelah fluida kerja mendapat heat fluks dari *heater*.
- Titik 8 :
Pada fase ini *refrigerant* sudah berubah fasa menjadi fasa gas. Maka dibutuhkan *check valve* yang mencegah aliran balik yang mungkin terjadi pada sistem ini.
- Titik 9 :
Disini *refrigerant* ditampung pada *receiver tank* yang kemudian *receiver tank* tersebut di dinginkan pada *coolbox*. Penurunan *temperature* dan tekanan terjadi pada titik ini. Selain itu penimbangan

refrigerant juga dilakukan pada titik ini dengan menggunakan timbangan digital yang sangat *sensitive*.

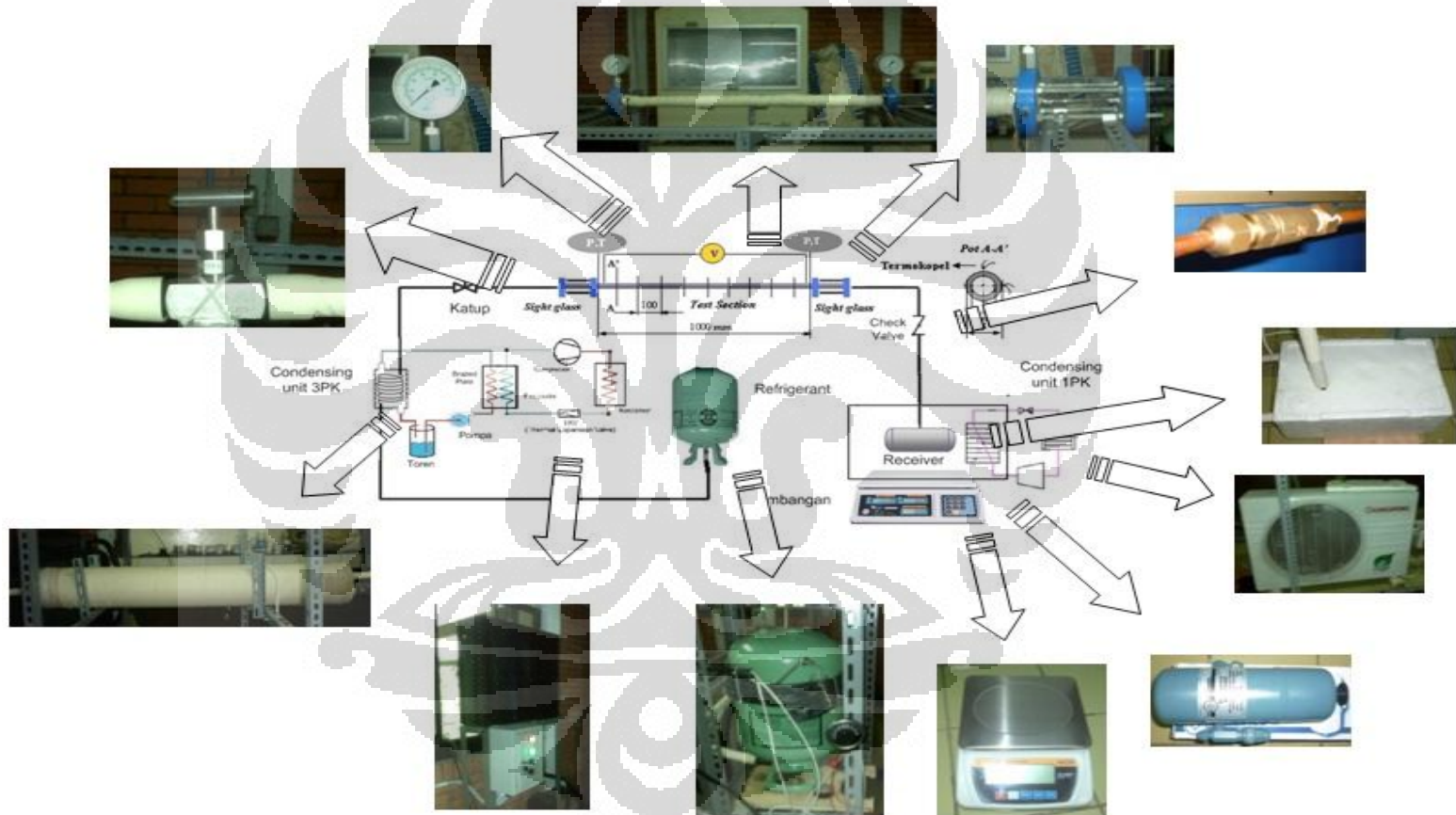
- Titik 10 :

Condensing unit 1PK berfungsi mendinginkan *cool box*, agar tekanan dan *temperature* pada *receiver tank* mengalami penurunan. Dimana penurunan *temperature* dan tekanan ini berfungsi agar aliran pada sistem terus berlangsung lancar karena *receiver tank* selalu mempunyai tekanan yang lebih rendah dibandingkan pada *test section*.



3.4.2 Komponen-komponen Yang Digunakan Pada Alat Uji.

Berikut adalah *preview* dari alat uji aliran dua fasa yang telah dibangun :



Gambar 3.28 Komponen Pada Alat Uji Aliran Dua Fasa Yang Telah Dibangun

3.5 Tes Kebocoran

Setelah semua sistem pemipaan serta komponennya terpasang, maka terlebih dahulu dilakukan tes kebocoran dengan tujuan agar pada saat dijalankannya sistem akan berjalan dengan baik tanpa adanya kebocoran. Kebocoran pada sistem dapat menurunkan performa dari sistem tersebut. Adapun prosedur pengujian kebocoran adalah sebagai berikut.

1. Unit dalam keadaan mati.
2. Sistem diisi dengan gas atau udara dari *compressor* hingga tekanan tertentu.
3. Sistem pemipaan di tes kebocoran dengan menggunakan busa sabun.
4. Tandai setiap tempat yang menjadi indikasi kebocoran, untuk dapat diperbaiki.
5. Perbaiki kebocoran.
6. Tandai tekanan yang ada, kemudian tunggu hingga beberapa jam, apabila tekanan masih berkurang maka ulangi dari langkah ke-3 hingga tekanan dipastikan tidak ada penurunan lagi.

3.6 *Vaccum* Sistem

Setelah dipastikan tidak ada kebocoran dalam sistem maka proses selanjutnya adalah melakukan proses pem-vakum-an, langkah ini dimaksud untuk memastikan sistem tidak mengandung uap air. Langkah-langkah dalam proses vakum adalah sebagai berikut:

1. Unit sistem dalam keadaan mati.
2. Hubungkan selang pompa vakum ke pentil yang ada pada *receiver*.
3. Nyalakan pompa vakum hingga pada jarum *pressure gauge* menunjukkan angka di bawah 0 bar (sekitar 30 menit)
4. Lepas selang pompa vakum dari pentil
5. Matikan pompa vakum

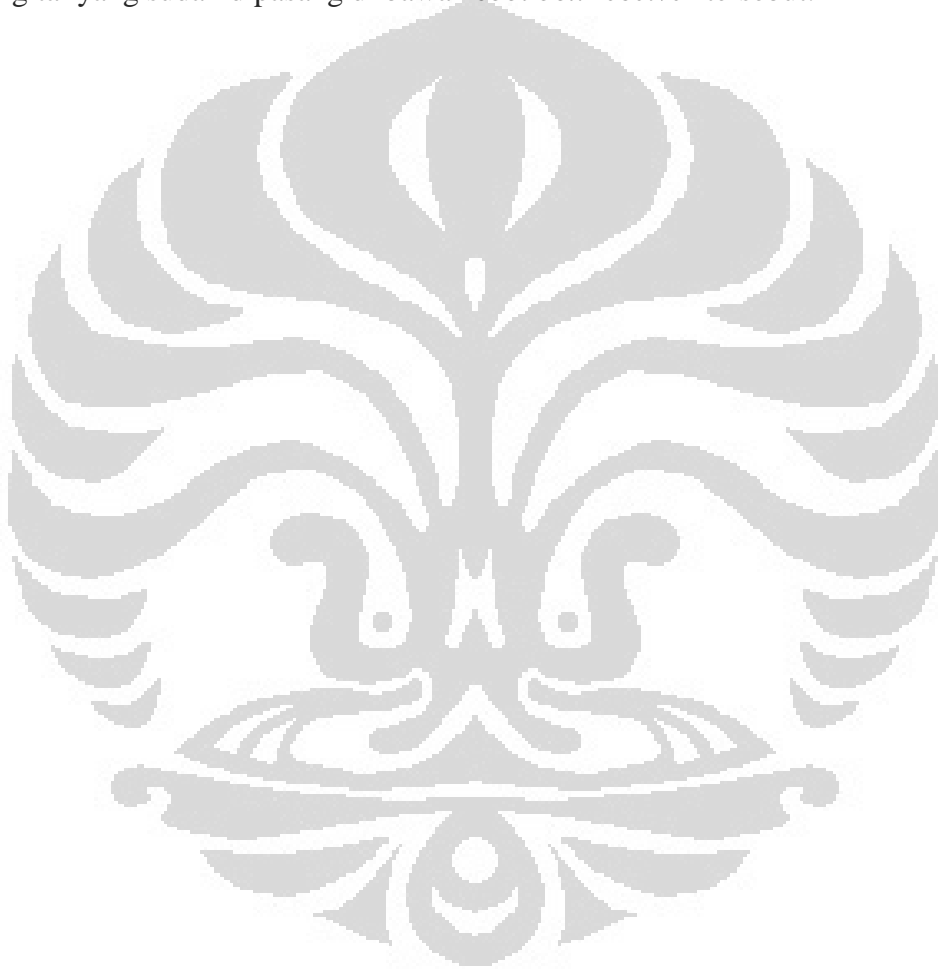


Gambar 3. 29 Proses Pem-vakuman

3.7 Prinsip kerja alat uji

Pada awalnya tabung refrigeran dipanaskan dengan menggunakan elektrik heater berupa belt yang dililitkan pada tabung *refrigerant*. Kemudian R-22 liquid dari tabung *refrigerant* dialirkan menuju *Tube in tube Heat Exchanger* yang telah mengalami pendinginan oleh *condensing unit* 3 pk. Dalam *condensing unit* ini, R-22 dikondisikan agar benar-benar berada dalam fasa *liquid*. Selanjutnya R-22 dialirkan menuju *test section* dengan temperatur dan tekanan *inlet* sesuai kondisi pengujian. Masuknya *refrigerant* ke *test section* dapat diatur dengan menggunakan *needle valve* yang berada tepat di samping *sight glass*. Di dalam *test section*, R-22 dipanaskan dengan cara pemberian *heat flux* pada dinding *test section*. Pemberian *heat flux* ini dilakukan dengan menggunakan *variable voltage*, sehingga listrik yang dialirkan disesuaikan dengan *heat flux* pada kondisi pengujian. Pada sisi *inlet* dan outlet *test section* dipasang *sight glass* untuk melihat kondisi fasa R-22 dan dipasang *pressure gauge* untuk mengukur tekanan *inlet* dan *outlet*. Sedangkan pada dinding luar pipa dipasang termokopel di tiga posisi, yaitu atas, samping, dan bawah pada interval jarak 100 mm. untuk mengisolasi agar tidak terjadi perpindahan kalor dari *test section* ke lingkungan, maka *test section* diisolasi dengan menggunakan karet dan busa. Selanjutnya R-22 yang keluar dari *test section* dialirkan menuju *Receiver tank*, sebelum mencapai *receiver tank* pada

pipa tersebut dipasang *check valve*, sehingga tidak akan ada aliran balik pada pipa tersebut apabila *receiver tank* nya telah penuh. *Receiver tank* tersebut diletakan pada sebuah *cool box* yang dipasangi *condensing unit* 1 pk untuk pendinginannya. *Cool box* tersebut dikondisikan dingin dikarenakan diinginkannya perubahan fasa serta penurunan tekanan untuk menghindari suatu tekanan balik yang mungkin terjadi pada sistem *open loop* apabila *receiver refrigerant* sudah penuh. Hasil dari *receiver tank* tersebut kemudian di timbang dengan menggunakan timbangan digital yang sudah dipasang di bawah *cool box receiver* tersebut.



BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perhitungan

Dalam membuat suatu perangkat pengujian, komponen-komponen yang digunakan harus disesuaikan dengan kondisi pengujian yang akan dilakukan. Oleh karena itu, perlu dilakukan perhitungan terhadap beberapa parameter agar spesifikasi komponen yang digunakan dapat memenuhi kebutuhan yang diperlukan pada saat pengujian. Adapun beberapa komponen dalam alat uji aliran dua *fase* ini berikut alat ukurnya adalah :

4.1.1 *Electric Heater*

4.1.1.1 *Electric Heater Pada Tabung Refrigerant*

Dasar pemilihan *belt heater* adalah mampu menaikkan temperatur tabung refrigerant sampai dengan 50 °C. Sehingga tekanan di dalam tabung akan naik, maka aliran yang keluar dari tabung menuju ke dalam system akan lancar.

4.1.1.2 *Electric Heater Pada Test Section (Variable Transformer)*

Variable Transformer yang digunakan untuk memberikan flux kalor pada *Test Section* dengan spesifikasi, mampu memberikan daya sampai dengan 1100 watt dan dapat diatur besar kecilnya daya keluar sesuai dengan flux kalor yang dibutuhkan pada percobaan yaitu dengan nilai flux kalor 5 kW/m², 10 kW/m², dan 15 kW/m².

Dalam penentuan daya heater dilakukan perhitungan sebagai berikut :

Din	0,03 m
L	1 m
q	5, 10, 15 kW/m ²

Luas penampang pipa (A)

$$A = \pi D^2 / 4 \quad (4.1)$$

$$= \pi \cdot 0,03^2 \cdot 1$$

$$= 0,009 \text{ m}^2$$

Pengaturan besar V dan I pada variable transformer dengan melihat persamaan sebagai berikut:

$$P = I^2 \cdot R \quad (4.2)$$

$$V = I \cdot R$$

Maka, $P = I \cdot V$ (4.3)

Dimana : P = Daya (watt)

I = Arus (Amphere)

V = Voltage (Volt)

Pada *Test Section* akan diberikan fluks kalor sebesar q.

$$q = 5, 10, \text{ dan } 15 \text{ kW/m}^2$$

$$q = \frac{P}{A} \quad (4.4)$$

$$P = q \cdot A$$

$$P = 5 \text{ kWm}^{-2} \times 0,009 \text{ m}^2$$

$$= 0,047 \text{ kW} = 47 \text{ W}$$

Dengan menggunakan rumus yang sama maka didapat variasi daya sebagai berikut:

P (Watt)	47	94	141
q (kW/m ²)	5	10	15

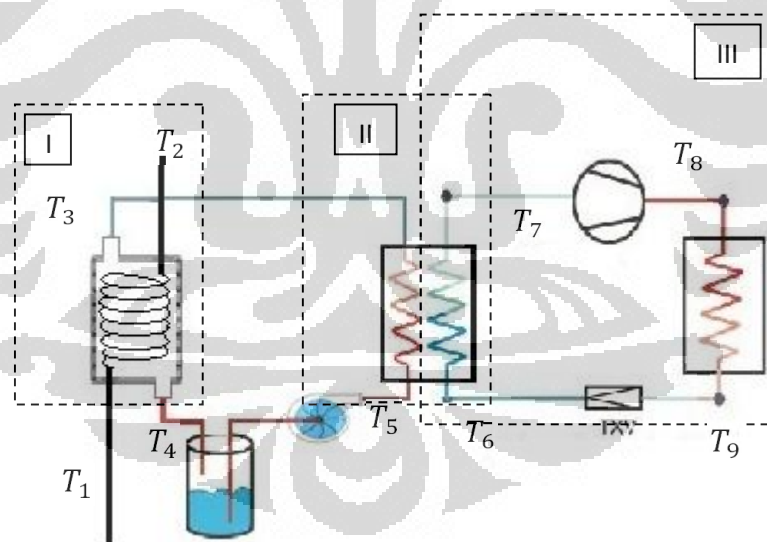
Variasi P (daya) yang di dapat, dapat kita atur dengan menggunakan variable tranformer. Kita dapat menyesuaikan sesuai dengan fluks kalor yang diinginkan.

4.1.2 Perangkat Alat Penukar Kalor

Perangkat alat penukar kalor ini rencananya terdiri dari dua jenis, yaitu:

4.1.2.1 *Condensing unit 3PK*

Condensing unit merupakan gabungan antara kompresor dan kondenser dalam satu kedudukan. Dengan tipe kompresor yang digunakan adalah hermetic serta 1 buah kondenser fan serta sebuah liquid receiver. yang dipasang pada posisi sebelum *Test Section*. Tujuannya adalah untuk mengubah *fase* refrigeran dari gas menjadi liquid kembali sebelum refrigeran masuk ke *Test Section* dengan bantuan *Tube in tube Heat Exchanger*. Untuk pemilihan *condensing unit 3PK* berdasarkan perhitungan adalah sebagai berikut:



Gambar 4.1 skematik *condensing unit 3PK*, serta langkah perhitungan

C_{pR22}	0,057 kJ/mol. K
$C_{pGlycol}$	$0,1495 \frac{kJ}{mol.K}$
C_{pR404a}	$0,09 \times 10^{-3} \frac{kJ}{g.K}$

T_1	50°C	T_6	-17°C
T_2	-10°C	T_7	$4,5^\circ\text{C}$
T_3	$-5,7^\circ\text{C}$	T_8	$67,5^\circ\text{C}$
T_4	$-7,7^\circ\text{C}$	T_9	34°C
T_5	$-7,7^\circ\text{C}$		

Langkah 1

$$Q_{R22} = \dot{m} \cdot C_p \cdot T \quad (4.5)$$

Dimana : Q_{R22} = Kalor (kW)

C_p = Kalor Spesific (kJ/g . K)

T = Perbedaan temperature (K)

$$C_{P_{R22}} = 0,057 \frac{\text{Kj}}{\text{mol.K}} \text{ dilihat pada (tabel 3.1)}$$

$$1 \text{ mol} = \frac{\text{gr}}{\text{mr}}$$

$$R22 = \text{CHF}_2\text{Cl}$$

$$C = 12 \quad \text{Cl} = 35,45$$

$$H = 1$$

$$F = 19$$

Maka 1 mol R-22 adalah $12 + 1 + 38 + 35,45 = 86,45$

$$1 \text{ mol} = \frac{\text{gr}}{86,45}$$

$$\text{gr} = 86,45 \text{ gram}$$

Diketahui Fluks massa maksimum pada system adalah $600 \text{ Kg/m}^2 \text{ s}$

$$\begin{aligned} \text{Maka } \dot{m} &= 600 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2 \text{ s}} \times A \\ &= 600 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2 \text{ s}} \times \pi r^2 \\ &= 600 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2 \text{ s}} \times 3,165 \cdot 10^{-5} \\ &= 0,01899 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} \\ \dot{m} &= 18,99 \text{ g/s} \end{aligned}$$

$$= \frac{18,99}{86,45} \text{ mol/s}$$

$$= 0,22 \text{ mol/s}$$

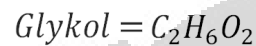
$$\text{Maka } Q_{R22} = \dot{m} \cdot C_p \cdot T$$

$$= 0,22 \frac{\text{mol}}{\text{s}} \times 0,057 \frac{\text{Kj}}{\text{mol.K}} \times 60 \text{ K}$$

$$= 0,75 \text{ kW}$$

$$Q_{\text{glycol}} = \dot{m} \cdot C_{p_{\text{glycol}}} \cdot T$$

$$T = 1 \text{ K}$$



$$C = 12$$

$$H = 1$$

$$F = 16$$

Maka 1 mol Glykol adalah $24 + 6 + 32 = 62$

$$1 \text{ mol} = \frac{\text{gr}}{62}$$

$$\text{gr} = 62 \text{ gram}$$

Diketahui dari spesifik alat adalah $\dot{m} = 35 \text{ lt/min}$

$$\dot{m} = 35 \frac{\text{lt}}{\text{min}} \cdot \rho$$

$$= 35 \frac{\text{lt}}{\text{min}} \times 1113,2 \frac{\text{g}}{\text{lt}}$$

$$= 38962 \text{ g/min}$$

$$= \frac{38962}{62} \text{ g/s}$$

$$\dot{m} = 649,4 \text{ g/s}$$

$$= \frac{649,4}{62} \text{ mol/s}$$

$$= 10,5 \text{ mol/s}$$

$$Q_{\text{glycol}} = \dot{m} \cdot C_{p_{\text{glycol}}} \cdot T$$

$$= 10,5 \frac{\text{mol}}{\text{s}} \cdot 0,1495 \frac{\text{kJ}}{\text{mol.K}} \cdot 1 \text{ K}$$

$$= 1,565 \text{ kW}$$

Langkah 2

$$Q_{evap\ 1} = Q_{evap\ 2}$$

$$Q_{evap\ 1} = \dot{m} \cdot C_{p\ glycol} \cdot \Delta T$$

$$= 10,5 \dot{m}ol/s \cdot 0,1495 \frac{kJ}{mol \cdot K} \cdot 1 K$$

$$= 1,569 kJ/s$$

$$Q_{evap\ 1} = 1,569 kW$$

Langkah 3

$$T_{evap\ in} = -17$$

$$T_{evap\ out} = 4,5$$

$$C_p = 0,09 \frac{kJ}{kg \cdot K}$$

$$Q = \dot{m} C_p \Delta T$$

$$1,565 kW = \dot{m} \cdot 0,09 \times 10^{-3} \frac{kJ}{g \cdot K} (4,5 - (-17))K$$

$$1,565 kW = \dot{m} \cdot 0,09 \times 10^{-3} \frac{kJ}{g \cdot K} (21,5)K$$

$$1,565 kW = \dot{m} \cdot 1,935 \times 10^{-3} \frac{kJ}{g}$$

$$\dot{m} = \frac{1,565 kJ/s}{1,935 \times 10^{-3} kJ/g}$$

$$\dot{m} = 808,78 g/s$$

$$\dot{m} = 0,80878 kg/s$$

$$T_{incomp} = 4,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{outcomp} = 67,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Dilihat pada software refrop, pressure saturasi dan enthalpy nya adalah:

$$W_{comp} = \dot{m} (h_2 - h_1)$$

$$= 0,80878 \frac{kg}{s} (371,11 - 368,01) kJ/kg$$

$$= 2,5 kW \approx 3,39 hp$$

Dari hasil perhitungan di atas, dipilihlah Condensing unit dengan Daya Compressor 3 hp. Dimana condensing unit ini diharapkan mampu menurunkan temperatur hingga range -10°C sampai dengan 10°C pada saat refrigerant akan masuk ke *Test Section*.

4.1.2.2 Toren

Pemilihan toren didasarkan pada besarnya daya tampung toren untuk menampung refrigerant yang akan masuk ke dalamnya. Toren yang dipilih adalah yang berkapasitas 300 lt. Dengan mengacu bahwa alat akan digunakan pada penelitian selanjutnya, yang mungkin membutuhkan jumlah fluida kerja yang lebih banyak. Sedangkan untuk penelitian sekarang hanya membutuhkan fluida kerja sebanyak 30 lt, jadi toren yang dipilih memenuhi syarat kelayakan.

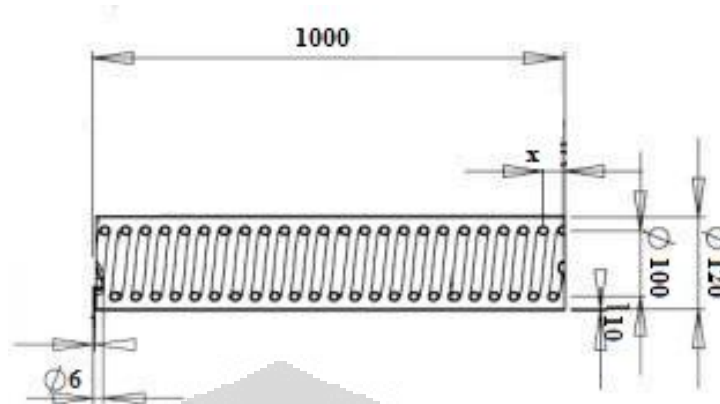
4.1.2.3 Ethylene Glycol

Berfungsi menurunkan titik beku air. Dimana apabila air biasa titik bekunya adalah 0°C , dan apabila sudah dicampur dengan *glycol* maka titik bekunya akan turun tergantung berapa *percent* campuran yang dimasukan ke dalam air tersebut. Pada system pendingin yang telah dirancang, menggunakan campuran glikol sebanyak 30%. Sehingga titik beku air menjadi -15°C . Titik beku tersebut diharapkan mampu menurunkan temperatur refrigerant yang akan melewati Tube in tube Heat Exchanger.

4.1.2.4 Tube in tube Heat Exchanger

Dipasang pada pipa sebelum *Test Section*. Tujuannya adalah untuk menurunkan temperatur serta tekanan dan merubah *fase* dari fluida gas menjadi cair sebelum memasuki *Test Section*. Tube in tube Heat Exchanger didukung oleh condensing unit 3 pk sebagai pendinginnya. Ada beberapa parameter dalam pembuatan Tube in tube Heat Exchanger. Diantaranya adalah ketersediaan dari bahan-bahan pembuat Tube in tube Heat Exchanger di lab pendingin dan pasaran.

Adapun perhitungannya adalah sebagai berikut :



Gambar 4.2 Gambar teknik Tube in tube Heat Exchanger

Panjang Tube luar	1000 mm
Diameter Tube luar	120 mm
Diameter Tube dalam	100 mm
Diameter pipa tube dalam	6 mm
Spacing tube luar dan tube dalam	10 mm
Panjang Copper	15000 mm

$$kel = \pi \cdot D$$

$$= 3,14 \cdot 100$$

$$= 314 \text{ mm}$$

$$P_{Lintasan} = kel \cdot n$$

$$15000 = 314 \cdot n$$

$$n = \frac{15000}{314}$$

$$= 48 \text{ lilitan}$$

$$x = \text{jarak antarpitch}$$

$$x = \frac{1000}{48}$$

$$= 20,8 \text{ mm}$$

4.1.2.5 Condensing unit 1PK

Condensing unit dipasang pada *cool box receiver*. Tujuannya adalah untuk menurunkan tekanan yang terjadi di dalam receiver.

Pemilihan kompressornya berdasarkan perhitungan sebagai berikut :

Cp_{R22}	0,057 kJ/mol. K	Temp out Compressor	35,5 °C
Temp keluar <i>Test Section</i> maks	80 °C	Temp Evap in	7 °C
Temp cool box diinginkan	0 °C	Temp Evap out	14 °C
Temp in Compressor	14 °C		

$$\begin{aligned}
 Q_{R22} &= \dot{m} \cdot Cp \cdot T \\
 &= 0,22 \frac{\text{mol}}{\text{s}} \times 0,057 \frac{\text{kJ}}{\text{mol.K}} \times (30 - 0) \text{ K} \\
 &= 1,0 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{R22} &= Q_{\text{evap}} \\
 Q_{R22} &= \dot{m} \cdot Cp \cdot T \\
 1 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} &= \dot{m} \cdot 6,59 \times 10^{-4} \frac{\text{kJ}}{\text{g.K}} \cdot (14 - 7) \text{ K} \\
 1 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} &= \dot{m} \cdot 6,59 \times 10^{-4} \frac{\text{kJ}}{\text{g.K}} \cdot 7 \text{ K} \\
 \dot{m} &= \frac{1 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}}{46,13 \times 10^{-4} \text{ kJ/g}} \\
 &= 216,78 \text{ g/s} \\
 m &= 0,21678 \text{ kg/s}
 \end{aligned}$$

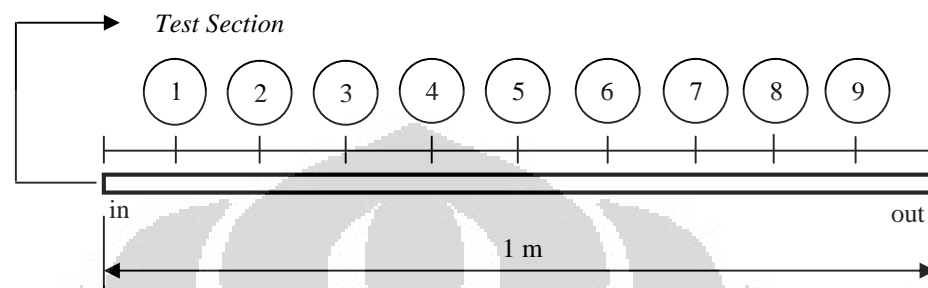
$$T_{\text{in comp}} = 14^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{out comp}} = 35,5^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned}
 W_{\text{comp}} &= \dot{m} (h_2 - h_1) \\
 &= 0,21678 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot (415,44 - 409,85) \text{ kJ/kg} \\
 &= 1,2 \text{ kW} \approx 1.6 \text{ hp}
 \end{aligned}$$

4.1.3 Test Section

Test Section merupakan pipa stainless steel 316 sepanjang 1 meter dengan diameter dalam sebesar 3 mm. dan diameter luar sebesar 5 mm. Selanjutnya *Test Section* ini akan dibagi menjadi sepuluh bagian dengan interval 0.1 meter, sehingga terdapat 9 titik pengambilan data seperti ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 *Test Section* Dan Pembagian 9 Titik Pengambilan Data

4.1.4 Sight Glass

Sight glass yang digunakan pada perangkat alat uji ini yaitu dengan spesifikasi mampu bekerja pada tekanan 10 bar dan Temperatur kerja sampai dengan -10°C . Pemasangan sight glass dengan pertimbangan untuk dapat melihat secara visual aliran R-22 yang terjadi pada sisi masukan dan keluaran dari *Test Section*.

4.1.5 Pressure Gauge

Untuk pemilihan *Pressure gauge* pada perangkat alat uji ini didasarkan pada tekanan saturasi yang terjadi pada R-22 yang dipengaruhi oleh temperaturnya. Karena kondisi pengujian yang dilakukan berbeda-beda dimana temperatur masuk pada *Test Section* di variasikan dari -5°C , 0°C , 5°C dan 10°C oleh karena itu tekanan saturasi yang terjadi akan berbeda-beda pula seperti yang dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 3.1 Tekanan Saturasi R-22 Pada Beberapa Nilai Temperatur Masuk

Kondisi Pengujian	Temperatur masuk ($^{\circ}\text{C}$)	Tekanan Saturasi (bar)
1	-5	4.2180
2	0	4.9799

3	5	5.8411
4	10	6.8095

(Refprop versi 8)

Seperti yang dapat dilihat pada tabel di atas maka pemilihan pressure gauge didasarkan pada tekanan saturasi maksimum yang terjadi pada kondisi pengujian yaitu tekanan saturasi pada temperatur 10°C sebesar 6.8095 bar. Dengan mempertimbangkan faktor keselamatan maka didapat spesifikasi pressure gauge dengan tekanan kerja maksimum 10 bar dan temperatur kerja sampai dengan -5°C.

4.1.6 Receiver Tank

Dasar pemilihan receiver tank adalah perkiraan cukupnya jumlah aliran pada saat pengambilan data. Diharapkan pada saat pengambilan data, receiver mampu menampung refrigerant sampai dengan 1 Kg selama 5 menit. Sehingga dipilihlah Receiver tank dengan kapasitas 1.2Kg.

4.1.7 Cool Box

Coolbox terbuat dari bahan yang mampu mengisolasi terhadap udara lingkungan. Dikarenakan suhu pada *coolbox* diharapkan mempunyai temperatur yang lebih rendah dibanding udara lingkungan.

4.1.8 Timbangan Digital

Timbangan digital yang dipilih mempunyai masa maksimum sebesar 6 Kg. Jadi dianggap mampu menghitung berat receiver tank yang hanya mempunyai kapasitas maksimum 1.2 Kg. Timbangan elektrik ini diposisikan di bawah *coolbox* dan *receiver tank*, agar pada saat sistem berjalan, masa dari *receiver tank* dapat terus di amati.

4.2 Proses Kalibrasi Termocouple

Proses kalibrasi merupakan salah satu proses yang sangat penting dalam pengukuran. Karena dengan dikalibrasinya alat ukur maka hasil dari pengukuran tersebut merupakan hasil yang akurat. Salah satu alat ukur yang dikalibrasi adalah thermocouple, pada dasarnya semua thermocouple telah mengalami proses

kalibrasi pada tiap produsen, akan tetapi apabila kita memodifikasi thermocouple tersebut maka diwajibkan untuk dikalibrasi kembali agar tidak terjadi error pada saat pembacaan alat ukur tersebut pada computer.

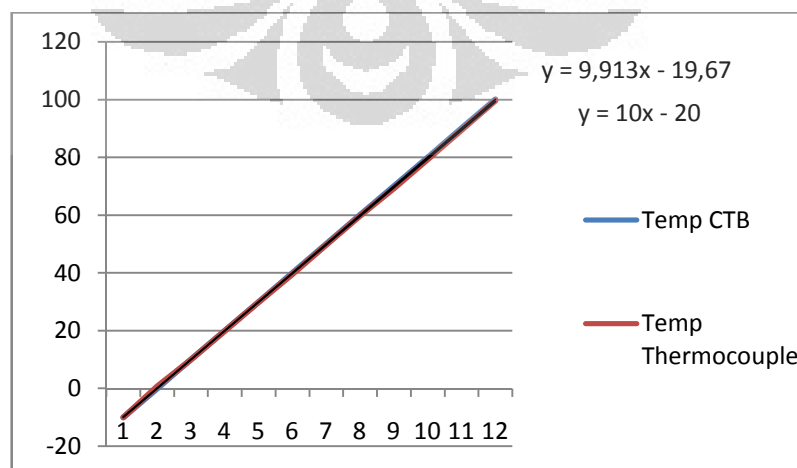
4.2.1 Data Hasil Kalibrasi

Berikut data hasil kalibrasi yang dilakukan:

1. Data Kalibrasi Thermocouple pada sisi inlet

Tabel 4.1 Data hasil pengukuran temperatur pada inserted thermocouple sisi inlet

Rata-rata Temperature inlet	
Temp CTB	Temp Thermocouple
-10	-9.97437532
0	0.711031289
10	9.981436252
20	19.93417937
30	29.88347117
40	39.6394652
50	49.7026127
60	59.69750199
70	69.21907033
80	79.33085546
90	89.45432457
100	99.58987478



Gambar 4.3 Grafik perbandingan temperatur

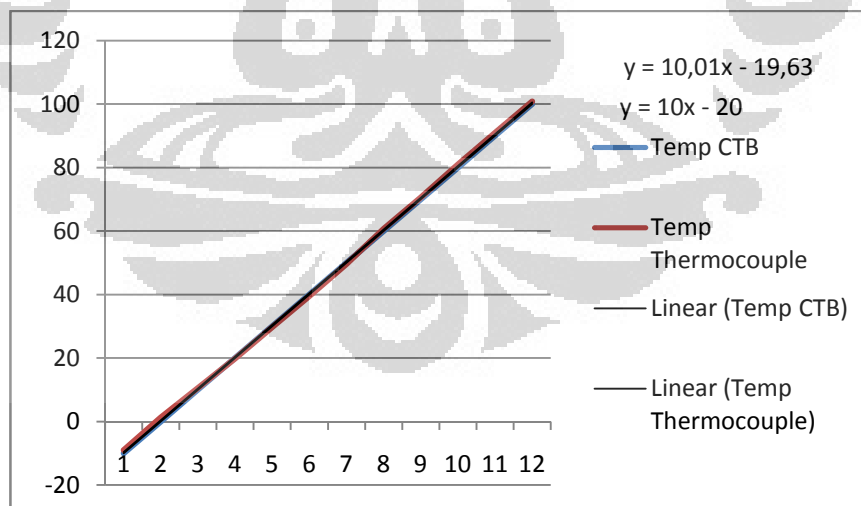
Universitas Indonesia

Dari grafik di dapat suatu persamaan $y = 9.913x - 19.67$, dimana persamaan ini dimasukan ke program Labview agar temperature yang tampil merupakan temperature actual.

2. Data kalibrasi pada thermocouple sisi outlet

Tabel 4.2 Data hasil pengukuran temperatur pada inserted thermocouple sisi outlet.

Rata-rata temperature outlet	
Temp CTB	Temp Thermocouple
-10	-8.98434532
0	1.297751489
10	10.58911036
20	19.78004944
30	29.71105092
40	39.45852126
50	49.62344114
60	60.6946131
70	70.56612718
80	80.96949191
90	90.89542783
100	100.7935783



Gambar 4.4 Grafik perbandingan temperatur

Dari grafik di dapat suatu persamaan $y = 10.01x - 19.63$, dimana persamaan ini dimasukan ke program Labview agar temperature yang tampil merupakan temperature actual.

4.3 Unjuk Kerja Alat Uji Aliran Dua Fase

Proses pengambilan data dilakukan dengan memasukan beberapa parameter yang kita tentukan. Diantaranya adalah besarnya heat fluks. Sebesar 5 kW/m^2 , 10 kW/m^2 , dan 15 kW/m^2 .

a. Hasil dari Pengambilan data (Percobaan 1)

Data percobaan yang pertama menggunakan heatfluks sebesar 5 kW/m^2 .

Tabel 4.3 Data hasil pengujian kondisi 1

Kondisi 1					
parameter	nilai	lokasi	temperatur dinding luar (K)		
			atas	bawah	samping
Diameter dalam (ID)	3 (mm)	titik 1	284.080	284.674	285.369
Diameter luar (OD)	5 (mm)	titik 2	285.072	284.632	287.441
Panjang (L)	1 (m)	titik 3	284.579	286.829	285.251
Debit	2,21 (g/s)	titik 4	284.641	288.255	285.466
Daya	46 (W)	titik 5	285.180	285.228	284.747
Tegangan listrik	23 (V)	titik 6	284.970	285.934	284.835
Arus listrik	2 (A)	titik 7	284.708	286.793	284.781
Tekanan masuk	681 (kPa)	titik 8	284.694	286.948	284.724
Tekanan keluar	681 (kPa)	titik 9	284.779	285.483	284.572
Temperatur masuk	284,487 (K)				

b. Hasil dari Pengambilan Data (Percobaan 2)

Data percobaan yang pertama menggunakan heatfluks sebesar 10 kW/m^2 .

Tabel 4.4 Data hasil pengujian kondisi 1

Kondisi 2					
parameter	nilai	lokasi	temperatur dinding luar (K)		
			atas	bawah	samping
Diameter dalam (ID)	3 (mm)	titik 1	284.144	284.880	286.370
Diameter luar (OD)	5 (mm)	titik 2	285.100	284.309	288.183
Panjang (L)	1 (m)	titik 3	284.350	288.004	285.355
Debit	122,4 (g/min)	titik 4	284.331	290.474	285.637
Daya	94,3 (W)	titik 5	285.153	285.303	284.425
Tegangan listrik	34 (V)	titik 6	284.714	286.244	284.496
Arus listrik	2,8 (A)	titik 7	284.320	287.763	284.453
Tekanan masuk	681 (kPa)	titik 8	284.727	288.856	284.918
Tekanan keluar	681 (kPa)	titik 9	284.555	285.815	284.304
Temperatur masuk	283,585 (K)				

c. Hasil dari Pengambilan Data (Percobaan 3)

Data percobaan yang pertama menggunakan heatfluks sebesar 15 kW/m^2 .

Tabel 4.5 Data hasil pengujian kondisi 1

Kondisi 3					
parameter	nilai	lokasi	temperatur dinding luar (K)		
			atas	bawah	samping
Diameter dalam (ID)	3 (mm)	titik 1	284.932	285.886	288.051
Diameter luar (OD)	5 (mm)	titik 2	285.840	284.730	289.955
Panjang (L)	1 (m)	titik 3	284.527	289.752	285.988
Debit	68,7 (g/min)	titik 4	284.382	293.123	286.218
Daya	144 (W)	titik 5	285.597	285.950	284.675
Tegangan listrik	45 (V)	titik 6	284.861	287.060	284.617
Arus listrik	3,2 (A)	titik 7	284.282	289.076	284.476
Tekanan masuk	681 (kPa)	titik 8	284.391	289.664	284.486
Tekanan keluar	681 (kPa)	titik 9	284.581	286.113	284.164
Temperatur masuk	283,474 (K)				

Data hasil pengujian dari beberapa kondisi tersebut, kemudian akan diolah guna mendapatkan nilai-nilai karakteristik refrigerant di setiap titik *Test Section*.

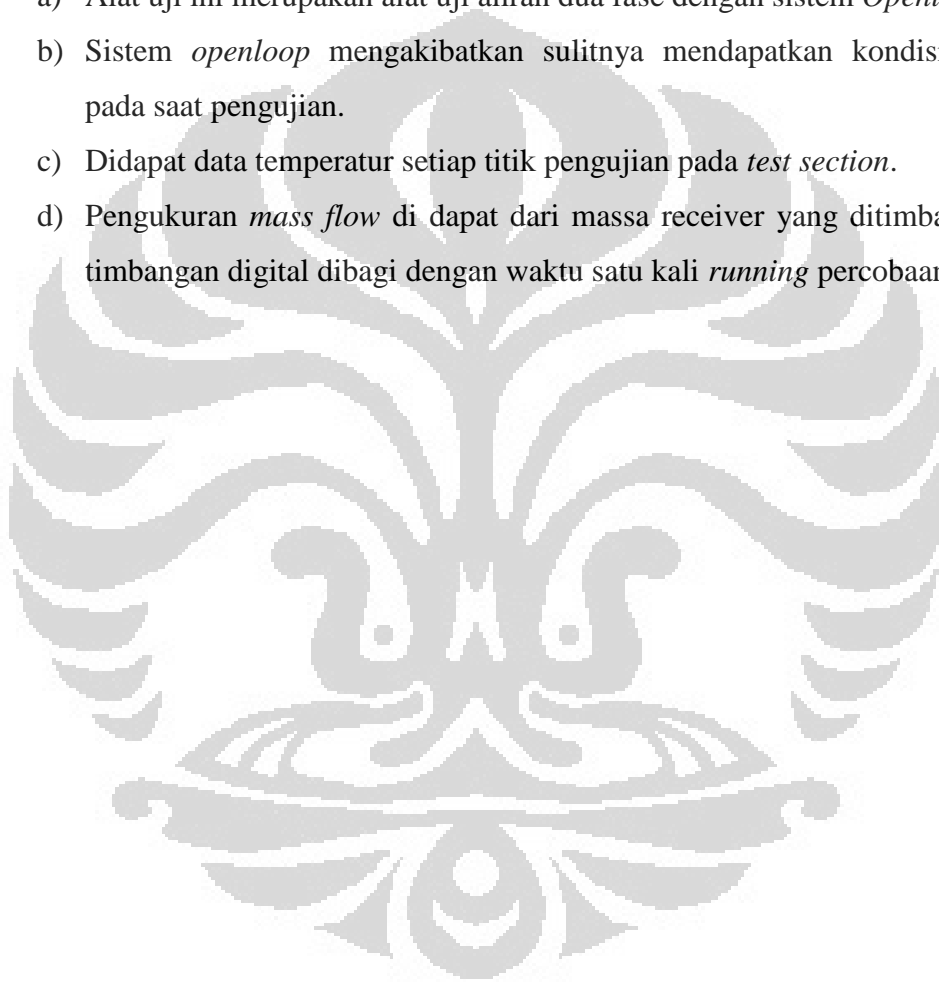
BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Alat uji ini merupakan alat uji untuk mengetahui karakteristik suatu refrigeran. Dimana pada penelitian ini refrigeran yang diamati adalah R22. Uraian pembahasan mengenai alat uji ini adalah sebagai berikut :

- a) Alat uji ini merupakan alat uji aliran dua fase dengan sistem *Openloop*.
- b) Sistem *openloop* mengakibatkan sulitnya mendapatkan kondisi *steady* pada saat pengujian.
- c) Didapat data temperatur setiap titik pengujian pada *test section*.
- d) Pengukuran *mass flow* di dapat dari massa receiver yang ditimbang oleh timbangan digital dibagi dengan waktu satu kali *running* percobaan.



5.2 Saran

Adapun beberapa saran yang mungkin bermanfaat untuk pengembangan lebih lanjut yaitu sebagai berikut ;

1. Sistem sekarang merupakan *system openloop*. Tidak dipungkiri itu merupakan salah satu kekurangan di dalam pengujian. Karena sulitnya mendapatkan kondisi pressure yang konstan dan laju aliran yang konstan juga.
2. Pressure gauge yang dipakai sebaiknya menggunakan pressure transmitter dikarenakan lebih akurasi hasil dari pressure transmitter tersebut dan mudahnya me-record data karena memakai computer sebagai perekam datanya.
3. Ditambahnya flow meter dan pompa refrigerant tentu akan mempermudah pada saat pengambilan data.
4. Kapasitas receiver tank sebaiknya diperbesar, agar daya tampung refrigerant menjadi semakin banyak. Sehingga pengambilan data, tidak terbatas oleh kapasitas receiver yang kecil.
5. Akan lebih baik jika titik pengujian diperbanyak guna untuk mendapatkan informasi yang lebih baik sehingga dapat memperkecil kesalahan /error yang terjadi pada perhitungan misalnya titik tempat pengambilan data temperatur atau tekanan.

DAFTAR REFERENSI

A.S. Pamitran, Kwang-Il Choi, Jong-Taek Oh, Pega Hrnjak, “*Characteristics of two-phase flow pattern transitions and pressure drop of five refrigerants in horizontal circular small tubes*“, *International Journal of Refrigeration* , 2010;33(3);pp.578-588.

A.S. Pamitran, Kwang-Il Choi, Jong-Taek Oh, Ki-Won Park, “*Two-phase Flow Heat Transfer of Propane Vaporization in Horizontal Minichannels*“, *Journal of Mechanical Science and Technology*, 2009;23;pp.599-606.

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.

Kwang-Il Choi, A.S. Pamitran, Jong-Taek Oh, Kiyoshi Saito, “*Pressure Drop and Heat Transfer during Two-phase Flow Vaporization of Propane in Horizontal Smooth Minichannels*“, *International Journal of Refrigeration* , 2009;32(5);pp.837-845.

Lemmon, Eric W, Huber, Marcia L (2007). *Refprop* (version 8.0) [computer software]. National Institute of Standards and Technology Gaithersburg.