

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN  
MESIN REFRIGERASI SEDERHANA**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat  
untuk Memperoleh Gelar Sarjana pada Jurusan Teknik Mesin



Oleh :

Nama : Jaka Widada

No. Mahasiswa : 99 525 021

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
—JOGJAKARTA—**

**2007**

**LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING**  
**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN MESIN REFRIGERASI**  
**SEDERHANA**

**TUGAS AKHIR**

Oleh :

Nama : Jaka Widada  
No. Mahasiswa : 99 525 021

Jogjakarta, 19 Juni 2007

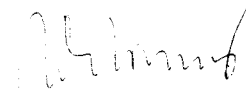
Menyetujui,

Pembimbing I



( Ir. Hudaya, MM. )

Pembimbing II



( Agung Nugroho Adi, ST. )

# LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

## PERANCANGAN DAN PEMBUATAN MESIN SIKLUS REFRIGERASI SEDERHANA

### TUGAS AKHIR

Oleh :

Nama : Jaka Widada

No. Mahasiswa : 99 525 021

Telah Dipertahankan di Depan Sidang Penguji sebagai Salah Satu Syarat  
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia

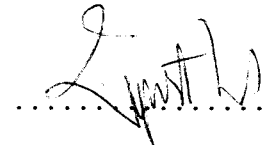
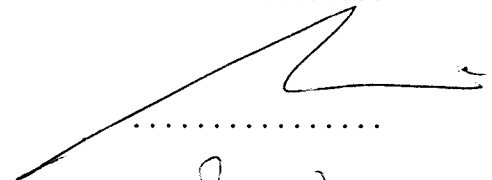
Yogyakarta, 2 Juli 2007

Tim Penguji

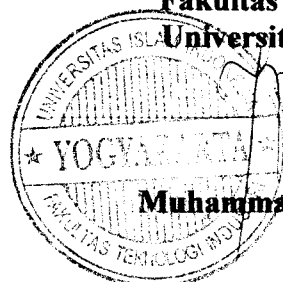
Ir. H. Hudaya, MM.  
Ketua

Risdiyono, ST., M.Eng.  
Anggota I

Yustiasih Purwaningrum, ST., MT.  
Anggota II



Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Universitas Islam Indonesia



  
Muhammad Ridlwan, ST., MT

## HALAMAN PERSEMBAHAN



*Ayahanda dan Ibunda tercinta,  
untuk segala curahan kasih sayang, doa restu, kesabaran, pengorbanan, dan dorongan  
semangat yang telah kalian berikan selama ini.  
Ini adalah sebagian kecil bentuk pengabdianku untuk membalas semua jasa kalian yang  
begitu banyak dan sangat berarti bagiku.  
Kalian adalah yang terbaik dalam kehidupanku*

*Erma Sulisyawati istriku tercinta dan Amanda Putri Sulistyawati anaku tersayang  
untuk semua kesabaran dan perhatiannya  
kalian adalah semangatku dan belahan jiwaku*

*Kakak-kakaku untuk dorongan dan bantuannya*

*Temen-temen Teknik Mesin UII  
thanks untuk kebersamaannya selama 7 tahun ini  
yang selalu memberikan bantuan*

*Semoga rahmat dan berkah-Nya selalu terlimpah pada kita semua. " ALLAHU AKBAR "*

## HALAMAN MOTTO



*“Dan Sesungguhnya kami akan memberikan balasan kepada orang-orang yang sabar (tabah) dengan pahala yang lebih baik dari yang telah mereka kerjakan”*

*(Qs. An-Nafil 96)*

*“Ilmu adalah jiwanya islam dan yang menjadi tiangnya tegaknya iman karena itu barang siapa yang mengajarkan ilmu, pasti Allah akan menyempurnakan hasilnya ”*

*(H.R. Abu Syeikh)*

*“Barang siapa yang mengajak kepada petunjuk maka ia akan mendapatkan pahala yang sama dengan pahala orang yang mengikutinya tanpa mengurangi pahalanya, Dan barang siapa yang mengajak kesesatan maka ia pun akan menanggung dosa yang sama dengan dosa orang yang mengikutinya tanpa mengurangi dosanya sedikitpun ”*

*(H.R. Muslim)*

## KATA PENGANTAR



*Assalaamu'alaikum Wr.Wb*

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Shalawat dan salam semoga tercurah kepada Rasulullah Muhammad SAW beserta para keluarganya , sahabat dan para pengikutnya hingga akhir zaman.

Tugas Akhir berjudul Perancangan Dan Pembuatan Mesin Siklus Refrigerasi Sederhana ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Jurusan Teknik Mesin , Fakultas Teknologi Industri , Universitas Islam Indonesia

Dalam proses penulisan Tugas Akhir ini merupakan suatu perjalanan yang tidaklah mudah. Berkat bantuan dari semua pihak maka penulisan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan sebagaimana mestinya. Untuk itulah, dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penulisan Tugas Akhir ini, terutama kepada :

1. Bapak Fathul Wahid, ST., Msc, Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia Jogjakarta.
2. Bapak Muhammad Ridlwan, ST.,MT, Selaku Kepala Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia Jogjakarta.
3. Bapak Ir. M Hudaya, MM dan bapak Agung Nugroho Adi, ST .Dosen pembimbing I Tugas Akhir yang telah memberikan waktu dan sumbangan pikiran.
4. Bapak/Ibu dosen pengajar di Jurusan Teknik Mesin, serta karyawan FTI UII yang telah membimbing dan membantu baik kegiatan akademis maupun administratif.

5. Keluargaku yang telah dengan sangat sabar menunggu hingga penulis menyelesaikan masa studiku di Yogyakarta.
6. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu, yang telah memberikan bantuan sehingga penulisan Tugas Akhir ini bisa selesai.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini tidak luput dari kekurangannya dan kelemahannya. Untuk itu penulis sangat senang apabila ada kritik dan saran yang membangun Tugas Akhir ini dari pembaca.

**Wassalamu' alaikum Wr. Wb.**

Yogyakarta, 19 Juni 2007

Penulis

# PERANCANGAN DAN PEMBUATAN MESIN SIKLUS REFRIGERASI SEDERHANA

## *Abstrak*

*Dalam penelitian ini, dititik beratkan pada proses perancangan dan pembuatan mesin refrigerasi, khususnya pada perancangan dan pembuatan bagian kondenser, pipa kapiler sebagai alat ekspansi dan evaporator. Dan analisis siklus refrigeran ideal dan aktual. Berdasarkan komponen yang digunakan maka mesin ini termasuk siklus refrigerasi kompresi uap.*

*Refrigerasi adalah proses penyerapan panas sehingga temperatur suatu zat atau produk menjadi lebih rendah dibandingkan temperatur lingkungannya. Mesin siklus refrigerasi adalah mesin yang dapat menimbulkan efek refrigerasi. Dan refrigeran adalah fluida kerja yang digunakan dalam mesin siklus refrigerasi untuk menyerap panas dari zat/ruang yang didinginkan dan melepaskan panas ke lingkungan. Komponen utama mesin refrigerasi adalah kompresor, kondenser alat ekspansi dan evaporator. Kompresor berfungsi untuk menaikkan tekanan uap refrigeran. Kondenser berfungsi untuk mendinginkan uap refrigeran panas dan uap refrigeran panas tersebut diembunkan menjadi refrigeran cair jenuh. Alat ekspansi berfungsi untuk menurunkan tekanan refrigeran dari kondenser hingga berubah menjadi campuran cair dan uap. Dan evaporator berfungsi untuk merubah refrigeran menjadi uap.*

*Dari hasil perancangan dan pengujian mesin refrigerasi yang dibuat, mesin ini dapat bekerja seperti yang diharapkan. Namun pengambilan data belum dapat optimal karena keterbatasan alat-alat ukur yang dimiliki.*

***Kata kunci : Refrigerasi, kompresor, kondenser, alat ekspansi, evaporator***



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBARAN PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING .....	ii
LEMBARAN PENGESAHAN DOSEN PENGUJI .....	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	iv
HALAMAN MOTTO .....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK .....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR SIMBOL.....	xv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan Penelitian.....	3
1.5. Sistematika Penulisan.....	3
<b>BAB II LANDASAN TEORI</b>	
2.1. Siklus Refrigeran.....	4
2.2. Prinsip Kerja Mesin Refrigeran.....	4
2.2.1. Kompresor .....	6
2.2.2. Kondenser.....	8
2.2.3. Alat Ekspansi.....	11
2.2.4. Evaporator.....	12
2.3. Refrigeran.....	14
2.3.1. Persyaratan Refrigeran .....	14
2.3.2. Diagram Tekanan-Entalpi( $P-h$ ).....	16
a. Keterangan tentang Diagram $P-h$ .....	16

b. Diagram $P-h$ dan Perubahan tingkat keadaan Refrigeran.....	20
<b>BAB III PERANCANGAN</b>	
3.1. Diagram Alir Proses Perancangan.....	22
3.2. Spesifikasi Mesin Refrigerasi.....	23
3.3. Perancangan Mesin Refrigerasi.....	23
3.3. Komponen-komponen Penyusun Mesin Refrigerasi.....	24
3.3.1. Kompresor.....	24
3.3.2. Kondenser.....	25
a. Perancangan panjang pipa kondenser pada proses penurunan suhu .....	26
b. Perancangan panjang pipa kondenser pada proses kondensing .....	32
c. Panjang pipa Kondenser .....	35
3.3.3. Alat ekspansi dan filter.....	35
a. Perancangan panjang pipa kapiler .....	36
b. Panjang total pipa kapiler.....	41
3.3.4. Evaporator .....	42
a. Perancangan panjang pipa evaporator .....	43
b. Perhitungan panjang pipa pada evaporator .....	47
<b>BAB IV PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1. Pendahuluan .....	48
4.2. Persiapan Pengujian .....	48
4.3. Cara Melakukan Pengujian .....	49
4.4. Pengujian Alat .....	49
4.5. Perhitungan Siklus Refrigerasi Ideal.....	50
4.5.1. Perhitungan.....	52
4.5.2. Perhitungan $\dot{Q}_l$ pada evaporator.....	53
4.5.3. Perhitungan $W_{in}$ pada kompresor.....	54
4.5.4. Perhitungan $\dot{Q}_h$ pada kondenser.....	54

4.5.5. Perhitungan COP <sub>r</sub> .....	54
4.6. Perhitungan Suhu Di Dalam Pipa Kondenser .....	59
4.6.1. Perpindahan panas pada air dalam tabung .....	59
4.6.2. Perpindahan panas pada dinding pipa tembaga.....	61
4.6.3. Perpindahan panas pada refrigeran di dalam pipa.....	62
4.6.4. Perhitungan suhu refrigeran di dalam pipa.....	65
4.7. Perhitungan Siklus Refrigerasi Aktual .....	65
4.7.1. Perhitungan.....	66
4.7.2. Perhitungan $\dot{Q}_l$ pada evaporator.....	69
4.7.3. Perhitungan $W_{in}$ pada kompresor.....	69
4.7.4. Perhitungan $\dot{Q}_h$ pada kondenser.....	70
4.7.5. Perhitungan COP <sub>r</sub> .....	70

## BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan.....	76
5.2. Saran.....	77
DAFTAR PUSTAKA.....	78
LAMPIRAN .....	xiv

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Tabel sifat – sifat R-22 .....	40
Tabel 3.2	Tabel perhitungan faktor gesekan .....	40
Tabel 3.3	Tabel perhitungan panjang pipa kapiler .....	41
Tabel 4.1	Tabel pengambilan data pada tabung evaporator .....	50
Tabel 4.2	Tabel pengambilan data pada tabung kondeser .....	50
Tabel 4.3	Tabel perhitungan siklus refrigerasi ideal menggunakan EES .....	55
Tabel 4.4	Tabel hasil perhitungan perpindahan panas air pada tabung kondenser menggunakan EES .....	61
Tabel 4.5	Tabel hasil perhitungan perpindahan panas pada dinding pipa tembaga menggunakan EES .....	62
Tabel 4.6	Tabel perhitungan perpindahan panas refrigeran .....	64
Tabel 4.7	Tabel hasil perhitugan perpidahan panas refrigerant menggunakan EES .....	64
Tabel 4.8	Tabel hasil perhitungan suhu refrigeran di dalam pipa pada kondenser menggunakan EES .....	65
Tabel 4.9	Tabel perhitungan siklus refrigerasi actual menggunakan EES .....	70

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Prinsip kerja mesin refrigerasi.....	5
Gambar 2.2	Diagram T-s .....	6
Gambar 2.3	Konstruksi kompresor torak (silinder ganda ).....	7
Gambar 2.4	Kompresor putar hermetik.....	8
Gambar 2.5	Kondenser tabung dan koil.....	9
Gambar 2.6	Kondenser pendinginan udara koil bersirip plat.....	10
Gambar 2.7	Katub ekspansi termostatik .....	11
Gambar 2.8	Katub ekspansi termostatik .....	12
Gambar 2.9	Pipa kapiler .....	12
Gambar 2.10	Evaporator koil bersirip pelat jenis ekspansi langsung .....	13
Gambar 2.11	Evaporator tabung dan koil .....	14
Gambar 2.12	Penjelasan tentang diagram Tekanan – Entalpi.....	19
Gambar 2.13	Diagram Tekanan - Entalpi dan Siklus Refrigerasi .....	20
Gambar 3.1	Diagram proses perancangan alat.....	22
Gambar 3.2	Skema kerja mesin refrigerasi .....	23
Gambar 3.3	Skema mesin refrigerasi .....	23
Gambar 3.4	Mesin siklus refrigerasi .....	24
Gambar 3.5	Kompresor .....	24
Gambar 3.6	Tabung kondenser .....	25
Gambar 3.7	Skematik perpindahan panas pada kondenser .....	26
Gambar 3.8	Alat ekspansi (pipa kapilar) dan filter .....	35
Gambar 3.9	Tabung evaporator.....	42
Gambar 3.10	Skematik perpindahan panas pada evaporator .....	43
Gambar 4.1	Diagram T – s (siklus ideal) .....	51
Gambar 4.2	Grafik hubungan $t - Q_l$ (siklus ideal).....	55
Gambar 4.3	Grafik hubungan $t - W_{in}$ (siklus ideal).....	56
Gambar 4.4	Grafik hubungan antara $t - Q_h$ (siklus ideal) .....	57
Gambar 4.5	Grafik hubungan $t - COP_r$ (siklus ideal).....	58
Gambar 4.6	Skematik perpindahan panas pada kondenser .....	59

Gambar 4.7	Diagram T – s (siklus aktual) .....	66
Gambar 4.8	Grafik hubungan t – $\dot{Q}_l$ (siklus aktual).....	71
Gambar 4.9	Grafik hubungan t – Win (siklus aktual).....	72
Gambar 4.10	Grafik hubungan t – Qh (siklus aktual).....	73
Gambar 4.11	Grafik hubungan t - COP <sub>r</sub> (siklus aktual).....	74

## DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan	Satuan
A	Luas	m <sup>2</sup>
p	Panjang tabung	m
d	Diameter tabung	m
Q	Laju aliran	m <sup>3</sup> /s
u	Kecepatan	m/s
T	Suhu	°C
μ	Viskositas dinamik air	kg/m.s
ρ	Massa jenis air	kg/m <sup>3</sup>
ν	Viskositas kinematik air	m <sup>2</sup> /s
k	Konduktivitas	W/m.°C
h	Koefisien perpindahan panas	W/m <sup>2</sup> .°C
c <sub>p</sub>	Panas spesifik pada tekanan konstan	kJ/kg °C
x	Tebal pipa	m
$\dot{m}$	Laju aliran massa	kg/s
$\dot{Q}$	Laju perpindahan panas	Watt
R	Resistan	°C/W
$G_z^{-1}$	Bilangan Graetz	
Nu	Bilangan Nusselt	
Pr	Bilangan Prandtl	
Re	Bilangan Reynolds	

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Mesin-mesin refrigerasi pada dewasa ini semakin banyak dimanfaatkan sejalan dengan kemajuan teknologi dan meningkatkan taraf hidup. Secara umum di Indonesia mesin-mesin refrigerasi banyak digunakan di bidang industri, kedokteran, dan rumah tangga. Penerapan teknik refrigerasi yang terbanyak adalah di bidang industri, yang meliputi industri makanan dan minuman, industri kimia dan proses, manufaktur dan konstruksi dan industri lainnya.

Di negara Indonesia penggunaan mesin-mesin refrigerasi akan menjadi lebih meluas karena Indonesia beriklim panas. Mesin refrigerasi banyak digunakan untuk mengawetkan makanan, penyejuk ruangan, dispenser, membuat es batu, membuat es krim dan untuk keperluan rumah tangga lainnya. Di bidang kedokteran misalnya untuk mendapatkan suhu tertentu dalam tempat penyimpanan suatu obat. Di bidang industri makanan dan minuman refrigerasi berfungsi mengendalikan reaksi fermentasi dan mengawetkan beberapa produk setengah jadi serta produk akhir. Dalam industri kimia dan proses refrigerasi berfungsi untuk memisahkan gas-gas, pengembunan gas-gas, pemadatan suatu zat di dalam campuran untuk memisahkannya dari zat yang lain, menjaga kondisi suhu rendah dalam penyimpanan gas cair agar tekanannya tidak berlebihan, dan penghilangan kalor reaksi. Dalam dunia industri manufaktur dan konstruksi misalnya untuk menjaga keseragaman suhu agar logam tidak memuai atau menyusut, menjaga kelembaban udara untuk mencegah korosi pada logam, penyaringan udara sehingga bebas debu. Dengan berhasilnya pembangunan ekonomi dan industri di negara Indonesia mesin-mesin refrigerasi akan lebih banyak berperan dan dimanfaatkan.

Penelitian Tugas akhir ini mengambil judul” *Perancangan dan Pembuatan Mesin Refrigerasi Sederhana* “. Komponen utama dari mesin refrigerasi yang akan dirancang dan dibuat adalah kompresor, kondenser, katup ekspansi, dan evaporator. Berdasarkan komponen yang digunakan maka mesin ini termasuk



siklus refrigerasi kompresi uap. Siklus refrigerasi ini refrigeran menyerap panas dari udara/zat yang didinginkan dan mengeluarkan panas ke udara sekeliling di luar udara/zat yang didinginkan. Sehingga suhu di sekitar evaporator akan menjadi dingin dan suhu di sekitar kondenser akan menjadi panas. Kendala-kendala yang dihadapi dalam perancangan kali ini antara lain adalah terbatasnya alat-alat ukur yang harus digunakan untuk mendukung perancangan dan penelitian yang baik, seperti termometer yang dapat mengukur suhu didalam pipa dan alat pengukur aliran refrigeran (*flow meter*) yang belum tersedia dipasaran.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dari uraian diatas maka dapat dirumuskan pokok permasalahan dari penelitian yang akan dilakukan, yakni :

1. Perlu dirancang dan dibuat mesin refrigerasi yang dapat mendinginkan air pada tabung evaporator dan memanaskan air pada tabung kondenser.
2. Perlu dianalisis unjuk kerja dari sistem refrigerasi dan dianalisis perindahan panas yang terjadi pada kondenser dan evaporator.

## 1.3 Batasan Masalah

Pembatasan masalah dalam penelitian ini dilakukan untuk menyederhanakan penelitian agar sesuai dengan tujuan yang diharapkan, serta untuk menghindari kerancuan pembahasan, sehingga ruang lingkup pembahasan menjadi jelas dan tidak meluas ke hal - hal yang tidak diinginkan. Pembatasan masalah dalam penelitian ini meliputi hal - hal sebagai berikut :

1. Dalam perancangan, menggunakan kompresor  $\frac{3}{4}$  PK, system *rotary*.
2. Alat ini menggunakan refrigeran R-22 dengan massa 0,5 kg.
3. Analisis yang dilakukan hanya mengenai komponen mesin refrigerasi dan siklus refrigerasinya.
4. Besaran yang diukur adalah :
  - a. Tekanan refrigeran setelah evaporator melalui alat ukur *pressure gauge ( low pressure )*.

- b. Tekanan refrigeran sebelum kondenser melalui alat ukur *pressure gauge (high pressure)* .
- c. Temperatur refrigeran evaporator dan kondenser melalui alat ukur termometer.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

Merancang dan membuat mesin refrigerasi yang multi guna

#### **1.5 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini terdiri dari beberapa bab yaitu :

Bab I pendahuluan meliputi latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, dan tujuan serta manfaat penelitian.

Bab II landasan teori berisikan teori-teori yang melandasi penyusunan tugas akhir ini. Teori-teori ini menjelaskan tentang siklus refrigerasi, prinsip kerja mesin refrigerasi, komponen-komponen dari mesin refrigerasi serta refrigeran.

Bab III perancangan berisikan penjelasan tentang proses perancangan alat mulai dari penentuan material yang akan digunakan, metode-metode perancangan yang digunakan, sketsa rancangan disertai diagram alir perancangan serta penentuan dimensi dari masing-masing komponen yang digunakan.

Bab IV perhitungan dan pembahasan berisikan tentang hasil pengujian yang dilakukan dibandingkan dengan hasil perhitungan, dan juga analisis kerja dari hasil pengujian yang diperoleh.

Bab V penutup berisikan kesimpulan-kesimpulan dan saran dari proses pengujian yang telah dilakukan.

#### **1.6 Bagian Penutup**

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Siklus Refrigerasi**

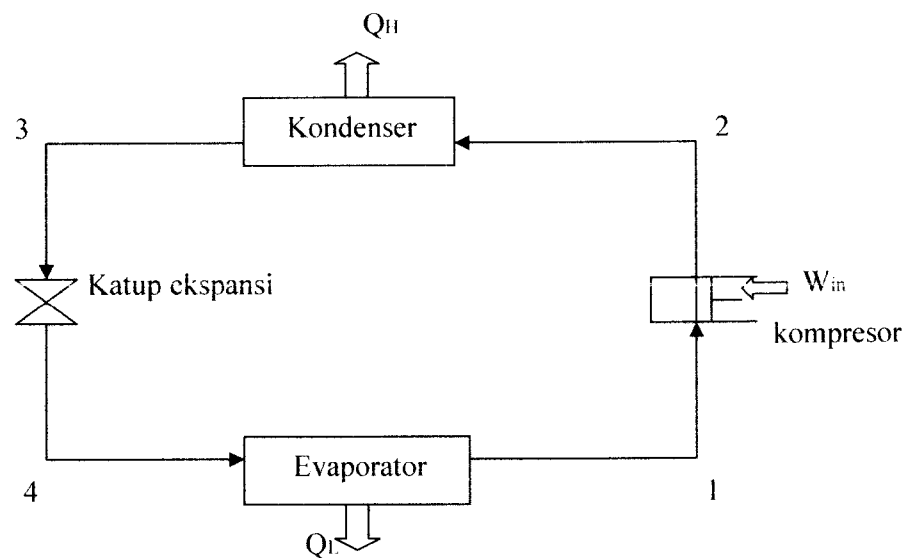
Siklus refrigerasi yang banyak digunakan adalah siklus refrigerasi kompresi uap dan siklus refrigerasi absorpsi. Sebuah siklus refrigerasi beroperasi dengan kondensor, alat ekspansi dan evaporator, namun yang membedakan dari kedua siklus tersebut adalah cara mentransformasikan uap tekanan rendah refrigeran dari evaporator menjadi uap tekanan tinggi dan dialirkan ke kondenser. Pada siklus kompresi uap, digunakan kompresor untuk menghisap uap refrigeran dari evaporator, kemudian uap refrigeran tersebut ditekan sampai mencapai tingkat mudah diembunkan dan dialirkan ke kondenser. Lalu tekanannya diturunkan oleh katup ekspansi agar cairan tersebut dapat menguap kembali. Sedangkan pada siklus absorpsi pertama-tama, sistem absorpsi menyerap uap tekanan rendah ke dalam zat cair penyerap (*absorbing liquid*) yang cocok. Yang terkandung di dalam proses absorpsi yaitu konversi (perubahan) dari uap menjadi cair; karena proses ini sama dengan kondensasi, maka selama proses berjalan, kalor dilepaskan. Tahap berikutnya yaitu menaikkan tekanan zat cair dengan pompa, dan yang terakhir membebaskan uap dari zat cair penyerap dengan pemberian kalor. Dalam hal ini yang dipergunakan adalah siklus refrigerasi kompresi uap, karena proses transformasi uap tekanan rendah refrigeran menjadi uap tekanan tinggi lebih sederhana dan murah jika dibandingkan dengan siklus refrigerasi absorpsi. [WFS92]

#### **2.2 Prinsip Kerja Mesin Refrigerasi**

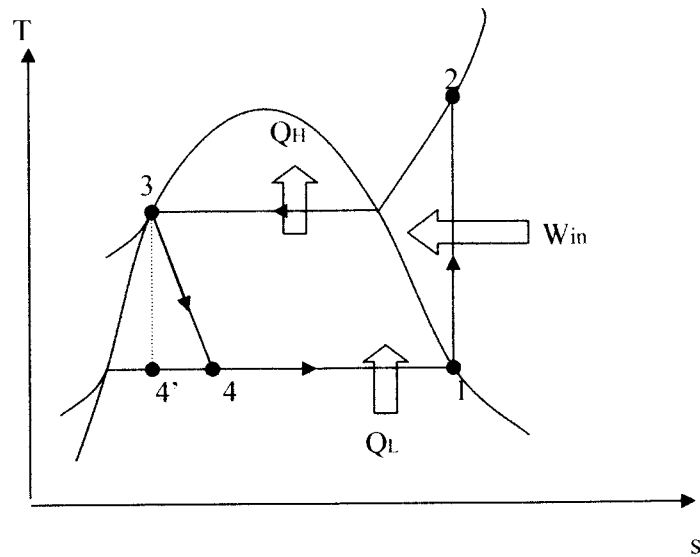
Prinsip kerja mesin refrigerasi adalah mengalirkan refrigeran di dalam sebuah sistem untuk menyerap kalor dari udara yang ada di sekitarnya. Refrigeran yang ada di dalam sistem tersebut akan mengalami perubahan fase dari gas ke cair atau sebaliknya selama siklus berlangsung. Pada kompresor, uap refrigeran

dinaikkan tekanannya. Kemudian uap panas tersebut didinginkan pada kondensor agar menjadi cairan. Untuk menurunkan tekanan dari refrigeran cair dalam kondenser agar mudah menguap digunakan alat ekspansi. Pada evaporator, cairan akan menguap dan menyerap kalor dari udara yang ada di sekitarnya. Dalam bentuk uap tekanan rendah, refrigeran dihisap lagi oleh kompresor, sehingga proses tersebut akan terus berulang. Dalam sistem refrigerasi jumlah refrigeran adalah tetap meskipun mengalami perubahan fase, sehingga dalam sistem tidak perlu ditambahkan refrigeran jika tidak terjadi kebocoran.

Masing - masing dari keempat komponen siklus refrigerasi kompresi uap yaitu, kompresor, kondenser, alat ekspansi dan evaporator mempunyai sifat - sifat yang tersendiri. Pada waktu yang sama masing - masing komponen dipengaruhi oleh kondisi yang disebabkan komponen lainnya, seperti pada gambar 2.2. [WFS92]



**Gambar 2.1** Prinsip kerja mesin refrigerasi



**Gambar 2.2** Diagram T-s

Keterangan diagram:

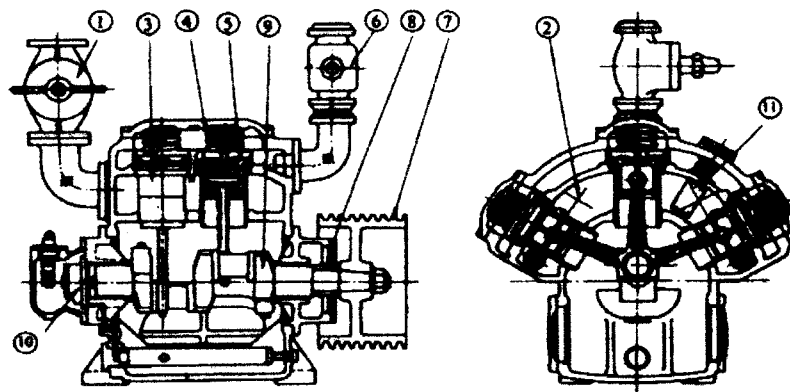
1. 1-2 kompresi isentropik ( $\Delta s = 0$ )
2. 2-3 tekanan konstan pembuangan kalor pada kondensor
3. 3-4 throttling (katup ekspansi)
4. 4-1 tekanan konstan penyerapan kalor pada evaporator

### 2.2.1 Kompresor

Kompresor adalah jantung dari siklus refrigerasi kompresi uap yang bertugas untuk menghisap dan menekan refrigeran sehingga mudah mengembun lalu dialirkan ke kondensor dalam sistem refrigerasi seperti pada gambar 2.2 (proses 1-2). Empat jenis kompresor refrigerasi yang paling umum adalah kompresor torak (*reciprocating*), sekrup (*screw*), sentrifugal dan sudu (*vane*). Ditinjau dari cara penggerakannya kompresor terbagi atas kompresor jenis terbuka (*open type compressor*), kompresor semihertmetik dan kompresor hermetik. Energi yang diperlukan untuk kompresi diberikan oleh motor listrik yang menggerakkan kompresor. Jadi dalam proses kompresi, energi diberikan kepada

uap refrigeran. Pada waktu uap refrigeran dihisap masuk kedalam kompresor tekanan dan temperturnya rendah, tetapi selama proses berlangsung tekanan maupun temperturnya akan naik. Jumlah refrigeran yang bersirkulasi dalam siklus refrigerasi tergantung pada jumlah uap yang dihisap masuk ke dalam kompresor. Dalam hal ini yang digunakan adalah kompresor torak jenis hermetik. [WFS92]

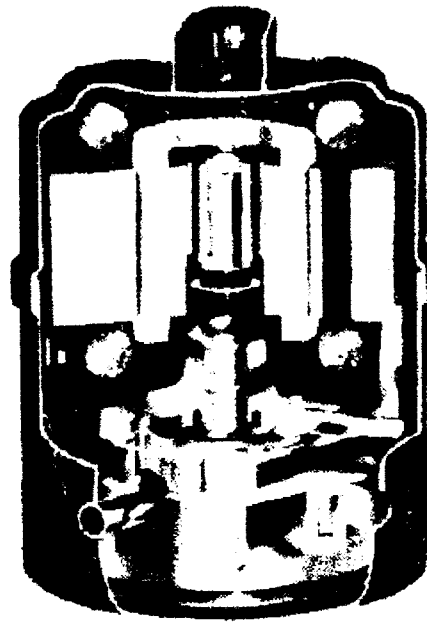
Berikut ini gambar macam-macam kompresor :



**Gambar 2.3** Konstruksi kompresor torak (silinder ganda) [WRA86]

Keterangan gambar :

- |                                  |                    |
|----------------------------------|--------------------|
| 1. Katup penutup pada pipa isap  | 7. Puli alur – V   |
| 2. Saringan isap                 | 8. Sekat poros     |
| 3. Silinder                      | 9. Poros engkol    |
| 4. Pegas keamanan                | 10. Pompa minyak   |
| 5. Torak                         | 11. Katup keamanan |
| 6. Katup penutup pada pipa buang |                    |



**Gambar 2.4** Kompresor putar hermetik[WRA86]

Untuk mengetahui unjuk kerja dari kompresor maka menggunakan persamaan :

$$W_{in} = Q_H - Q_L \quad (1)$$

$$W_{in} = \dot{m} (h_2 - h_1) \quad (2)$$

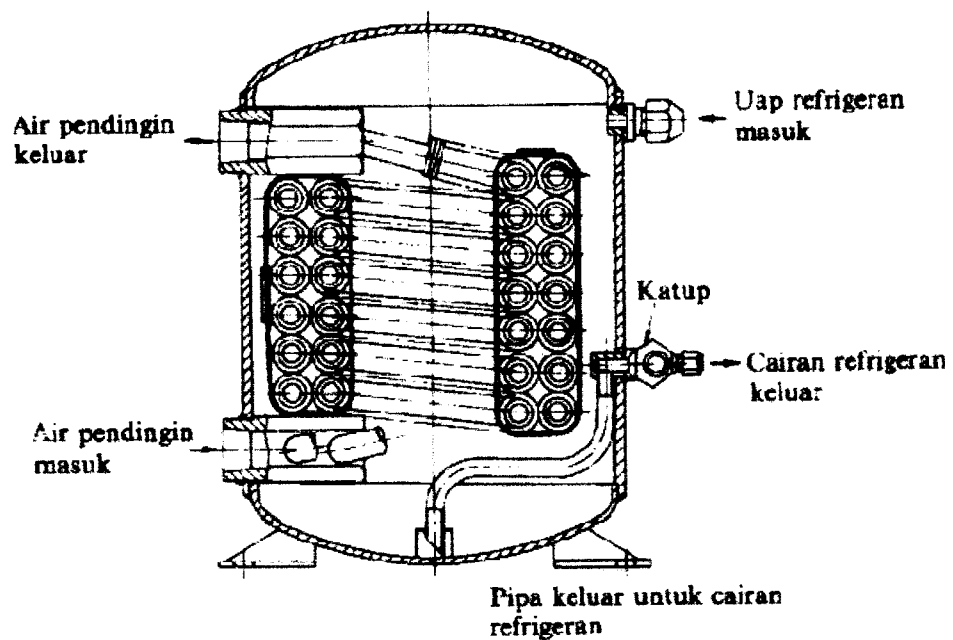
$$COP_R = \frac{Q_L}{W_{net}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (3)$$

### 2.2.2 Kondenser

Kondenser berfungsi untuk mencairkan uap refrigeran yang bertekanan dan bertemperatur tinggi (yang keluar dari kompresor), diperlukan usaha melepaskan kalor sebanyak kalor laten pengembunan, dengan cara mendinginkan uap refrigeran itu. Jumlah kalor yang dilepaskan oleh uap refrigeran kepada air pendingin atau udara pendingin, didalam kondenser, sama selisih entalpi uap refrigeran pada seksi masuk dan pada seksi keluar kondenser, seperti pada gambar 2.2 (proses 2 – 3).

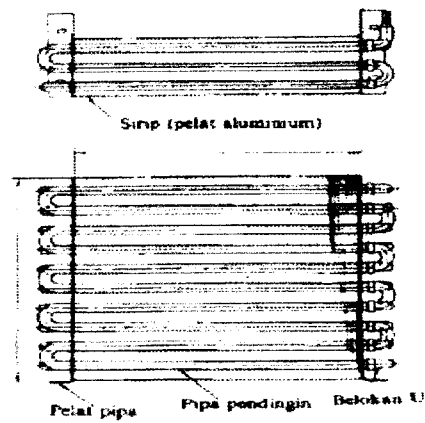
Jumlah kalor yang dilepaskan di dalam kondensor sama dengan jumlah kalor yang diserap oleh refrigeran didalam evaporator dan ekuivalen dengan energi yang diperlukan untuk melakukan untuk melakukan kerja kompresor.

Di dalam pipa kondenser terjadi perpindahan kalor dari uap refrigeran ke air pendingin. Jumlah kalor yang dipindahkan melalui dinding pipa pendingin tergantung pada perbedaan temperatur, material pipa, laju aliran massa fluida kerja, dan sebagainya. Sedangkan kotoran dan kerak yang menempel pada pipa menghalangi proses perpindahan kalor. [WRA86]



**Gambar 2.5** Kondenser tabung dan koi[WRA86]





**Gambar 2.6** Kondenser pendinginan udara koil bersirip plat[WRA86]

Untuk mengetahui perpindahan panas yang terjadi pada kondenser maka menggunakan persamaan :

$$Q_h = m(h_2 - h_3) \quad (4)$$

Untuk menentukan panjang pipa pada kondenser maka menggunakan persamaan :

$$Q_h = h \cdot A (T_s - T_\infty) \quad (5)$$

$$A = \frac{Q_h}{h \cdot (T_s - T_\infty)} \quad (6)$$

Dimana :  $h$  = koefisien perpindahan panas air ( $W/m \cdot ^\circ C$ )

$T_s$  = suhu pipa ( $^\circ C$ )

$T_\infty$  = suhu air ( $^\circ C$ )

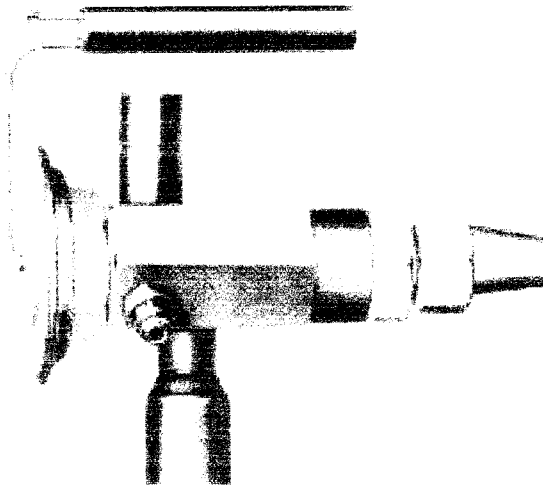
$A$  = luas ( $m^2$ )

### 2.2.3 Alat Ekspansi

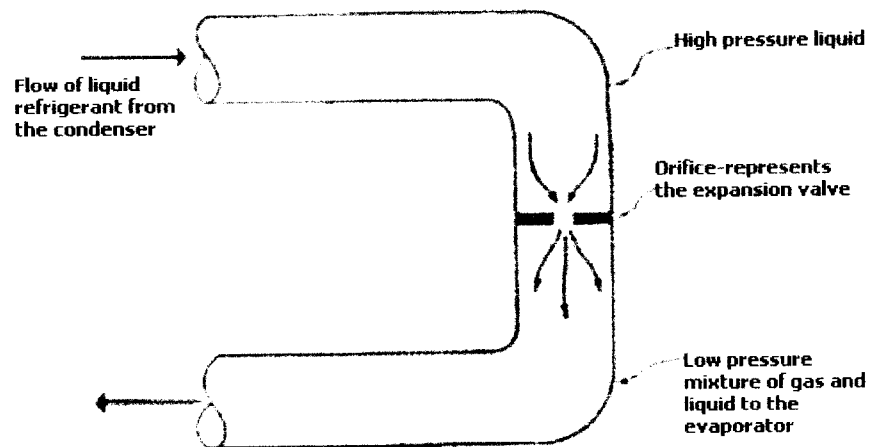
Untuk menurunkan tekanan dari refrigeran cair (tekanan tinggi) agar mudah menguap maka dipergunakan alat ekspansi yang dapat berupa pipa kapiler (*capillary tube*) ataupun katup ekspansi (*expansion valve*). Setiap alat tersebut dirancang untuk suatu penurunan tekanan tertentu, seperti pada gambar 2.2 (proses 3-4).

Pipa kapiler dan katup ekspansi berfungsi untuk menurunkan tekanan dan mengatur jumlah refrigeran yang mengalir ke dalam evaporator. Pipa kapiler sering pada mesin refrigerasi berkapasitas rendah, seperti pada penyegar udara, dispenser, dan sebagainya. Pipa kapiler adalah pipa kecil berdiameter dalam 0,8 sampai 2 mm dan panjangnya kurang lebih 1 meter.

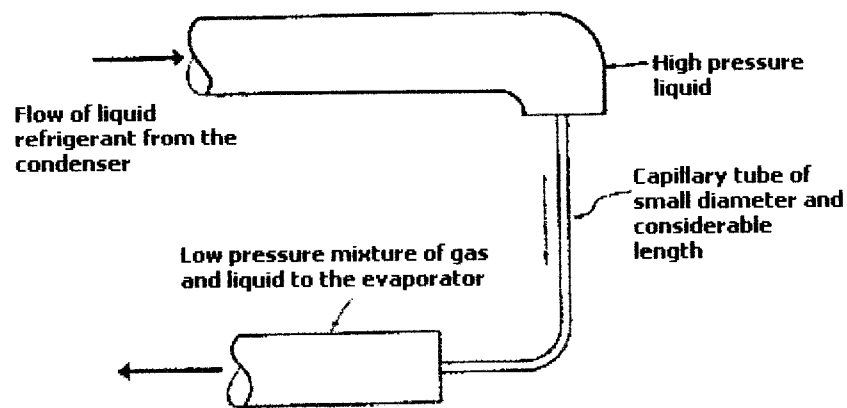
Tahanan dari pipa kapiler inilah yang digunakan untuk menurunkan tekanan. Diameter dan panjang pipa kapiler ditetapkan berdasarkan kapasitas pendinginan, kondisi operasi dan jumlah refrigeran dari mesin pendingin yang bersangkutan. Konstruksi pipa kapiler sangat sederhana, sehingga jarang terjadi gangguan. Pada waktu kompresor berhenti bekerja, pipa kapiler menghubungkan bagian tekanan tinggi dengan bagian tekanan rendah, sehingga menyamakan tekanannya dan memudahkan start berikutnya. [WRA86]



**Gambar 2.7** Katub ekspansi termostatik [WFS92]



**Gambar 2.8** Katub ekspansi termostatik [VPL64]

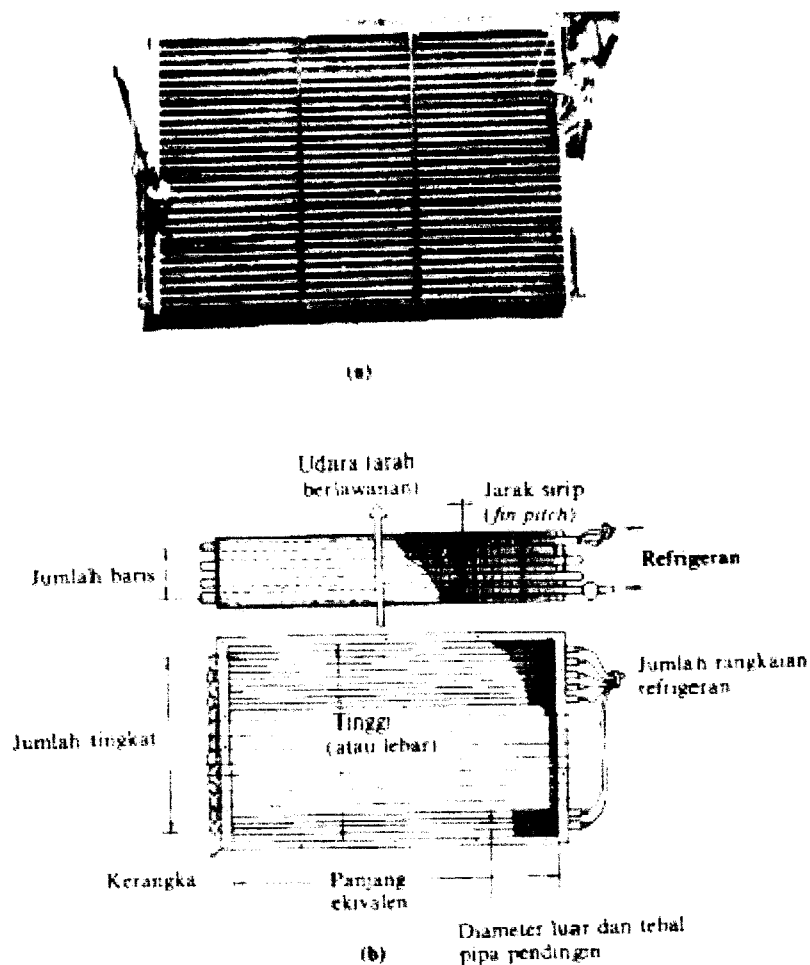


**Gambar 2.9** Pipa kapiler [VPL64]

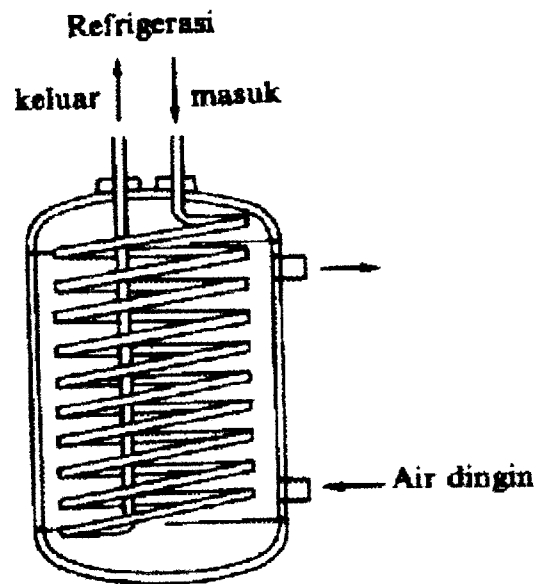
#### 2.2.4 Evaporator

Seperti halnya kondensor, maka evaporator juga berfungsi sebagai penukar kalor. Evaporator yang biasa digunakan berbentuk pipa bersirip pelat aluminium. Tekanan cairan refrigeran yang diturunkan pada alat ekspansi akan didistribusikan secara merata ke dalam pipa evaporator oleh distributor refrigeran. Dalam hal ini refrigeran akan menguap dan menyerap kalor dari udara ruangan yang dialirkan melalui permukaan luar pipa evaporator. Apabila udara didinginkan (di bawah titik embun), maka air yang ada dalam udara akan mengembun pada permukaan evaporator. Jadi cairan refrigeran diuapkan secara berangsur - angsur karena

menerima kalor sebanyak kalor laten penguapan selama cairan refrigeran mengalir dalam pipa evaporator. Selama proses tersebut, di dalam pipa akan terdapat campuran refrigeran dalam fase cair dan gas. Dalam keadaan tersebut tekanan (tekanan penguapan) dan temperaturnya (temperatur penguapan) adalah konstan. Uap refrigeran (uap jenuh kering) yang terjadi karena penguapan sempurna dalam pipa evaporator selanjutnya akan dihisap oleh kompresor, seperti pada gambar 2.2 (proses 4-1). [WRA86]



**Gambar 2.10** Evaporator koil bersirip pelat jenis ekspansi langsung [WRA86]



**Gambar 2.11** Evaporator tabung dan koil[WRA86]

Untuk menentukan perpindahan panas yang terjadi pada evaporator menggunakan persamaan :

$$Q_1 = \dot{m} (h_1 - h_4) \quad (7)$$

Untuk menentukan panjang pipa pada evaporator maka menggunakan persamaan :

$$Q_1 = h \cdot A \cdot \Delta T_m$$

$$Q_1 = h \cdot A \cdot (T_s - T_\infty) \quad \text{atau} \quad A = \frac{Q_1}{h \cdot (T_s - T_\infty)} \quad (8)$$

## 2.3 Refrigeran

### 2.3.1 Persyaratan Refrigeran

Untuk terjadinya proses refrigerasi diperlukan suatu bahan yang mudah diubah bentuknya dari gas menjadi cair atau sebaliknya untuk mengambil panas dari evaporator dan membuangnya di kondenser. Bahan tersebut dikenal dengan nama refrigeran. Karakteristik termodinamika dari refrigeran antara lain meliputi

temperatur penguapan, tekanan penguapan, temperatur pengembunan dan tekanan pengembunan. Untuk keperluan suatu jenis pendinginan diperlukan refrigeran dengan karakteristik termodinamika yang tepat. Adapun syarat-syarat umum untuk refrigeran adalah :

1. Tekanan penguapannya harus cukup tinggi

Sebaiknya refrigeran memiliki temperatur penguapan pada tekanan yang lebih tinggi, sehingga dapat dihindari kemungkinan terjadinya vakum pada evaporator, dan turunnya efisiensi volumetrik karena naiknya perbandingan kompresi.

2. Tekanan pengembunan yang tidak terlampaui tinggi

Apabila tekanan pengembunannya rendah, maka perbandingan kompresinya menjadi lebih rendah sehingga penurunan prestasi kompresor dapat dihindarkan. Selain itu, dengan tekanan kerja yang lebih rendah, mesin dapat bekerja lebih aman karena kemungkinan terjadinya kebocoran, kerusakan, ledakan, dan sebagainya, menjadi lebih kecil.

3. Kalor laten penguapan harus tinggi

Refrigeran yang memiliki kalor laten penguapan yang tinggi lebih menguntungkan karena untuk kapasitas refrigeran yang sama, jumlah refrigeran yang bersirkulasi menjadi lebih kecil.

4. Volume spesifik (terutama dalam fase gas) yang cukup kecil

Refrigerant dengan kalor laten penguapan yang besar dan volume spesifik gas yang kecil ( berat jenis yang besar ) akan memungkinkan penggunaan kompresor dengan volume langkah torak yang lebih kecil. Dengan demikian, untuk kapasitas refrigerasi yang sama, ukuran unit refrigerasi yang bersangkutan menjadi lebih kecil.

Namun, untuk unit pendingin air setrifugal yang kecil, lebih dikehendaki refrigeran dengan volume spesifik yang agak besar. Hal tersebut diperlukan untuk menaikkan jumlah gas yang bersirkulasi, sehingga dapat mencegah menurunnya efisiensi kompresor setrifugal.

5. Koefisien prestasinya harus tinggi

Dari segi karakteristik termodinamika dari refrigeran, koefisien prestasi merupakan parameter yang penting untuk menentukan biaya operasi.

6. Konduktivitas termal yang tinggi

Konduktivitas termal sangat penting untuk menentukan karakteristik perpindahan kalor.

7. Viskositas yang rendah dalam fase cair maupun fase gas

Dengan turunnya tahanan aliran refrigeran dalam pipa, kerugian tekanannya akan berkurang.

8. Konstanta dielektrika dari refrigeran yang kecil, tahanan listrik yang besar, serta tidak menyebabkan korosi pada material isolator listrik.

9. Refrigeran hendaknya stabil dan tidak bereaksi dengan material yang dipakai, sehingga tidak menyebabkan korosi.

10. Refrigeran tidak beracun dan tidak berbau merangsang.

11. Tidak mudah terbakar atau meledak bila bercampur dengan udara, minyak pelumas dan sebagainya.

12. Refrigeran harus mudah dideteksi jika terjadi kebocoran

13. Harganya tidak mahal dan mudah diperoleh.[WRA86]

### 2.3.2 Diagram Tekanan - Entalpi ( $P-h$ )

#### a. Keterangan tentang Diagram Tekanan – Entalpi ( $P-h$ )

Diagram tekanan - entalpi menunjukkan karakteristik dari refrigeran sehingga dapat menyatakan hubungan antara tekanan ( $P$ ) pada ordinat dan entalpi ( $h$ ) pada absis dari siklus refrigerasi. Diagram  $P-h$  dibagi menjadi tiga bagian untuk membedakan tingkat keadaan cairan super dingin (*sub-cooled*), uap basah dan uap super panas (*superheated vapor*), oleh garis cair jenuh dan garis uap jenuh.

1. Garis cair jenuh

Garis cair jenuh adalah garis lengkung mulai dari sebelah kiri bawah sampai kanan atas. Tingkat keadaan dimana cairan refrigeran mulai

menguap dinyatakan terjadi pada garis tersebut. Daerah cairan super dingin yang temperaturnya lebih rendah daripada cairan jenuh terletak di bagian sebelah kiri garis cair jenuh.

Disamping itu, garis cair jenuh menyatakan adanya hubungan antara temperatur jenuh dan tekanan yang bersangkutan.

2. Garis uap jenuh

Garis uap jenuh adalah bagian kanan dari garis lengkung. Garis uap jenuh dan garis cair jenuh bertemu pada titik kritis. Refrigeran pada garis uap jenuh ada pada tingkat keadaan uap jenuh kering. Daerah uap super panas yang temperaturnya lebih tinggi daripada uap jenuh ada disebelah kanan dari garis uap jenuh. Jadi, daerah uap basah adalah diantara garis uap jenuh dan garis cair jenuh.

3. Tekanan ( $P, \text{kg/cm}^2 \text{ abs}$ )

Tekanan dinyatakan pada ordinat yang berskala logaritma. Garis isobar menghubungkan titik-titik keadaan yang bertekanan sama, yaitu garis horisontal. Tekanan dinyatakan dalam tekanan absolut.

4. Entalpi ( $i, \text{kcal/kg}$ )

Entalpi dinyatakan sebagai absisa, oleh karena itu garis isoentalpi adalah garis vertikal.

5. Temperatur ( $t, ^\circ\text{C}$ )

Didalam daerah cair, garis isothermal boleh dikatakan vertikal. Garis isothermal seringkali tidak diperlihatkan, dalam daerah uap basah, oleh karena garis isothermal adalah horisontal berhimpit dengan garis isobar yang bersangkutan. Di dalam daerah super panas, garis-garis isothermal itu agak melengkung menuju arah kanan bawah.

6. Volume spesifik ( $v, \text{m}^3/\text{kg}$ )

Garis iso-volume menghubungkan titik-titik keadaan dengan volume spesifik yang sama. Arahnya sedikit miring kekanan atas.



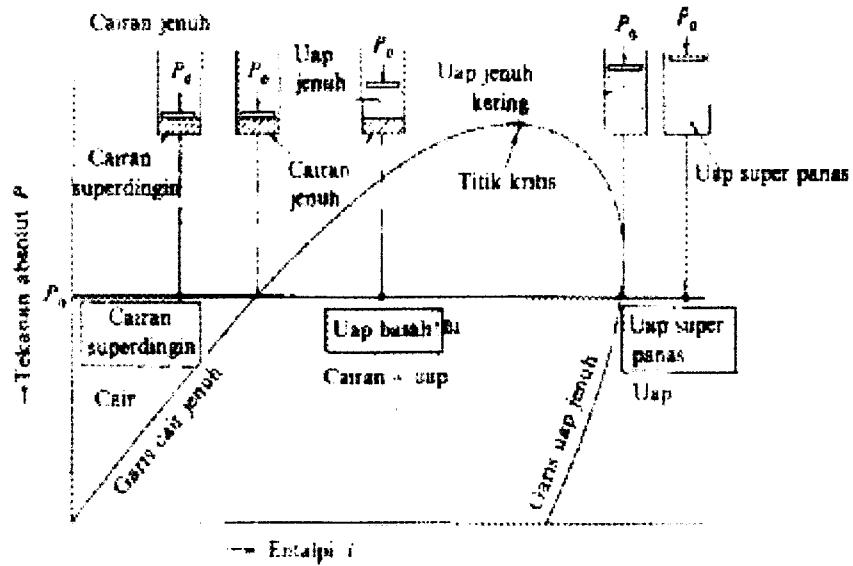
7. Derajat kekeringan ( $x$ )

Garis iso-derajat kekeringan merupakan garis-garis bagi dari garis-garis datar antara garis cair jenuh dan garis uap jenuh. Pada garis iso-derajat kekeringan itu ditunjukkan besarnya derajat kekeringannya.

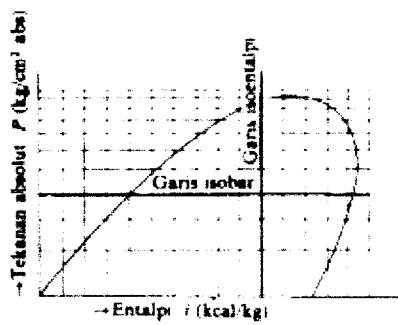
$x = 1,0$  menyatakan derajat kekeringan sama dengan satu, jadi menyatakan kondisi uap jenuh (kering);  $x = 0,3$  menyatakan kondisi uap basah dengan kandungan uap kering sebanyak 30% dan cairan 70%;  $x = 0,0$  menyatakan kondisi cair jenuh, jadi tidak mengandung uap.

8. Entropi (s.kcal/kg °K )

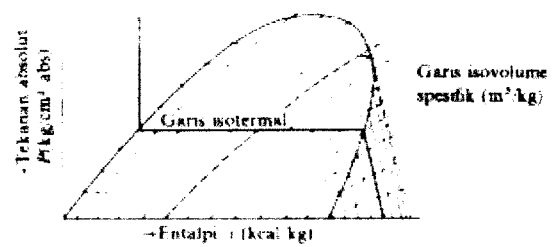
Garis entropi yang menghubungkan titik-titik keadaan dengan entropi yang sama merupakan garis miring dari kiri kebawah ke kanan atas. Besarnya entropi yang bersangkutan dinyatakan dengan angka pada garis tersebut.



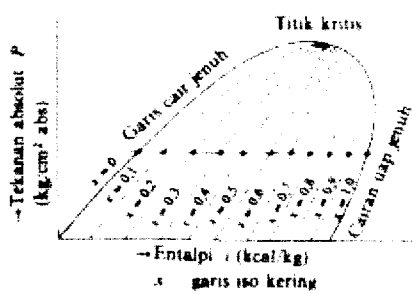
a. keterangan tentang diagram mollier



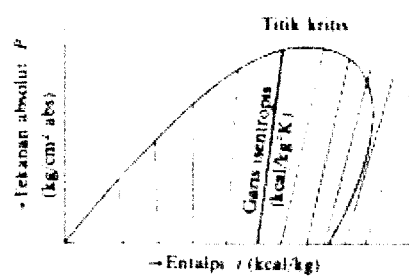
b. Garis isobar dan isoentalpi



c. Garis isothermal dan isovolume spesifik



d. Garis iso kering

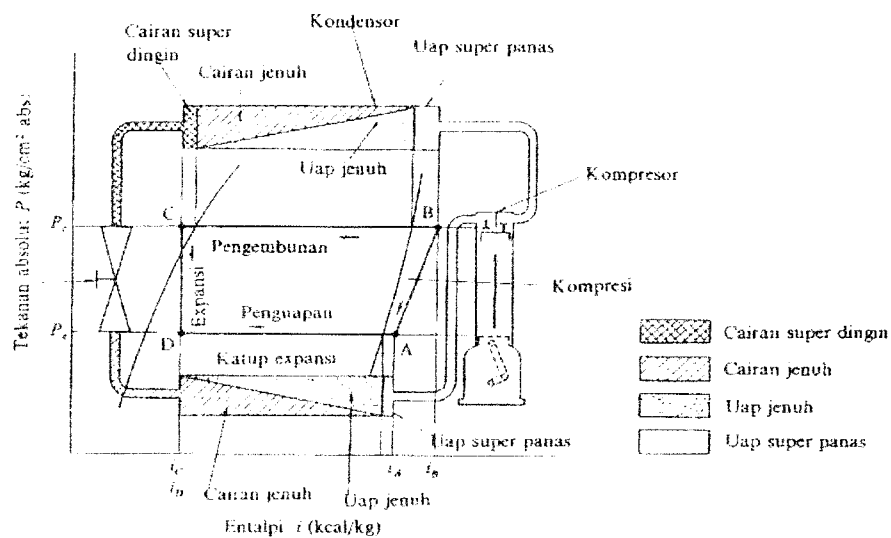


e. Garis isentropis

Gambar 2.12 Penjelasan tentang diagram Tekanan - Entalpi [WRA86]

### b. Diagram Tekanan - Entalpi ( $P-h$ ) dan Perubahan tingkat keadaan refrigeran

Karakteristik refrigeran dapat juga dilihat dari diagram Tekanan-entalpi. Dalam diagram ini proses siklus refrigerasi menyangkut 4 hal pokok (penguapan - kompresi - pengembunan - ekspansi - kompresi dan seterusnya). Siklus refrigerasi dapat digambarkan sehingga mempermudah perhitungan perancangan ataupun pemeriksaan terhadap kondisi operasinya.



**Gambar 2.13** Diagram Tekanan - Entalpi dan Siklus Refrigerasi [WRA86]

Beberapa hal berikut ini keterangan siklus refrigerasi pada diagram Tekanan - Entalpi :

1. Garis horisontal menunjukkan proses tekanan konstan, seperti terjadi pada penguapan refrigeran dalam evaporator, dan pengembunan di dalam kondenser. Kenaikan entalpi dan penurunan entalpi adalah sama dengan jumlah kalor yang dimasukkan dan jumlah kalor yang dilepaskan oleh refrigeran.
2. Proses kompresi di dalam kompresor dapat dianggap adiabatik reversibel (isentropik), sehingga terjadi pada garis konstan. Kerja yang dilakukan

oleh kompresor (isentropik) adalah sama dengan kenaikan entalpi refrigeran antara seksi keluar dan seksi masuk kompresor.

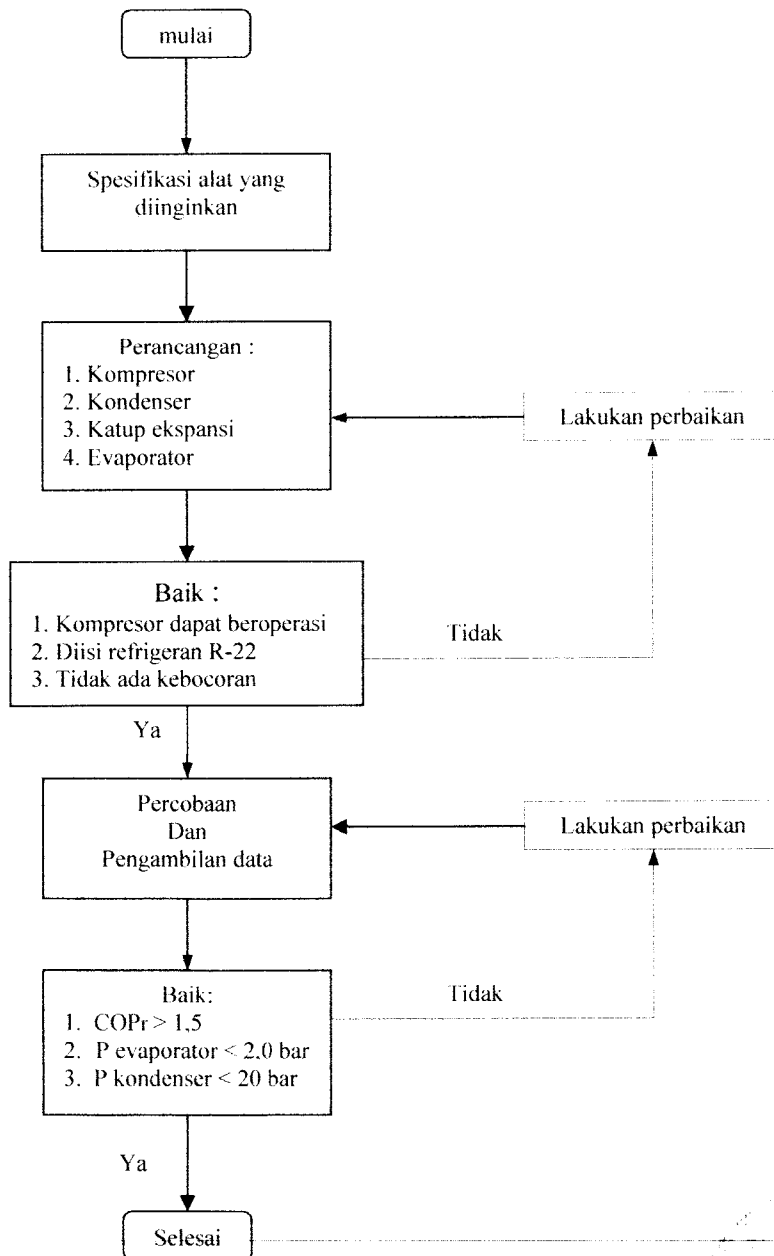
3. Ekspansi trothing adalah proses penurunan tekanan pada entalpi konstan, yang terjadi pada refrigeran melalui katub ekspansi dinyatakan berlangsung sepanjang garis iso-entalpi (arah vertikal). Jadi, entalpi refrigeran sebelum dan sesudah katub ekspansi adalah sama.
4. Dalam proses refrigerasi ini, perpindahan kalor antara refrigeran dan lingkungannya dianggap hanya terjadi pada evaporator dan kondensor saja. Selain itu selama proses tersebut dianggap tidak terjadi kerugian tekanan karena gesekan atau sebab yang lain.

Oleh karena itu, siklus refrigreasi (ideal) yang terlukis pada diagram Tekanan - Entalpi akan berbeda dengan siklus refrigerasi yang sebenarnya.  
[WRA86]

## BAB III PERANCANGAN

### 3.1. Diagram Alir Proses Perancangan

Proses perancangan alat diperlihatkan dengan diagram alir / *flowchart* seperti gambar 3.1 :



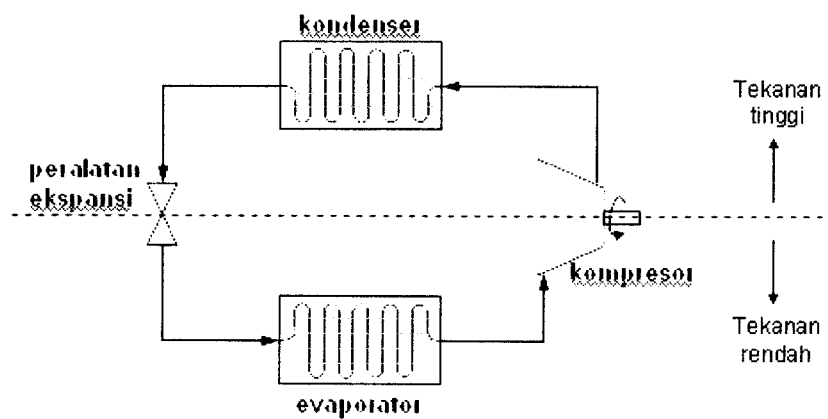
**Gambar 3.1** Diagram proses perancangan alat.

### 3.2 Spesifikasi Mesin Refrigerasi

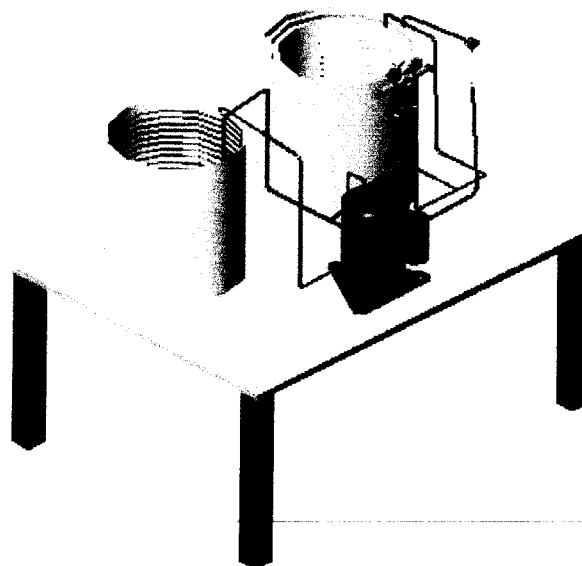
Perancangan mesin refrigerasi ini mampu untuk mendinginkan air di dalam tabung evaporator dari suhu 28°C sampai suhu 17°C dengan suhu permukaan pipa tembaga 6°C-15°C dan memanaskan air di dalam tabung kondenser dari suhu 26°C sampai suhu 37°C dengan suhu permukaan pipa 72°C-37°C dalam waktu 35 – 75 menit, dengan P evaporator 1,8 bar dan P kondenser 15,5 bar.

### 3.3 Perancangan Mesin Refrigerasi

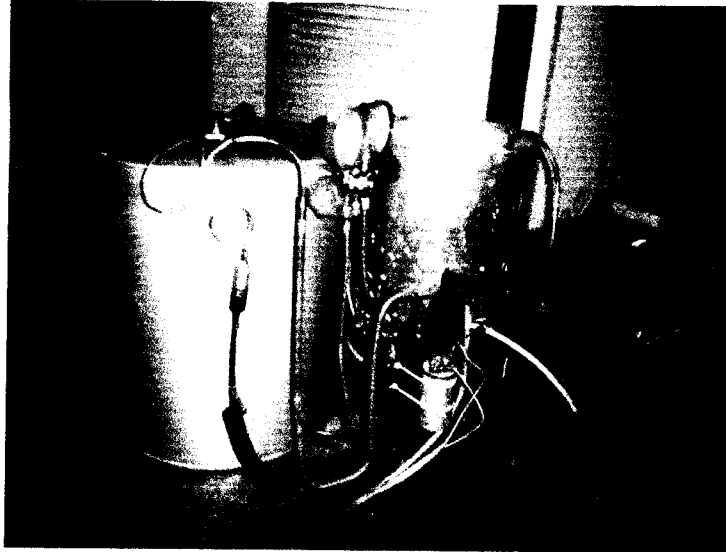
Perancangan kerja mesin refrigerasi diperlihatkan pada gambar 3.2 :



Gambar 3.2 Skema kerja mesin refrigerasi



Gambar 3.3 Skema mesin refrigerasi



**Gambar 3.4** Mesin siklus refrigerasi

### **3.3** **Komponen-komponen Penyusun Mesin Refrigerasi**

Komponen-komponen penyusun dari perancangan mesin refrigerasi adalah sebagai berikut :

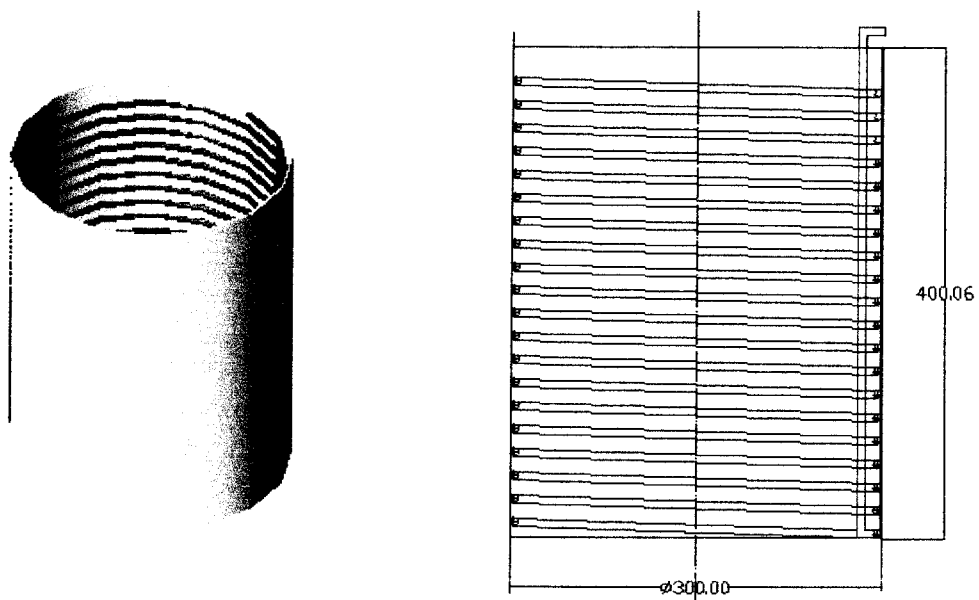
#### **3.3.1** **Kompresor**



**Gambar 3.5** Kompresor

Pada perancangan mesin refrigerasi ini, menggunakan kompresor sudu (*vane compressors*) jenis *roller/rotary*  $\frac{3}{4}$  PK, refrigeran yang digunakan R-22. Kompresor ini menggunakan sistem pendingin udara, 220 V-240 V, frekuensi 50 Hz, fase 1PH. Jenis kompresor rotary yang digunakan dalam perancangan alat ini, karena jenis ini mudah didapat dipasaran dan relatif murah.

### 3.3.2 Kondenser

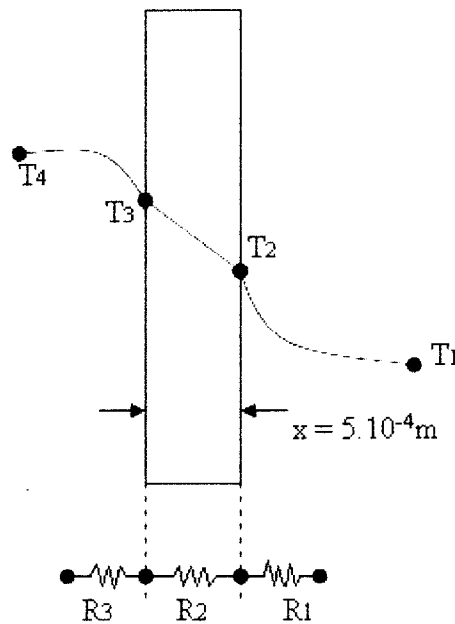


**Gambar 3.6** Tabung kondenser

Kondenser pada mesin refrigerasi ini berbentuk tabung yang menyerupai sebuah ember, terbuat dari aluminium (Al) dengan tebal 0,4 mm, tinggi 400 mm dan diameter 300 mm. Dan di dalam tabung ini terdapat lilitan pipa tembaga  $\frac{1}{4}$  inch sebanyak 20 lilitan yang menempel pada dinding tabung ini. Fungsi utama kondensor adalah penukar kalor (untuk mencairkan uap refrigeran yang bertekanan dan bertemperatur tinggi) maka di dalam tabung tersebut dimasukan air sebagai pendingin uap refrigeran/menyerap kalor pengembunan yang terjadi pada tabung ini. Di samping itu, air di dalam tabung kondenser yang bersuhu tinggi dapat dimanfaatkan sebagai dispenser (pemanas air).



a. Perancangan panjang pipa kondenser pada proses penurunan suhu



**Gambar 3.7** Skematik perpindahan panas pada kondenser

Perpindahan panas pada air dalam tabung adalah

$$\begin{aligned} \text{Diketahui : } T_1 &= 37^\circ\text{C} \\ T_2 &= 72^\circ\text{C} \\ p &= 0.4 \text{ m} \\ l &= 0.3 \text{ m} \\ Q &= 0.00025 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned} A_1 &= \pi r^2 \\ &= 3,14 (0.15\text{m})^2 \\ &= 7,1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \\ u &= \frac{Q}{A} \\ &= \frac{2,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{7,1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2} = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s} \end{aligned}$$

Dimana :  $A_1$  = luas penampang tabung ( $m^2$ )  
 $p$  = panjang tabung (m)  
 $l$  = diameter tabung (m)  
 $Q$  = laju aliran ( $m^3/s$ )  
 $u$  = kecepatan (m/s)  
 $T_1$  = suhu air ( $^{\circ}C$ )  
 $T_2$  = suhu permukaan pipa ( $^{\circ}C$ )

$$T_f = \frac{37 + 72}{2} = 54,5^{\circ}C$$

Dari  $T_f$  maka diketahui sifat – sifat fisik air adalah

$c_p$  = 4,179 kJ/kg  $^{\circ}C$   
 $\mu$  =  $5,125 \cdot 10^{-4}$  kg/m.s  
 $k$  = 0,649 W/m. $^{\circ}C$   
 $\rho$  = 985,67 kg/m $^3$   
 $Pr$  = 3,30

(lampiran hal.1 tabel A-9)

$$v = \frac{\mu}{\rho}$$

$$= \frac{5,125 \cdot 10^{-4}}{985,67} = 5,2 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

Dimana :  $\mu$  = viskositas dinamik air (kg/m.s)  
 $\rho$  = massa jenis air (kg/m $^3$ )  
 $v$  = viskositas kinematik air (m $^2$ /s)

$$Re = \frac{u \cdot d}{v} = \frac{3,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,3}{5,2 \cdot 10^{-7}} = 2019,23$$

$$G_z^{-1} = \frac{x/d}{Re \cdot Pr} \text{ [RAK02]}$$

$$= \frac{1,33}{2019,23 \cdot 3,30} = \frac{1,33}{6663,46} = 1,99 \cdot 10^{-4}$$

$Nu$  = 22 (lampiran hal.2 grafik Nu- $G_z$ )

$$\text{Nu} = \frac{h \cdot d}{k} = 22$$

$$h = 22 \frac{k}{d}$$

$$= 22 \frac{0,649}{0,3} = 47,59 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

- Dimana :
- $G_z^{-1}$  = bilangan Graetz
  - Nu = bilangan Nusselt
  - k = konduktivitas (W/m. $^\circ$ C)
  - Pr = bilangan Prandtl
  - Re = bilangan Reynolds
  - h = koefisien perpindahan panas (W/m $^2$ . $^\circ$ C)
  - $c_p$  = panas spesifik pada tekanan konstan (kJ/kg  $^\circ$ C)

$$R_1 = \frac{1}{47,59 \cdot 0,02826} = \frac{1}{1,34} = 0,746 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

- a. Bilangan Nusselt adalah besaran yang tidak berdimensi, merupakan perbandingan antara gradien suhu yang langsung bersinggungan dengan permukaan terhadap suatu gradient suhu acuan  $(T_s - T_\infty)/L$ .
- b. Bilangan Prandtl adalah besaran yang tidak berdimensi, merupakan hubungan antara distribusi suhu dan distribusi kecepatan.
- c. Bilangan Reynold adalah besaran yang tidak berdimensi, merupakan perbandingan antara gaya akibat viskositas dengan gaya inersianya.
- d. Bilangan Graetz adalah besaran yang tidak berdimensi, merupakan karakteristik dari aliran laminar di dalam pipa/saluran.

Perpindahan panas pada dinding pipa tembaga adalah

$$\begin{aligned} \text{Diketahui : } k &= 386 \text{ W/m.}^\circ\text{C} \text{ (lampiran hal.3 tabel A-2)} \\ x &= 5.10^{-4} \text{ m} \\ A &= 3,96.10^{-4} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Perhitungan :

$$R_2 = \frac{x}{k.A} = \frac{5.10^{-4}}{386.3,96.10^{-4}} = \frac{5.10^{-4}}{0,153} = 0.00327 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

$$\begin{aligned} \text{Dimana : } x &= \text{tebal pipa (m)} \\ k &= \text{konduktivitas tembaga (W/m.}^\circ\text{C)} \\ A &= \text{luas permukaan pipa (m}^2\text{)} \end{aligned}$$

Perpindahan panas pada refrigeran di dalam pipa adalah

$$\begin{aligned} \text{Diketahui : } T_4 &= 76,47 \text{ }^\circ\text{C} \\ P &= 15,5 \text{ bar} \\ T_3 &= 72,003 \text{ }^\circ\text{C} \\ \dot{m} &= 0,0123 \text{ kg/s} \\ d &= 5,3.10^{-3} \text{ m} \\ A_1 &= 3,31.10^{-4} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Dari suhu 76,47 °C maka dapat diketahui sifat – sifat fisik refrigeran adalah

$$\begin{aligned} k &= 0,01524 \text{ W/m.}^\circ\text{C} \\ \rho_4 &= 53,91 \text{ kg/m}^3 \\ v_4 &= 1,567.10^{-5} \text{ m}^2/\text{s} \\ Pr &= 0,8769 \\ \rho_3 &= 55,1 \text{ kg/m}^3 \\ v_3 &= 1,551.10^{-5} \text{ m}^2/\text{s} \end{aligned}$$

(lampiran hal. 4 EES)

Untuk mengetahui sifat-sifat fluida maka digunakan *software* EES (*Engineering Equation Solver*). EES merupakan *software* perhitungan yang didalamnya telah terdapat fungsi-fungsi sebagai solusi untuk persoalan-persoalan termodinamika.

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \dot{m} &= \rho_4 \cdot A_2 \cdot u \\ 0,0123 &= 53,91 ( 2,2 \cdot 10^{-5} ) u \\ u &= \frac{0,0123}{0,001186} = 10,37 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Dimana :  $\dot{m}$  = laju aliran massa (kg/s)  
 $\rho$  = massa jenis refrigeran (kg/m<sup>3</sup>)  
 $A_2$  = luas penampang pipa (m<sup>2</sup>)

$$Re = \frac{u \cdot d}{\nu_4} = \frac{10,37 \cdot 0,0053}{1,567 \cdot 10^{-5}} = 3507,40$$

$$\nu_4 = \frac{\mu_4}{\rho_4}$$

$$1,567 \cdot 10^{-5} = \frac{\mu_4}{53,91}$$

$$\mu_4 = 8,45 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m.s}$$

$$\nu_3 = \frac{\mu_3}{\rho_3}$$

$$1,551 \cdot 10^{-5} = \frac{\mu_3}{55,1}$$

$$\mu_3 = 8,54 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m.s}$$

$$Nu = 0,027 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{1/3} \cdot \left( \frac{\mu_4}{\mu_3} \right)^{0,14} \text{ [RAK02]}$$

$$= 0,027 (3507,40)^{0,8} \cdot (0,8769)^{1/3} \cdot \left( \frac{8,45}{8,54} \right)^{0,14}$$

$$= 0,027 (685,47)(0,957)(0,998)$$

$$= 17,68$$

$$h = Nu \frac{k}{d}$$

$$= 17,68 \cdot \frac{0,01524}{0,0053} = 50,84 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$R_3 = \frac{1}{h \cdot A_1} = \frac{1}{50,84 \cdot 3,31 \cdot 10^{-4}} = \frac{1}{0,0168} = 59,52 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$R_{\text{total}} = R_1 + R_2 + R_3$$

$$= 0,746 + 0,00327 + 59,52$$

$$= 60,27 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$\dot{Q} = \frac{T_4 - T_1}{R_{\text{total}}} = \frac{76,47 - 37}{60,27} = \frac{39,47}{60,27} = 0,655 \text{ W}$$

Dimana :  $\dot{Q}$  = laju perpindahan panas (Watt)

R = resistan ( $^\circ\text{C/W}$ )

$A_1$  = luas permukaan pipa ( $\text{m}^2$ )

$T_1$  = suhu air ( $^\circ\text{C}$ )

$T_4$  = suhu refrigeran ( $^\circ\text{C}$ )

Perhitungan panjang pipa kondenser pada proses penurunan suhu :

$$\dot{Q} = h \cdot A \cdot (T_4 - T_1)$$

$$0,655 = 50,84 (3,12 \cdot 10^{-5} \cdot L) 39,47$$

$$0,655 = 2006,65 (3,12 \cdot 10^{-5} \cdot L)$$

$$0,655 = 0,063 \cdot L$$

$$L = \frac{0,655}{0,063} = 10,40 \text{ m}$$

**b. Perancangan panjang pipa kondenser pada proses kondensing**

Perpindahan panas pada air dalam tabung adalah

$$\begin{aligned} \text{Diketahui: } T_1 &= 37 \text{ }^\circ\text{C} \\ T_2 &= 37 \text{ }^\circ\text{C} \\ Q &= 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \\ A &= 7,1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \\ u &= 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s} \\ T_f &= \frac{37+37}{2} = 37 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Dari  $T_f = 37 \text{ }^\circ\text{C}$  maka dapat diketahui sifat – sifat air adalah

$$\begin{aligned} C_p &= 4,174 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C} \\ \mu &= 6,94 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m.s} \\ k &= 0,629 \text{ W/m.}^\circ\text{C} \\ \rho &= 993,27 \text{ kg/m}^3 \\ Pr &= 4,61 \end{aligned}$$

(lampiran hal.1 tabel A-9)

Perhitungan :

$$v = \frac{\mu}{\rho} = \frac{6,94 \cdot 10^{-4}}{993,27} = 6,99 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Re = \frac{u \cdot d}{v} = \frac{3,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,3}{6,99 \cdot 10^{-7}} = 1502,15$$

$$G_z^{-1} = \frac{x/d}{Re \cdot Pr} = \frac{0,4/0,3}{1502,15 \cdot 4,61} = \frac{1,33}{6924,9} = 1,92 \cdot 10^{-4}$$

$$Nu = 23 \quad (\text{lampiran hal.2 grafik Nu-G}_z)$$

$$Nu = \frac{h \cdot d}{k} = 23$$

$$h = 23 \frac{k}{d}$$

$$= 23 \frac{0,629}{0,3} = 48,22 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$R_1 = \frac{1}{h \cdot A} = \frac{1}{48,22 \cdot 2,826 \cdot 10^{-2}} = \frac{1}{1,363} = 0,734^\circ\text{C} / \text{W}$$

Perpindahan panas pada dinding pipa tembaga adalah

Diketahui :  $k = 386 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$  (lampiran hal.3 tabel A-2)

$x = 5 \cdot 10^{-4} \text{ m}$

$A = 3,96 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

Perhitungan :

$$R_2 = \frac{x}{k \cdot A} = \frac{5 \cdot 10^{-4}}{386 \cdot 3,96 \cdot 10^{-4}} = \frac{5 \cdot 10^{-4}}{0,153} = 3,27 \cdot 10^{-3}^\circ\text{C} / \text{W}$$

Perpindahan panas pada refrigerant adalah

Diketahui :  $T_3 = 37^\circ\text{C}$

$T_4 = 40,42^\circ\text{C}$

$P = 15,5 \text{ bar}$

$d = 5,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

$A = 3,31 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

Dari  $T_4 = 40,42^\circ\text{C}$  maka sifat – sifat fisik fluida adalah

$C_p = 1,344 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$

$k = 0,07754 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$

$\rho = 1127 \text{ kg/m}^3$

$h_{fg} = 250,4 \text{ kJ/kg}$

$v = 1,395 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$

(lampiran hal.5 EES)

Perhitungan :

$$v = \frac{\mu}{\rho}$$



$$1,395 \cdot 10^{-4} = \frac{\mu}{1127}$$

$$\mu = 0,157$$

$$h = 0,729 \left[ \frac{g \cdot \rho^2 \cdot h_{fg} \cdot k^3}{\mu \cdot (T_{ref} - T_{air}) d} \right]^{1/4} \quad [\text{YAC98}]$$

$$= 0,729 \left[ \frac{9,8(1127)^2 (250,4)(0,07754)^3}{0,157(40,42 - 37)5,3 \cdot 10^{-3}} \right]$$

$$= 0,729 \left[ \frac{9,8(1270129)(250,4)(4,66 \cdot 10^{-4})}{2,85 \cdot 10^{-3}} \right]^{1/4}$$

$$= 0,729 \left[ \frac{1433725,68}{2,85 \cdot 10^{-3}} \right]^{1/4}$$

$$= 0,729 [503061642]^{1/4}$$

$$= 0,729 [149,76]$$

$$= 109,17 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

$$R_3 = \frac{1}{h \cdot A}$$

$$= \frac{1}{109,17 \cdot 3,31 \cdot 10^{-4}} = \frac{1}{0,036} = 27,78 \text{ °C/W}$$

$$R_{total} = R_1 + R_2 + R_3$$

$$= 0,734 + 0,00327 + 27,78 = 28,52 \text{ °C/W}$$

$$\dot{Q} = \frac{T_4 - T_1}{R_{total}} = \frac{40,42 - 37}{28,52} = \frac{3,42}{28,52} = 0,120 \text{ W}$$

Perhitungan panjang pipa kondenser pada proses kondensing adalah

$$\dot{Q} = h \cdot A \cdot (T_4 - T_1)$$

$$0,120 = 109,17 (3,12 \cdot 10^{-5} \cdot L) (40,42 - 37)$$

$$0,120 = 109,17 (3,12 \cdot 10^{-5} \cdot L) 3,42$$

$$0,120 = 0,0116 \cdot L$$

$$L = \frac{0,120}{0,0116} = 10,34 \text{ m}$$

**c. Panjang pipa kondenser**

$$\begin{aligned} L_{\text{total}} &= 10,40 \text{ m} + 10,34 \text{ m} \\ &= 20,74 \text{ m} \end{aligned}$$

Jadi panjang pipa kondenser adalah 20,74 meter

**3.3.2 Alat ekspansi dan filter**



**Gambar 3.8** Alat ekspansi (pipa kapilar) dan filter

Alat ekspansi yang digunakan adalah pipa kapiler karena mesin refrigerasi yang dibuat termasuk mesin refrigerasi berkapasitas rendah. Kontruksi pipa kapiler sangat sederhana, sehingga jarang terjadi gangguan. Pada waktu kompresor berhenti berkerja, pipa kapiler menghubungkan bagian tekanan tinggi dengan bagian bertekanan rendah, sehingga dapat menyamakan tekanannya dan memudahkan start berikutnya. Apabila tahanan kapilar terlalu rendah (diameter dalam terlalu besar atau terlalu pendek), maka aliran refrigeran menjadi terlalu besar sehingga menjadi cair kembali (*liquid back*) dan kapasitas refrigerasinya berkurang. Sebaliknya, apabila tahanan pipa kapilarnya terlalu tinggi (diameter dalam terlalu kecil atau terlalu panjang), boleh dikatakan tidak mungkin mengalirkan refrigeran sesuai dengan yang diperlukan sehingga kapasitas refrigeran dari mesin akan berkurang. Alat ekspansi yang digunakan dalam alat ini adalah pipa kapiler, karena pipa kapiler mudah dibuat, banyak di pasaran mudah perawatannya.

**a. Perancangan panjang pipa kapiler**

Diketahui :	Putaran kompresor	= 1200 rpm = 20 rev/s
	Aliran fluida	= 16,2 cm <sup>3</sup> /rev = 1,62.10 <sup>-5</sup> m <sup>3</sup> /rev
	Tekanan tinggi	= 15,5 bar = 1,55 MPa
	Tekanan rendah	= 1,8 bar = 0,18 Mpa

Perhitungan :

- Laju aliran fluida = 1,62. 10<sup>-5</sup> m<sup>3</sup>/rev X 20 rev/s = 3,24.10<sup>-4</sup> m<sup>3</sup>/s  
(lampiran hal.6 spesifikasi kompresor)
- Enthalpy ( hg<sub>1</sub> ) pada tekanan 1,55 MPa adalah 416,01 kJ/kg  
(lampiran hal.7 grafik 19.8)  
Densitas pada tekanan 1,55 MPa dan Enthalpy 416,01 kJ/kg adalah 68 kg/m<sup>3</sup>  
(lampiran hal.7 grafik19.8)
- Enthalpy ( hg<sub>2</sub> ) pada tekanan 0,18 Mpa adalah 394,23 kJ/kg  
(lampiran hal.7 grafik19.8)  
Densitas pada tekanan 0,18 MPa dn enthalpy 394,23 kJ/kg adalah 8 kg/m<sup>3</sup>  
(lampiran hal.7 grafik19.8)
- Densitas rata-rata =  $\frac{68 + 8}{2} = 38 \text{ kg / m}^3$
- $\dot{m} = 38 \text{ kg / m}^3 \times 3,24.10^{-4} \text{ m}^3 / \text{s}$   
= 0,0123 kg/s

Diketahui :	T <sub>1</sub> = 37 °C
	T <sub>2</sub> = 6 °C
	d = 1,5.10 <sup>-3</sup> m
	$\dot{m} = 0,0123 \text{ kg / s}$

Perhitungan :

$$A = \pi r^2 = 3,14 ( 7,5.10^{-4} )^2 = 1,766.10^{-6} \text{ m}^2$$

$$G = \frac{m}{A} = \frac{0,0123}{1,766.10^{-6}} = 6965 \text{ kg.s}^{-1}.\text{m}^{-2} [\text{CPA 01}]$$

$$Y = \frac{G}{2D} = \frac{6965}{2(0,0015)} = 2321666,67 \text{ kg.s}^{-1}.\text{m}^{-3} [\text{CPA 01}]$$

Pada  $T = 37 \text{ }^{\circ}\text{C}$  maka diketahui sifat-sifat refrigeran R22 sebagai berikut

$$h_{fk} = 245,215 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{fgk} = 170,285 \text{ kJ/kg}$$

$$h_k = 247,79 \text{ kJ/kg}$$

$$v_{gk} = 16,4.10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v_{fk} = 0,8735.10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$$

(lampiran hal.8 tabel B.6.1)

$$\mu = 1,408.10^{-4} \text{ Pa.s}$$

$$P = 14,246 \text{ bar}$$

$$\rho = 1141,4 \text{ kg/m}^3$$

(lampiran hal.9 tabel 19.9)

Perhitungan :

$$x_k = \frac{h_k - h_{fk}}{h_{fgk}} = \frac{247,79 - 245,215}{170,285} = 0,015$$

$$\begin{aligned} v_k &= v_{fk} + x_k (v_{gk} - v_{fk}) \\ &= 0,8735.10^{-3} + 0,015 (16,4 - 0,875) 10^{-3} \\ &= 0,8735.10^{-3} + 0,233.10^{-3} \\ &= 1,11.10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg} \end{aligned}$$

$$u_k = \frac{m \cdot v_k}{A} = \frac{0,0123 \cdot 1,11.10^{-3}}{1,766.10^{-6}} = 7,73 \text{ m/s}$$

$$\text{Re} = \frac{u_k \cdot D}{\nu}$$

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{1,408.10^{-4}}{1141,4} = 1,23.10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\begin{aligned} \text{Re} &= \frac{7,73 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3}}{1,23 \cdot 10^{-7}} = 94268,3 \\ f &= \frac{0,32}{\text{Re}^{0,25}} \text{ [ASH 97]} \\ &= \frac{0,32}{94268,3^{0,25}} = \frac{0,32}{17,52} = 0,0183 \end{aligned}$$

Pada  $T = 30 \text{ }^\circ\text{C}$

$$\begin{aligned} h_{f1} &= 236,31 \text{ kJ/kg} \\ h_{fg1} &= 177,86 \text{ kJ/kg} \\ h_1 &= 245,215 \text{ kJ/kg} \\ v_{g1} &= 19,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg} \\ v_{f1} &= 0,852 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg} \\ &\text{(lampiran hal.8 tabel B.6.1)} \\ \mu &= 1,517 \cdot 10^{-4} \text{ Pa.s} \\ P &= 11,919 \text{ bar} \\ \rho &= 1170,7 \text{ kg/m}^3 \\ &\text{(lampiran hal.9 tabel 19.9)} \end{aligned}$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned} x_1 &= \frac{h_1 - h_{f1}}{h_{fg1}} = \frac{245,215 - 236,31}{177,86} = 0,05 \\ v_1 &= v_{f1} + x_1 (v_{g1} - v_{f1}) \\ &= 0,852 \cdot 10^{-3} + 0,05 (19,7 - 0,852) \cdot 10^{-3} \\ &= 0,852 \cdot 10^{-3} + 0,9424 \cdot 10^{-3} \\ &= 1,79 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg} \\ u_1 &= \frac{m \cdot v_1}{A} = \frac{0,0123 \cdot 1,72 \cdot 10^{-3}}{1,766 \cdot 10^{-6}} = 12,47 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$Re = \frac{u_1 \cdot D}{\nu}$$

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{1,517 \cdot 10^{-4}}{1170,7} = 1,3 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Re = \frac{12,47 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3}}{1,3 \cdot 10^{-7}} = 143884,6$$

$$f = \frac{0,32}{Re^{0,25}} = \frac{0,32}{143884,6^{0,25}} = \frac{0,32}{19,48} = 0,0164$$

Total penurunan tekanan adalah

$$\Delta P_1 = 14,246 - 11,919 = 2,327 \text{ bar [CPA 01]}$$

Penurunan tekanan adalah

$$\begin{aligned} \Delta P_A &= G \cdot \Delta u \text{ [CPA 01]} \\ &= 6965(12,47 - 7,73) = 33,014 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

Penurunan tekanan karena adanya faktor gesekan adalah

$$\begin{aligned} \Delta P_f &= \Delta P - \Delta P_A \text{ [CPA 01]} \\ &= 2,327 \cdot 10^5 - 0,33014 \cdot 10^5 = 1,997 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

Faktor gesekan rata-rata adalah

$$f = \frac{0,0183 + 0,0164}{2} = 0,01735$$

Kecepatan rata-rata adalah

$$u = \frac{7,73 + 12,47}{2} = 10,1 \text{ m/s}$$

Panjang pipa pada bagian pertama adalah

$$\Delta L = \frac{\Delta P_f}{Y \cdot f \cdot u} \text{ [CPA 01]}$$

$$= \frac{1,997 \cdot 10^5}{2321666,67 \cdot 0,01735 \cdot 10,1} = \frac{1,997 \cdot 10^5}{406837,26} = 0,491 \text{ m}$$

**Tabel 3.1** Tabel sifat – sifat R-22

Bagian	Suhu °C	hr kJ/kg	hfg kJ/kg	h kJ/kg	vg m <sup>3</sup> /kg x10 <sup>-3</sup>	vr m <sup>3</sup> /kg x10 <sup>-3</sup>	P bar	ρ kg/m <sup>3</sup>	μ Pa.s x10 <sup>-4</sup>
k	37	245,22	170,29	247,79	16,4	0,8735	14,246	1141,4	1,408
1	30	236,31	177,86	245,22	19,7	0,8520	11,919	1170,7	1,517
2	24	228,83	183,95	236,31	23,3	0,8350	10,160	1194,6	1,619
3	18	221,46	189,72	228,83	27,5	0,8190	8,601	1217,6	1,728
4	12	214,20	195,19	221,46	32,7	0,8050	7,226	1239,7	1,844
5	6	207,05	200,40	214,20	39,1	0,7910	6,023	1261,1	1,969

**Tabel 3.2** Tabel perhitungan faktor gesekan

Bagian	Suhu °C	x	v x 10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> /kg	u m/s	Re	f
k	37	0,015	1,11	7,73	94268	0,0183
1	30	0,050	1,79	12,47	143885	0,0164
2	24	0,041	1,76	12,23	135889	0,0170
3	18	0,039	1,86	12,95	137766	0,0166
4	12	0,037	1,99	13,87	140574	0,0165
5	6	0,036	2,16	15,04	144615	0,0164

**Tabel 3.3** Tabel perhitungan panjang pipa kapiler

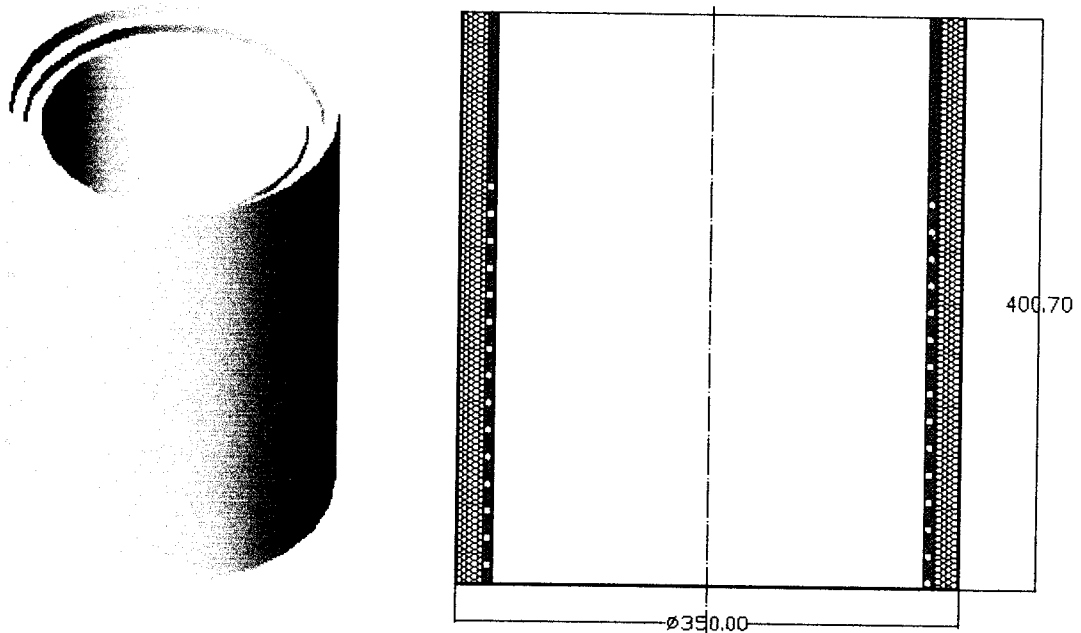
Bagian	Suhu °C	$\Delta P$ bar	$\Delta P_A$ bar	$\Delta P_F$ bar	$\Delta f$	$\Delta u$ m/s	$\Delta L$ m
k-1	37-30	2,33	0,33014	1,9970	0,0174	10,10	0,491
1-2	30-24	1,76	0,01672	1,7433	0,0167	12,35	0,364
2-3	24-18	1,56	0,04179	1,5182	0,0168	12,59	0,309
3-4	18-12	1,37	0,06408	1,3109	0,0166	13,41	0,254
4-5	12-6	1,20	0,08149	1,1215	0,0165	14,46	0,203

**b. Panjang total pipa kapiler**

Jadi panjang kapiler yang digunakan pada mesin refrigerasi adalah  
 $0,491\text{m} + 0,364\text{m} + 0,309\text{m} + 0,254\text{m} + 0,203\text{m} = 1,621\text{m}$



### 3.3.3 Evaporator

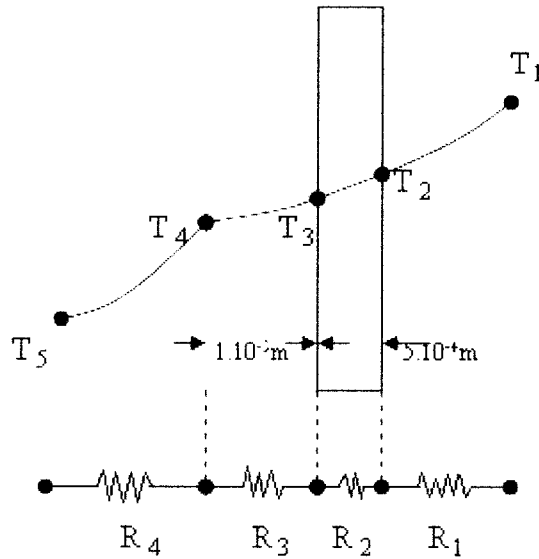


**Gambar 3.9** Tabung evaporator

Evaporator yang digunakan pada alat ini berbentuk tabung, terdiri dari 2 buah tabung. Tabung luar dibuat dari besi karbon dengan ketebalan 0.7 mm, tinggi 400 mm dan diameter 350 mm. Tabung ini berfungsi sebagai penahan lapisan peredam pada tabung bagian dalam. Tabung bagian dalam terbuat dari plat aluminium dengan tebal 0.5 mm, tinggi 400 mm dan diameter 300 mm. Pada bagian luar tabung ini dililiti pipa tembaga  $\frac{1}{4}$  inc, 15 lilitan, lalu pada bagian luar pipa diberi lapisan isolator, lapisan isolator bagian dalam adalah isolatif terbuat dari aluminium foil yang berfungsi sebagai penahan pipa agar pipa dapat menempel pada tabung, lapisan isolator bagian luar adalah sejenis styro foam yang pada bagian luar dilapisi aluminium foil, lapisan styro foam yang digunakan sebanyak 3 lapisan agar jarak antara tabung dalam dan luar benar-benar rapat sehingga proses penguapan refrigeran dan penyerapan kalor dari laur dapat ditahan oleh lapisan-lapisan isolator tersebut. Di dalam tabung evaporator diisi air yang digunakan sebagai sumber air dingin (dispenser, membuat es krim, pengawet

makanan) dan sebagai pengkondisian udara bila ditambahkan *fan coil*, karena suhu air didalam tabung ini relatif rendah bahkan dalam waktu tertentu dapat membeku.

**a. Perancangan panjang pipa evaporator**



**Gambar 3.10** Skematik perpindahan panas pada evaporator

Perpindahan panas pada air di dalam tabung aluminium adalah

$$\text{Diketahui : } T_5 = 17 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$p = 0,4 \text{ m}$$

$$l = 0,3 \text{ m}$$

$$Q_{\text{air}} = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A = \pi \cdot r^2$$

$$= 3,14 \cdot (0,15)^2$$

$$= 7,1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$u = \frac{Q_{\text{air}}}{A} = \frac{2,5 \cdot 10^{-4}}{7,1 \cdot 10^{-2}} = 3,52 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

Pada suhu 17 °C maka dapat diketahui sifat – sifat fisik fluida adalah

$$\begin{aligned}\rho &= 998,29 \text{ kg/m}^3 \\ k &= 0,597 \text{ W/m.}^\circ\text{C} \\ \mu &= 1,08 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m.s} \\ c_p &= 4,184 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C} \\ Pr &= 7,60\end{aligned}$$

(lampiran hal.1 tabel A-9)

Perhitungan :

$$v = \frac{\mu}{\rho} = \frac{1,08 \cdot 10^{-2}}{998,29} = 1,082 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\begin{aligned}Re &= \frac{u \cdot d}{v} \\ &= \frac{3,52 \cdot 10^{-3} \cdot 0,3}{1,082 \cdot 10^{-6}} \\ &= 975,97\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}G_z^{-1} &= \frac{x/d}{Re \cdot Pr} \\ &= \frac{1,3}{975,97 \cdot 7,60} \\ &= 1,8 \cdot 10^{-4}\end{aligned}$$

$$Nu = 26 \text{ (lampiran hal.2 grafik Nu-G}_z \text{)}$$

$$Nu = \frac{h \cdot d}{k} = 26$$

$$\begin{aligned}h &= 26 \frac{k}{d} \\ &= 26 \frac{0,597}{0,30} \\ &= 51,74 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}\end{aligned}$$

$$R_1 = \frac{1}{h \cdot A} = \frac{1}{51,74 \cdot 0,02826} = 0,684 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

Perpindahan panas pada dinding tabung adalah

$$\begin{aligned} \text{Diketahui : } k &= 204 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C} \text{ (lampiran hal.3 tabel A-2)} \\ x &= 4 \cdot 10^{-4} \text{ m} \\ A &= 2,826 \cdot 10^{-2} \text{ m} \end{aligned}$$

Perhitungan :

$$R_2 = \frac{x}{k \cdot A} = \frac{4 \cdot 10^{-4}}{204 \cdot 2,826 \cdot 10^{-2}} = 6,94 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Perpindahan panas pada dinding pipa tembaga adalah

$$\begin{aligned} \text{Diketahui : } k &= 386 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C} \text{ (lampiran hal.3 tabel A-2)} \\ x &= 5 \cdot 10^{-4} \text{ m} \\ A &= 4,67 \cdot 10^{-4} \text{ m} \end{aligned}$$

Perhitungan :

$$R_3 = \frac{x}{k \cdot A} = \frac{5 \cdot 10^{-4}}{386 \cdot 4,67 \cdot 10^{-4}} = 2,8 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Perpindahan panas pada refrigeran di dalam pipa tembaga adalah

$$\begin{aligned} \text{Diketahui : } T_5 &= -27,76 \text{ } ^\circ\text{C} \\ P &= 1,8 \text{ bar} \\ T_4 &= -2 \text{ } ^\circ\text{C} \\ d &= 5,3 \cdot 10^{-3} \text{ m} \\ \dot{m} &= 0,0123 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

$$T_f = \frac{-27,76 + (-2)}{2} = -14,88 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Dari suhu  $-14,88 \text{ } ^\circ\text{C}$  maka dapat diketahui sifat – sifat fluida adalah

$$\begin{aligned} Pr &= 0,8456 \\ \rho_l &= 7,583 \text{ kg/m}^3 \\ \nu_l &= 1,129 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s} \\ k &= 0,00867 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\rho_2 = 7,168 \text{ kg/m}^3$$

$$v_2 = 1,183 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

(lampiran hal. 10 EES)

Perhitungan :

$$\dot{m} = \rho_1 \cdot A \cdot u$$

$$0,0123 = 7,583(2,2 \cdot 10^{-5}) \cdot u$$

$$u = \frac{0,0123}{1,67 \cdot 10^{-4}} = 73,65 \text{ m/s}$$

$$\text{Re} = \frac{u \cdot d}{\nu_1} = \frac{73,65 \cdot 5,3 \cdot 10^{-3}}{1,129 \cdot 10^{-5}} = 34574,40$$

$$\nu_1 = \frac{\mu_1}{\rho_1}$$

$$1,129 \cdot 10^{-5} = \frac{\mu_1}{7,583}$$

$$\mu_1 = 8,56 \cdot 10^{-5} \text{ kg/m.s}$$

$$\nu_2 = \frac{\mu_2}{\rho_2}$$

$$1,183 \cdot 10^{-5} = \frac{\mu_2}{7,168}$$

$$\mu_2 = 8,48 \cdot 10^{-5} \text{ kg/m.s}$$

$$\begin{aligned} \text{Nu} &= 0,027 \cdot \text{Re}^{0,8} \cdot \text{Pr}^{1/3} \cdot \left(\frac{\mu_1}{\mu_2}\right)^{0,14} \\ &= 0,027 (34574,40)^{0,8} (0,8456)^{1/3} \left(\frac{8,56}{8,48}\right)^{0,14} \\ &= 0,027 (4275,67) (0,9456) (1,001) \\ &= 109,27 \end{aligned}$$

$$h = \text{Nu} \frac{k}{d}$$

$$= 109,27 \cdot \frac{8,67 \cdot 10^{-3}}{5,3 \cdot 10^{-3}} = 178,75 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$R_4 = \frac{1}{h \cdot A} = \frac{1}{178,75(4,67 \cdot 10^{-4})} = 12,05 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$\begin{aligned} R_{\text{total}} &= R_1 + R_2 + R_3 + R_4 \\ &= 0,684 + 6,93 \cdot 10^{-5} + 2,8 \cdot 10^{-3} + 12,05 \\ &= 12,74 \text{ } ^\circ\text{C/W} \end{aligned}$$

$$\dot{Q} = \frac{0 - 17}{12,56} = \frac{44,76}{12,74} = 3,513 \text{ W}$$

**b. Perhitungan Panjang pipa pada evaporator**

$$\dot{Q} = h \cdot A \cdot (T_1 - T_5)$$

$$3,513 = 178,75 (3,12 \cdot 10^{-5} \cdot L)(-27,76 - 17)$$

$$3,513 = 8352,22 (3,12 \cdot 10^{-5} \cdot L)$$

$$L = \frac{3,513}{0,250} = 14,052 \text{ m}$$

Jadi panjang pipa evaporator adalah 14,052 m

## **BAB IV**

### **ANALISA DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1. Pendahuluan**

Untuk mengetahui kinerja dari mesin refrigerasi yang telah dibuat, maka perlu dilakukan pengujian. Hasil pengujian tersebut kemudian dianalisis sehingga dapat diketahui perbedaan dan penyimpangan-penyimpangan yang terjadi antara siklus ideal dan siklus aktual refrigerant sehingga kekurangan-kekurangan yang masih terdapat pada mesin refrigerasi ini dapat diketahui.

#### **4.2. Persiapan Pengujian**

Sebelum melakukan pengujian maka dilakukan terlebih dahulu langkah-langkah persiapan agar pengujian dapat berjalan dengan baik, antara lain:

1. Memeriksa kondisi kompresor, kondenser, alat ekspansi dan evaporator sebagai alat utama pengujian, juga kondisi sambungan pipa hingga tidak terjadi kebocoran.
2. Mengisi tabung kondenser dan tabung evaporator dengan air secukupnya sebagai media yang dipanaskan pada kondenser dan media yang didinginkan pada evaporator.
3. Memeriksa pompa air pada tabung evaporator dan kondenser untuk memastikan pompa tersebut bekerja normal, sehingga sirkulasi air dapat berjalan dengan baik pada kedua tabung.
4. Mempersiapkan alat ukur yang akan digunakan.
5. Mengatur dan instalasi semua alat yang sudah disiapkan sehingga semua alat yang akan digunakan dalam kondisi siap dipakai untuk pengujian.

### 4.3. Cara Melakukan Pengujian

Setelah persiapan pengujian dilakukan dan semua keperluan pengujian dipenuhi maka pelaksanaan pengujian dapat dilakukan dengan cara-cara sebagai berikut:

1. Sakelar kompresor diposisikan pada kondisi ON
2. Mengamati suhu pada permukaan pipa masuk, permukaan pipa keluar dan air pada tabung evaporator.
3. Mengamati suhu pada permukaan pipa masuk, permukaan pipa keluar dan air pada tabung kondenser.
4. Mengamati alat pengukur tekanan (*pressure gauge*) baik pada tekanan tinggi maupun pada tekanan rendah.
5. Melakukan percobaan tersebut sebanyak 16 kali dengan selang waktu percobaan masing-masing 5 menit untuk tiap satu kali percobaan.
6. Mencatat hasil pengujian.

### 4.4 Pengujian Alat

**Tabel 4.1** Tabel pengambilan data pada tabung evaporator

T (menit)	t evaporator (°C)			P evaporator (bar)
	Air	Masuk	Keluar	
0	29.5	29	28	0.34
5	28	5	25	1.1
10	25.5	7	23	1.4
15	23	8	22	1.72
20	21	8	20	1.72
25	19	7	18	1.8
30	18	6	16	1.8
35	17.5	6	15	1.8
40	17	6	15	1.8
45	17.5	6	14	1.8
50	17.5	6	14	1.8
55	17.5	6	14	1.8
60	18	6	15	1.8
65	18	6	15	1.8
70	18.5	6	15	1.86
75	18.5	6	15	1.86



**Tabel 4.2** Tabel pengambilan data pada tabung kondenser

T (menit)	t kondenser (°C)			P kondenser (bar)
	Air	Masuk	Keluar	
0	26	26	28	10.3
5	25	29	29	11.7
10	28	48	31	12.7
15	30	61	32	13.4
20	32	67	33	13.8
25	34	70	35	14.5
30	35	71	36	14.8
35	37	72	37	15.5
40	38	73	38	15.8
45	37	73	39	16.2
50	39	71	39	16.5
55	39	70	39	16.5
60	40	71	40	16.9
65	40	72	40	16.9
70	40	72	40	17.2
75	40	73	41	17.2

Dari hasil percobaan (gambar 4.1 dan 4.2 ) dapat diketahui bahwa siklus refrigerasi tersebut mulai stabil suhu dan tekanannya pada menit ke 35 maka perhitungan siklus refrigerasi dimulai dari menit tersebut sampai menit ke 75.

#### 4.5 Perhitungan Siklus Refrigerasi Ideal

Diketahui : refrigeran R-22

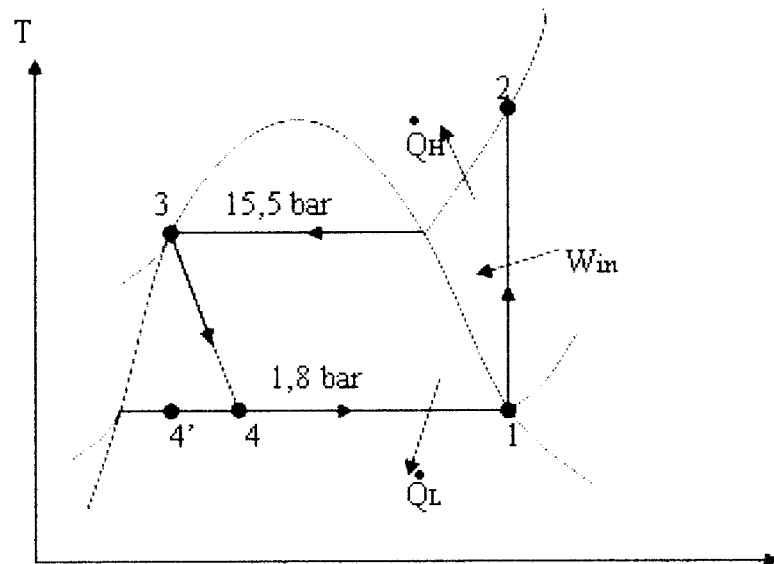
$$m = 0,5 \text{ kg}$$

$$t = 35 \text{ menit} = 2100 \text{ s}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{kond}} &= 225 \text{ psi} \\ &= 225 \cdot 6894,8 \text{ Pa} \\ &= 1.551.330 \text{ Pa} = 15,5 \text{ bar} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{evap}} &= 26 \text{ psi} \\ &= 26 \cdot 6894,8 \text{ Pa} \\ &= 179.264,8 \text{ Pa} = 1,8 \text{ bar} \end{aligned}$$

$$\dot{m} = 0,0123 \text{ kg/s}$$



Gambar 4.1 Diagram T – s (siklus ideal)

#### 4.5.1 Perhitungan

##### 1. Kondisi (4 – 1)

$P =$  Konstan, penyerapan panas pada evaporator (uap jenuh)

$P_1 = 1.8$  bar (lampiran hal.11 tabelA-17)

Interpolasi :

$$\frac{h_1 - 238,47}{239,88 - 238,47} = \frac{1,8 - 1,75}{2 - 1,75}$$

$$\frac{h_1 - 238,47}{1,41} = \frac{0,05}{0,25}$$

$$\frac{h_1 - 238,47}{1,41} = 0,2$$

$$h_1 - 238,47 = 0,282$$

$$h_1 = 238,75 \text{ kJ/kg}$$

Interpolasi :

$$\frac{s_1 - 0,9755}{0,9691 - 0,9755} = \frac{1,8 - 1,75}{2 - 1,75}$$

$$\frac{s_1 - 0,9755}{-0,0064} = \frac{0,05}{0,25}$$

$$s_1 - 0,9755 = -0,00128$$

$$s_1 = 0,9742 \text{ kJ/kg.K}$$

## 2. Kondisi (1 -2 )

Kompresi isentropik,  $\Delta s = 0$

$$s_2 = s_1$$

$P = 15,5 \text{ bar}$  (lampiran hal.12 tabel A-18)

Interpolasi pada  $P = 14 \text{ bar}$  :

$$\frac{h - 290,01}{298,34 - 290,01} = \frac{0,9742 - 0,9703}{0,9942 - 0,9703}$$

$$\frac{h - 290,01}{8,33} = \frac{0,0039}{0,0239}$$

$$h - 290,01 = 1,36$$

$$h = 291,37 \text{ kJ/kg}$$

Interpolasi pada  $P = 16 \text{ bar}$  :

$$\frac{h - 287,30}{295,93 - 287,30} = \frac{0,9742 - 0,9515}{0,9762 - 0,9515}$$

$$\frac{h - 287,30}{8,63} = \frac{0,0227}{0,0247}$$

$$h - 287,30 = 7,94$$

$$h = 295,24 \text{ kJ/kg}$$

Interpolasi pada  $P = 15,5 \text{ bar}$  :

$$\frac{T_2 - 36,29}{41,73 - 36,29} = \frac{15,5 - 14}{16 - 14}$$

$$\frac{T_2 - 36,29}{5,44} = \frac{1,5}{2}$$

$$T_2 - 36,29 = 4,08$$

$$T_2 = 40,37^\circ\text{C}$$

Interpolasi pada  $P = 15.5$  bar :

$$\frac{h_2 - 291,37}{295,24 - 291,7} = \frac{40,37 - 36,29}{41,73 - 36,29}$$

$$\frac{h_2 - 291,37}{3,87} = \frac{4,08}{5,44}$$

$$h_2 - 291,37 = 2,9025$$

$$h_2 = 294,27 \text{ kJ/kg}$$

### 3. Kondisi (2 – 3)

$P =$  Konstan, pelepasan panas pada kondenser (cairjenuh)

$$P_2 = P_3 = 15,5 \text{ bar}$$

Psat pada 15,5 bar = 40,37°C (lampiran hal.11 tabelA-17)

Mencari  $h_f$  pada 40,37°C

Interpolasi :

$$\frac{h_3 - 94,53}{101,21 - 94,53} = \frac{40,37 - 40}{45 - 40}$$

$$\frac{h_3 - 94,53}{6,68} = \frac{0,37}{5}$$

$$h_3 - 94,53 = 0,4943$$

$$h_3 = 95,0243 \text{ kJ/kg}$$

### 4. Kondisi (3-4)

Throttling (katup ekspansi)

$$m(h_3) = m(h_4)$$

$$h_3 = h_4$$

$$h_4 = 95,0243 \text{ kJ/kg}$$

#### 4.5.2 Perhitungan $\dot{Q}_1$ pada evaporator

$$\begin{aligned} \dot{Q}_1 &= \dot{m}(h_1 - h_4) \\ &= 1,23 \cdot 10^{-2} (238,75 - 95,0243) \\ &= 1,768 \text{ Watt} \end{aligned}$$

#### 4.5.3 Perhitungan $W_{in}$ pada kompresor

$$\begin{aligned} W_{in} &= \dot{m}(h_2 - h_1) \\ &= 1,23 \cdot 10^{-2}(294,27 - 238,75) \\ &= 0,683 \text{ Watt} \end{aligned}$$

#### 4.5.4 Perhitungan $Q_h$ pada kondenser

$$\begin{aligned} Q_H &= \dot{m}(h_2 - h_3) \\ &= 1,23 \cdot 10^{-2}(294,27 - 95,0243) \\ &= 2,451 \text{ Watt} \end{aligned}$$

#### 4.5.5 Perhitungan $COP_r$

$$\begin{aligned} COP_r &= \frac{Q_L}{W_{in}} \\ &= \frac{1,768}{0,683} \\ &= 2,589 \end{aligned}$$

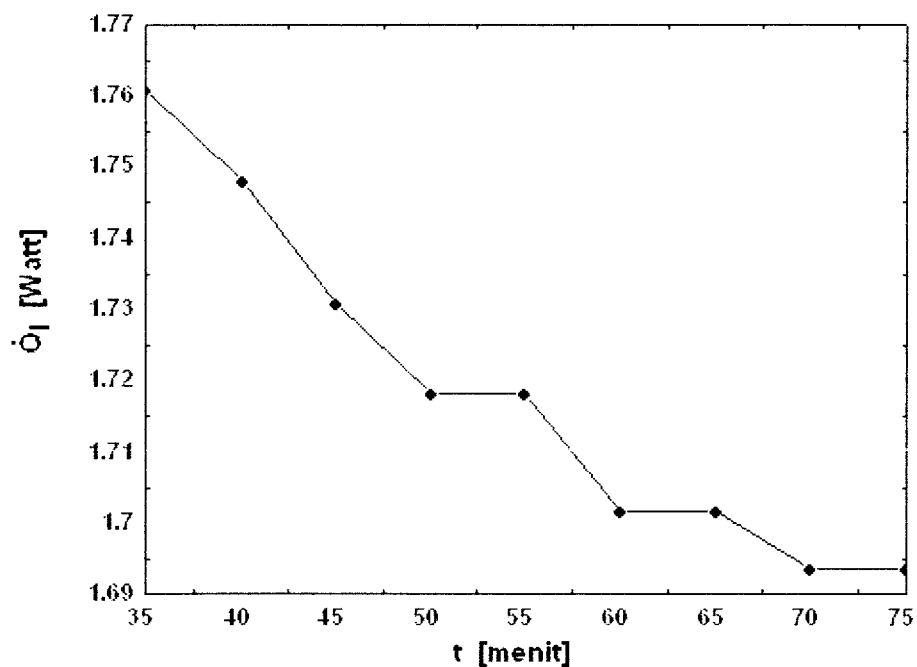
Jadi refrigerator membuang kalor dari ruangan yang didinginkan sebanyak 2,589 kali jumlah energi yang diberikan untuk menjalankan kompresor.

Proses perhitungan siklus refrigerasi ideal selanjutnya dilakukan dengan menggunakan *software* EES (*Engineering Equation Solver*). EES merupakan *software* perhitungan yang didalamnya telah terdapat fungsi-fungsi sebagai solusi untuk persoalan-persoalan termodinamika. EES juga dapat digunakan untuk mencari penyelesaian dari persamaan diferensial dan persamaan integral, memeriksa konsistensi unit, dan melakukan proses perhitungan dengan menggunakan tabel untuk kemudian mengaplikasikannya ke dalam bentuk grafik.

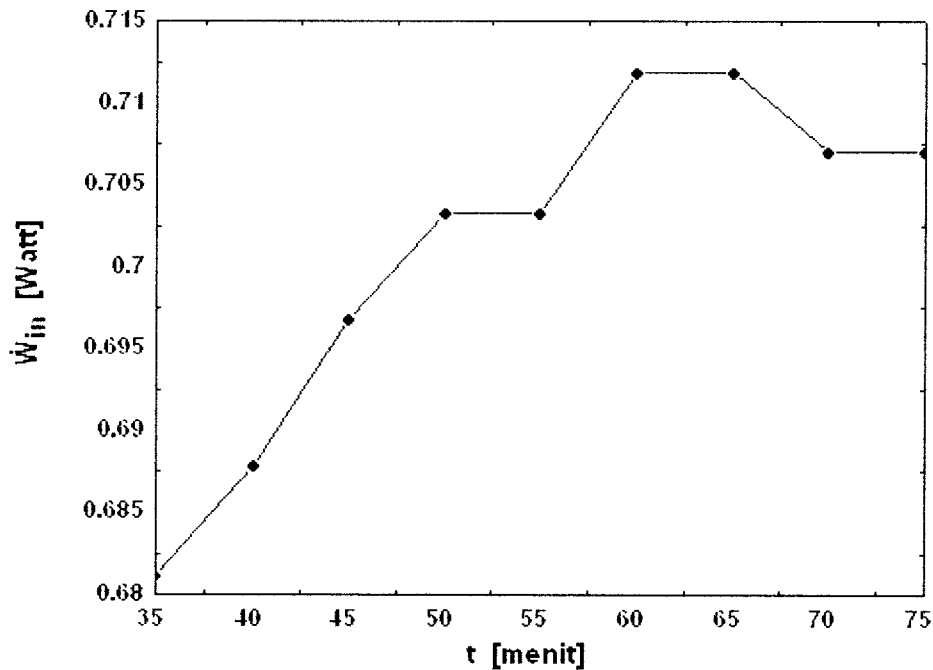
(lampiran hal.13 EES siklus ideal)

**Tabel 4.3** Tabel perhitungan siklus refrigerasi ideal menggunakan EES

t (menit)	P <sub>1</sub> (bar)	P <sub>2</sub> (bar)	$\dot{m}$ (kg/s)	$\dot{Q}_h$ (Watt)	$\dot{Q}_l$ (Watt)	$\dot{W}_{in}$ (Watt)	COP <sub>r</sub>
35	1.8	15.5	0.0123	2.442	1.761	0.681	2.585
40	1.8	15.8	0.0123	2.436	1.748	0.688	2.541
45	1.8	16.2	0.0123	2.428	1.731	0.697	2.484
50	1.8	16.5	0.0123	2.421	1.718	0.703	2.443
55	1.8	16.5	0.0123	2.421	1.718	0.703	2.443
60	1.8	16.9	0.0123	2.413	1.701	0.712	2.390
65	1.8	16.9	0.0123	2.413	1.701	0.712	2.390
70	1.86	17.2	0.0123	2.400	1.693	0.707	2.395
75	1.86	17.2	0.0123	2.400	1.693	0.707	2.395

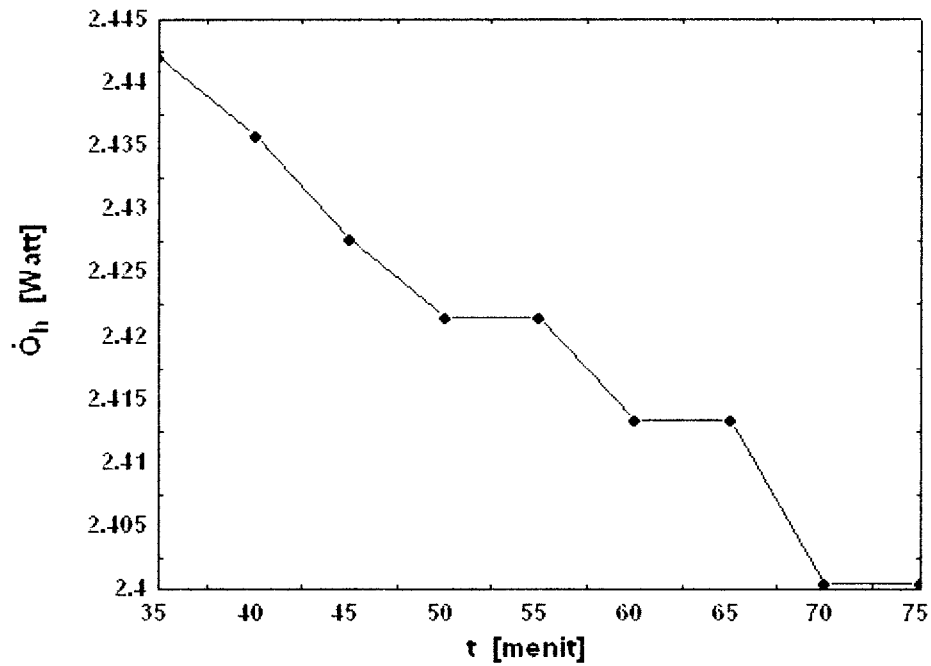
**Gambar 4.2** Grafik hubungan t – Q<sub>l</sub> (siklus ideal)

Dari gambar 4.2 menunjukkan hubungan antara waktu (t) dengan perpindahan panas yang terjadi pada evaporator (Q<sub>l</sub>) berbanding terbalik, semakin lama waktu yang digunakan dalam siklus refrigerasi maka perpindahan kalor atau penyerapan panas pada evaporator akan semakin turun menurun sampai batas kestabilan. Hal ini disebabkan oleh adanya perbedaan suhu evaporator dan suhu lingkungan yang besar diawal siklus dan perbedaan suhu tersebut akan semakin menurun sampai keadaan *steady*.



**Gambar 4.3** Grafik hubungan  $t - W_{in}$  (siklus ideal)

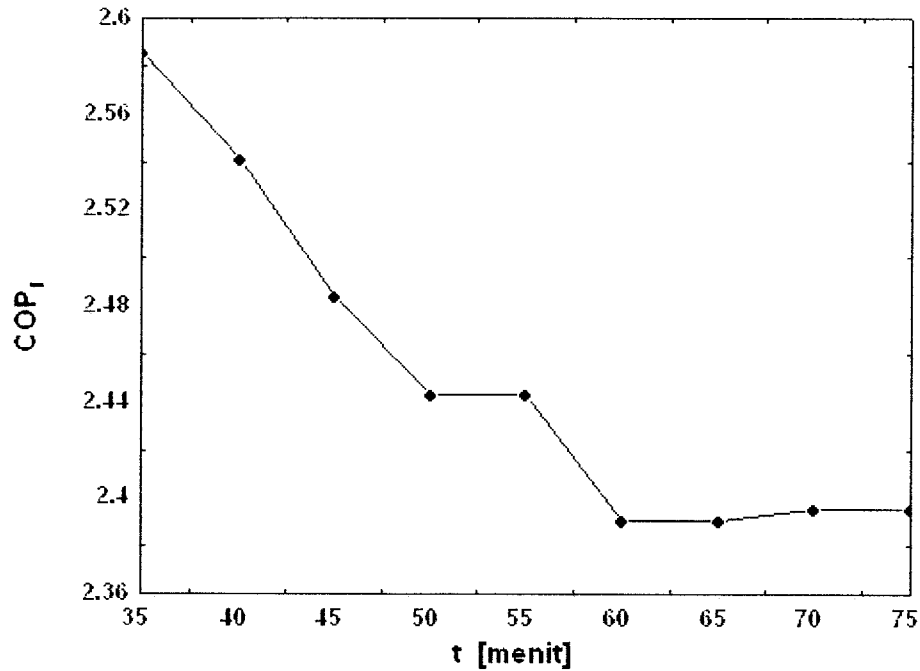
Dari gambar 4.3 menunjukkan hubungan antara waktu ( $t$ ) dengan unjuk kerja dari kompresor ( $W_{in}$ ) berbanding lurus, semakin lama waktu yang digunakan dalam siklus refrigerasi maka kinerja kompresor akan semakin naik sampai titik stabil. Karena fungsi kompresor adalah menaikkan tekanan uap super panas refrigeran yang meninggalkan evaporator. Maka kerja yang dilakukan kompresor pada sistem membutuhkan energi yang kecil pada awal kerja sebuah siklus, semakin lama energi yang dibutuhkan akan semakin besar dan dalam waktu tertentu akan mencapai titik *steady*. Karena semakin lama tekanan dan suhu refrigeran yang meninggalkan evaporator kecil, sehingga untuk menaikkan tekanan dan suhu yang kecil tersebut dibutuhkan energi yang cukup besar.



**Gambar 4.4** Grafik hubungan antara  $t - Q_h$  (siklus ideal)

Dari gambar 4.4 menunjukkan hubungan antara waktu ( $t$ ) dengan perpindahan panas pada kondenser ( $Q_h$ ) berbanding terbalik, semakin lama waktu yang digunakan dalam siklus refrigerasi maka pelepasan panas dalam kondenser akan semakin turun. Hal ini disebabkan oleh adanya perbedaan suhu pada kondenser dan suhu pada lingkungan yang besar pada awal siklus refrigerasi dan perbedaan suhu tersebut akan semakin menurun sampai keadaan *steady*

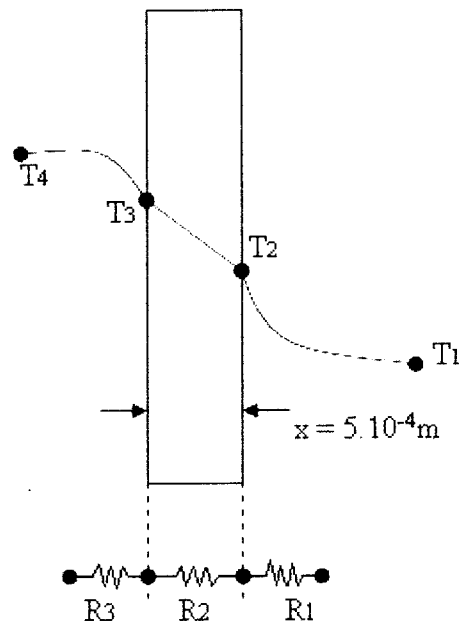




**Gambar 4.5** Grafik hubungan  $t - COP_r$  (siklus ideal)

Dari gambar 4.5 menunjukkan bahwa hubungan antara waktu ( $t$ ) dengan *Coefficient of performance refrigerant* ( $COP_r$ ) berbanding terbalik, semakin lama waktu yang dibutuhkan dalam siklus refrigerasi maka kinerja refrigeran akan semakin turun sampai kinerja refrigeran tersebut mencapai titik stabil. Hal ini disebabkan karena refrigeran menyerap kalor dari zat/ruang yang didinginkan (evaporator) dan melepaskan kalor ke lingkungan (kondenser), semakin lama kalor yang diserap oleh refrigeran akan semakin kecil karena suhu dari zat/ruang lebih rendah dibandingkan pada saat awal siklus, maka  $COP_r$  nya akan semakin turun.

#### 4.6 Perhitungan Suhu Di Dalam Pipa Kondenser



**Gambar 4.6** Skematik perpindahan panas pada kondenser

##### 4.6.1 Perpindahan panas pada air dalam tabung

Diketahui :

$$T_1 = 37^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 72^\circ\text{C}$$

$$p = 0.4 \text{ m}$$

$$l = 0.3 \text{ m}$$

$$Q = 0.00025 \text{ m}^3/\text{s}$$

Perhitungan :

$$A_1 = \pi r^2$$

$$= 3,14 (0.15\text{m})^2$$

$$= 7,1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$u = \frac{Q}{A}$$

$$= \frac{2,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{7,1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2} = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

$$T_f = \frac{37 + 72}{2} = 54,5^\circ \text{C}$$

Dari  $T_f$  maka diketahui sifat – sifat fisik air adalah

$$c_p = 4,179 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

$$\mu = 5,125 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m.s}$$

$$k = 0,649 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$$

$$\rho = 985,67 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Pr} = 3,30$$

(lampiran hal.1 tabel A-9)

$$\begin{aligned} v &= \frac{\mu}{\rho} \\ &= \frac{5,125 \cdot 10^{-4}}{985,67} = 5,2 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s} \end{aligned}$$

$$\text{Re} = \frac{u \cdot d}{v} = \frac{3,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,3}{5,2 \cdot 10^{-7}} = 2019,23$$

$$\begin{aligned} G_z^{-1} &= \frac{x/d}{\text{Re} \cdot \text{Pr}} \text{ [RAK02]} \\ &= \frac{1,33}{2019,23 \cdot 3,30} = \frac{1,33}{6663,46} = 1,99 \cdot 10^{-4} \end{aligned}$$

$$\text{Nu} = 22 \text{ (lampiran hal.2 grafik Nu-G}_z \text{ )}$$

$$\text{Nu} = \frac{h \cdot d}{k} = 22$$

$$\begin{aligned} h &= 22 \frac{k}{d} \\ &= 22 \frac{0,649}{0,3} = 47,59 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$R_1 = \frac{1}{47,59 \cdot 0,02826} = \frac{1}{1,34} = 0,746 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Proses perhitungan perpindahan panas pada air dalam tabung kondenser selanjutnya dilakukan dengan menggunakan *software* EES . (lampiran hal.14 EES perpindahan panas pada air)

**Tabel 4.4** Tabel hasil perhitungan perpindahan panas air pada tabung kondenser menggunakan EES

A [m <sup>2</sup> ]	A <sub>tab</sub> [m <sup>2</sup> ]	l [m]	p [m]	Q <sub>air</sub> [m <sup>3</sup> /s]	T <sub>air</sub> [°C]	T <sub>pipa</sub> [°C]	k <sub>air</sub> [W/m.°C]	h <sub>air</sub> [W/m <sup>2</sup> .°C]	R <sub>1</sub> [°C/W]
0.071	0.02826	0.3	0.4	0.00025	37	72	0.649	47.59	0.7435
0.071	0.02826	0.3	0.4	0.00025	38	73	0.650	47.67	0.7424
0.071	0.02826	0.3	0.4	0.00025	37	73	0.649	47.63	0.7429
0.071	0.02826	0.3	0.4	0.00025	39	71	0.649	47.63	0.7429
0.071	0.02826	0.3	0.4	0.00025	39	70	0.649	47.59	0.7435
0.071	0.02826	0.3	0.4	0.00025	40	71	0.650	47.67	0.7424
0.071	0.02826	0.3	0.4	0.00025	40	72	0.650	47.70	0.7419
0.071	0.02826	0.3	0.4	0.00025	40	72	0.650	47.70	0.7419
0.071	0.02826	0.3	0.4	0.00025	40	73	0.651	47.74	0.7412

#### 4.6.2 Perpindahan panas pada dinding pipa tembaga

Diketahui : k = 386 W/m.°C (lampiran hal.3 tabel A-2)

$$d = 5,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$l = 10,40 \text{ m}$$

$$x = 5 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

$$A = \pi \cdot r^2 \cdot l$$

$$= 3,14 \cdot (2,9 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 10,40$$

$$= 2,75 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Perhitungan :

$$R_2 = \frac{x}{k \cdot A} = \frac{5 \cdot 10^{-4}}{386 \cdot 2,75 \cdot 10^{-4}} = \frac{5 \cdot 10^{-4}}{0,153} = 0,00472 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Proses perhitungan perpindahan panas pada dinding pipa kondenser selanjutnya dilakukan dengan menggunakan *software* EES.

(lampiran hal.15 EES perpindahan panas pada dinding pipa)

**Tabel 4.5** Tabel hasil perhitungan perpindahan panas pada dinding pipa tembaga menggunakan EES

k [W/m.°C]	x [m]	A [m <sup>2</sup> ]	R <sub>2</sub> [°C/W]
386	0.0005	0.000275	0.00471
386	0.0005	0.000275	0.00471
386	0.0005	0.000275	0.00471
386	0.0005	0.000275	0.00471
386	0.0005	0.000275	0.00471
386	0.0005	0.000275	0.00471
386	0.0005	0.000275	0.00471
386	0.0005	0.000275	0.00471
386	0.0005	0.000275	0.00471
386	0.0005	0.000275	0.00471

#### 4.6.3 Perpindahan panas pada refrigeran di dalam pipa

$$\text{Diketahui : } T_4 = 76,47 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$P = 15,5 \text{ bar}$$

$$T_3 = 72,003 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\dot{m} = 0,0123 \text{ kg/s}$$

$$d = 5,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$A_1 = 2,29 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Dari suhu 76,47 °C maka dapat diketahui sifat – sifat fisik refrigeran adalah

$$k = 0,01524 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$$

$$\rho_4 = 53,91 \text{ kg/m}^3$$

$$v_4 = 1,567 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Pr = 0,8769$$

$$\rho_3 = 55,1 \text{ kg/m}^3$$

$$v_3 = 1,551 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

(lampiran hal. 4 EES)

Perhitungan :

$$\dot{m} = \rho_4 \cdot A_2 \cdot u$$

$$0,0123 = 53,91 (2,2 \cdot 10^{-5}) u$$

$$u = \frac{0,0123}{0,001186} = 10,37 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{u \cdot d}{\nu_4} = \frac{10,37 \cdot 0,0053}{1,567 \cdot 10^{-5}} = 3507,40$$

$$\nu_4 = \frac{\mu_4}{\rho_4}$$

$$1,567 \cdot 10^{-5} = \frac{\mu_4}{53,91}$$

$$\mu_4 = 8,45 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m.s}$$

$$\nu_3 = \frac{\mu_3}{\rho_3}$$

$$1,551 \cdot 10^{-5} = \frac{\mu_3}{55,1}$$

$$\mu_3 = 8,54 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m.s}$$

$$Nu = 0,027 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{1/3} \cdot \left(\frac{\mu_4}{\mu_3}\right)^{0,14} \text{ [RAK02]}$$

$$= 0,027(3507,40)^{0,8} \cdot (0,8769)^{1/3} \left(\frac{8,45}{8,54}\right)^{0,14}$$

$$= 0,027 (685,47)(0,957)(0,998)$$

$$= 17,68$$

$$h = Nu \frac{k}{d}$$

$$= 17,68 \cdot \frac{0,01524}{0,0053} = 50,84 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$R_3 = \frac{1}{h \cdot A_1} = \frac{1}{50,84 \cdot 2,29 \cdot 10^{-4}} = \frac{1}{0,01164} = 86,21 ^\circ\text{C/W}$$

**Tabel 4.6** Tabel perhitungan perpindahan panas refrigeran

T <sub>1</sub> [°C]	T <sub>2</sub> [°C]	P [bar]	m [kg/s]	D [m]	A <sub>1</sub> [m <sup>2</sup> ]	A <sub>2</sub> [m <sup>2</sup> ]
76.47	72	15.5	0.0123	0.0053	0.000022	0.000229
77.56	73	15.8	0.0123	0.0053	0.000022	0.000229
78.98	73	16.2	0.0123	0.0053	0.000022	0.000229
80.03	71	16.5	0.0123	0.0053	0.000022	0.000229
80.03	70	16.5	0.0123	0.0053	0.000022	0.000229
81.41	71	16.9	0.0123	0.0053	0.000022	0.000229
81.41	72	16.9	0.0123	0.0053	0.000022	0.000229
81.79	72	17.2	0.0123	0.0053	0.000022	0.000229
81.79	73	17.2	0.0123	0.0053	0.000022	0.000229

Proses perhitungan perpindahan panas pada refrigeran di dalam pipa kondenser selanjutnya dilakukan dengan menggunakan *software* EES.

(lampiran hal.16 EES perpindahan panas pada refrigerant di dalam pipa)

**Tabel 4.7** Tabel hasil perhitungan perpindahan panas refrigerant menggunakan EES

Visc <sub>1</sub> [Kg/m.s] x 10 <sup>-5</sup>	Visc <sub>2</sub> [Kg/m.s] x 10 <sup>-5</sup>	ρ <sub>1</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	ρ <sub>2</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	k [W/m.°C]	Pr	Nu	h [W/m <sup>2</sup> .°C]	R <sub>3</sub> [°C/W]
1.567	1.551	53.91	55.10	0.01524	0.8769	17.69	50.86	86.24
1.573	1.556	54.87	56.11	0.01533	0.8779	17.39	50.31	87.19
1.580	1.558	56.15	57.84	0.01544	0.8792	17.01	49.57	88.48
1.586	1.552	57.11	59.77	0.01553	0.8801	16.72	49.00	89.51
1.586	1.549	57.11	60.09	0.01553	0.8801	16.71	48.98	89.55
1.593	1.555	58.38	61.57	0.01564	0.8814	16.37	48.31	90.79
1.593	1.558	58.38	61.24	0.01564	0.8814	16.37	48.33	90.75
1.596	1.560	59.52	62.59	0.01569	0.8839	16.11	47.70	91.94
1.596	1.564	59.52	62.26	0.01569	0.8839	16.12	47.72	91.90

$$\begin{aligned}
 R_{\text{total}} &= R_1 + R_2 + R_3 \\
 &= 0,746 + 0,00327 + 86,21 \\
 &= 86,96 \text{ } ^\circ\text{C/W}
 \end{aligned}$$

$$\dot{Q} = \frac{T_4 - T_1}{R_{\text{total}}} = \frac{76,47 - 37}{86,96} = \frac{39,47}{86,96} = 0,454 \text{ W}$$

#### 4.6.4. Perhitungan suhu refrigeran di dalam pipa

$$\begin{aligned} T_3 &= T_4 - \dot{Q} \cdot R_{\text{conv.3}} \\ 72 \text{ }^\circ\text{C} &= T_4 - 0,454 \text{ W} (86,21 \text{ }^\circ\text{C/W}) \\ T_4 &= 72^\circ\text{C} + 39,1^\circ\text{C} \\ T_4 &= 111,1^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Proses perhitungan selanjutnya dilakukan dengan menggunakan *software* EES (lampiran hal.17 EES perpindahan panas)

**Tabel 4.8** Tabel hasil perhitungan suhu refrigeran di dalam pipa pada kondenser menggunakan EES

$T_1$ [ $^\circ\text{C}$ ]	$T_2$ [ $^\circ\text{C}$ ]	$T_{\text{air}}$ [ $^\circ\text{C}$ ]	$R_1$ [ $^\circ\text{C/W}$ ]	$R_2$ [ $^\circ\text{C/W}$ ]	$R_3$ [ $^\circ\text{C/W}$ ]	$R_{\text{total}}$ [ $^\circ\text{C/W}$ ]	$\dot{Q}$ [W]	$T_{\text{ref}}$ [ $^\circ\text{C}$ ]
76.47	72	37	85.87	0.00471	0.7435	86.62	0.4557	111.1
77.56	73	38	86.81	0.00471	0.7424	87.56	0.4518	112.2
78.98	73	37	88.09	0.00471	0.7429	88.84	0.4725	114.6
80.03	71	39	89.12	0.00471	0.7429	89.87	0.4566	111.7
80.03	70	39	89.16	0.00471	0.7435	89.91	0.4564	110.7
81.41	71	40	90.39	0.00471	0.7424	91.14	0.4544	112.1
81.41	72	40	90.35	0.00471	0.7419	91.10	0.4546	113.1
81.79	72	40	91.54	0.00471	0.7419	92.29	0.4528	113.5
81.79	73	40	91.50	0.00471	0.7412	92.25	0.4530	114.5

#### 4.7 Perhitungan Siklus Refrigerasi Aktual

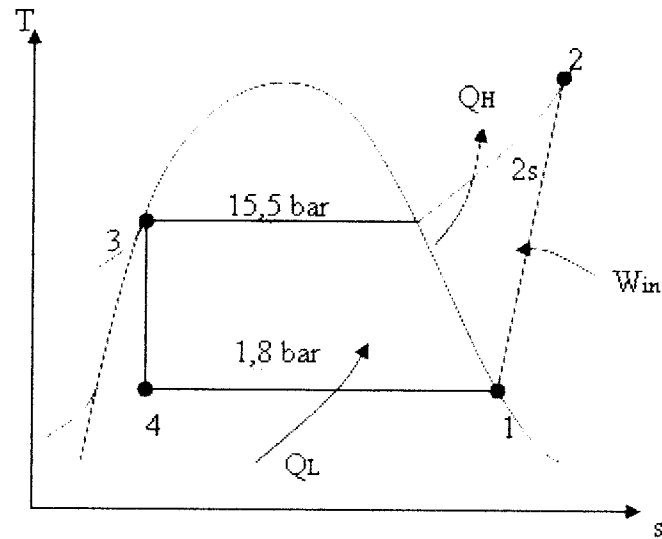
Diketahui : refrigeran R-22

$$\begin{aligned} m &= 0,5 \text{ kg} \\ t &= 35 \text{ menit} = 2100 \text{ s} \\ P_{\text{kond}} &= 225 \text{ psi} \\ &= 225 \cdot 6894,8 \text{ Pa} \\ &= 1.551.330 \text{ Pa} = 15,5 \text{ bar} \\ P_{\text{evap}} &= 26 \text{ psi} \\ &= 26 \cdot 6894,8 \text{ Pa} \end{aligned}$$



$$= 179.264,8 \text{ Pa} = 1,8 \text{ bar}$$

$$m = 0,0123 \text{ kg/s}$$



**Gambar 4.7** Diagram T – s (siklus aktual)

#### 4.7.1 Perhitungan

##### 1. Kondisi (4 – 1)

$P$  = Konstan, penyerapan panas pada evaporator (uap jenuh)

$P_1 = 1,8 \text{ bar}$  (lampiran hal.11 tabelA-17)

Interpolasi :

$$\frac{h_1 - 238,47}{239,88 - 238,47} = \frac{1,8 - 1,75}{2 - 1,75}$$

$$\frac{h_1 - 238,47}{1,41} = \frac{0,05}{0,25}$$

$$\frac{h_1 - 238,47}{1,41} = 0,2$$

$$h_1 - 238,47 = 0,282$$

$$h_1 = 238,75 \text{ kJ/kg}$$

Interpolasi :

$$\frac{s_1 - 0,9755}{0,9691 - 0,9755} = \frac{1,8 - 1,75}{2 - 1,75}$$

$$\frac{s_1 - 0,9755}{-0,0064} = \frac{0,05}{0,25}$$

$$s_1 - 0,9755 = -0,00128$$

$$s_1 = 0,9742 \text{ kJ/kg.K}$$

## 2. Kondisi (1 - 2)

Kompresi isentropis

(lampiran hal.12 tabel A-18)

$$P_2 = 15,5 \text{ bar}$$

$$T_2 = 111,1^\circ\text{C}$$

Iterpolasi pada P = 14 bar

$$\frac{h - 323}{331,19 - 323} = \frac{111,1 - 110}{120 - 110}$$

$$\frac{h - 323}{8,19} = \frac{1,1}{10}$$

$$h - 323 = 0,901$$

$$h = 323,901 \text{ kJ/kg}$$

Interpolasi pada P = 16 bar :

$$\frac{h - 321,17}{329,51 - 321,17} = \frac{111,1 - 110}{120 - 110}$$

$$\frac{h - 321,17}{8,34} = \frac{1,1}{10}$$

$$h - 321,17 = 0,917$$

$$h = 322,087 \text{ kJ/kg}$$

Interpolasi pada P = 15,5 bar :

$$\frac{h_2 - 323,901}{322,087 - 323,901} = \frac{15,5 - 14}{16 - 14}$$

$$\frac{h_2 - 323,901}{-1,814} = \frac{1,5}{2}$$

$$h_2 - 323,901 = -1,3605$$

$$h_2 = 322,541 \text{ kJ/kg}$$

Kondisi  $h_{2s}$  pada  $P = 15,5$  bar

Dimana  $s_{2s} = s_1 = 0,9742$  kJ/kg.

Interpolasi pada  $P = 14$  bar :

$$\frac{h - 290,01}{298,34 - 290,01} = \frac{0,9742 - 0,9703}{0,9942 - 0,9703}$$

$$\frac{h - 290,01}{8,33} = \frac{0,0039}{0,0239}$$

$$h - 290,01 = 1,36$$

$$h = 291,37 \text{ kJ/kg}$$

Interpolasi pada  $P = 16$  bar :

$$\frac{h - 287,30}{295,93 - 287,30} = \frac{0,9742 - 0,9515}{0,9762 - 0,9515}$$

$$\frac{h - 287,30}{8,63} = \frac{0,0227}{0,0247}$$

$$h - 287,30 = 7,94$$

$$h = 295,24 \text{ kJ/kg}$$

Interpolasi pada  $P = 15,5$  bar :

$$\frac{15,5 - 14}{16 - 14} = \frac{h_{2s} - 291,37}{295,24 - 291,37}$$

$$\frac{1,5}{2} = \frac{h_{2s} - 291,37}{3,87}$$

$$0,75 = \frac{h_{2s} - 291,37}{3,87}$$

$$h_{2s} - 291,37 = 2,903$$

$$h_{2s} = 294,27 \text{ kJ/kg}$$

Interpolasi pada  $P = 15,5$  bar

$$\frac{T_{2s} - 70}{80 - 70} = \frac{294,27 - 291,37}{295,24 - 291,37}$$

$$\frac{T_{2s} - 70}{10} = \frac{2,9}{3,87}$$

$$T_{2s} - 70 = 7,49$$

$$T_{2s} = 77,49^\circ\text{C}$$

### 3. Kondisi (2 - 3)

Kondisi saturasi  $P_3 = 15,5$  bar (lampiran hal.11 tabelA-17)

Interpolasi pada  $P = 15,5$  bar :

$$\frac{T_3 - 36,29}{41,73 - 36,29} = \frac{15,5 - 14}{16 - 14}$$

$$\frac{T_3 - 36,29}{5,44} = \frac{1,5}{2}$$

$$T_3 - 36,29 = 4,08$$

$$T_3 = 40,37^\circ\text{C}$$

Interpolasi :

$$\frac{h_3 - 89,68}{96,83 - 89,68} = \frac{40,37 - 36,29}{41,73 - 36,29}$$

$$\frac{h_3 - 89,68}{7,15} = \frac{4,08}{5,44}$$

$$h_3 - 89,29 = 5,36$$

$$h_3 = 95,04 \text{ kJ/kg}$$

### 4. Kondisi (3 - 4)

Throttling pada katup ekspansi

$$h_3 = h_4 = 95,04 \text{ kJ/kg}$$

#### 4.7.2 Perhitungan $\dot{Q}_1$ pada evaporator

$$\begin{aligned} \dot{Q}_L &= \dot{m}(h_1 - h_4) \\ &= 1,23 \cdot 10^{-2} (238,75 - 95,04) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1,23 \cdot 10^{-2} (143,71) \\
 &= 1,77 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

#### 4.7.3 Perhitungan $W_{in}$ pada kompresor

$$\begin{aligned}
 W_{in} &= m(h_2 - h_1) \\
 &= 1,23 \cdot 10^{-2} (322,541 - 238,75) \\
 &= 1,23 \cdot 10^{-2} (83,79) \\
 &= 1,03 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

#### 4.7.4 Perhitungan $Q_h$ pada kondenser

$$\begin{aligned}
 Q_H &= m(h_2 - h_3) \\
 &= 1,23 \cdot 10^{-2} (322,541 - 95,04) \\
 &= 1,23 \cdot 10^{-2} (227,50) \\
 &= 2,80 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

#### 4.4.5 Perhitungan $COP_r$

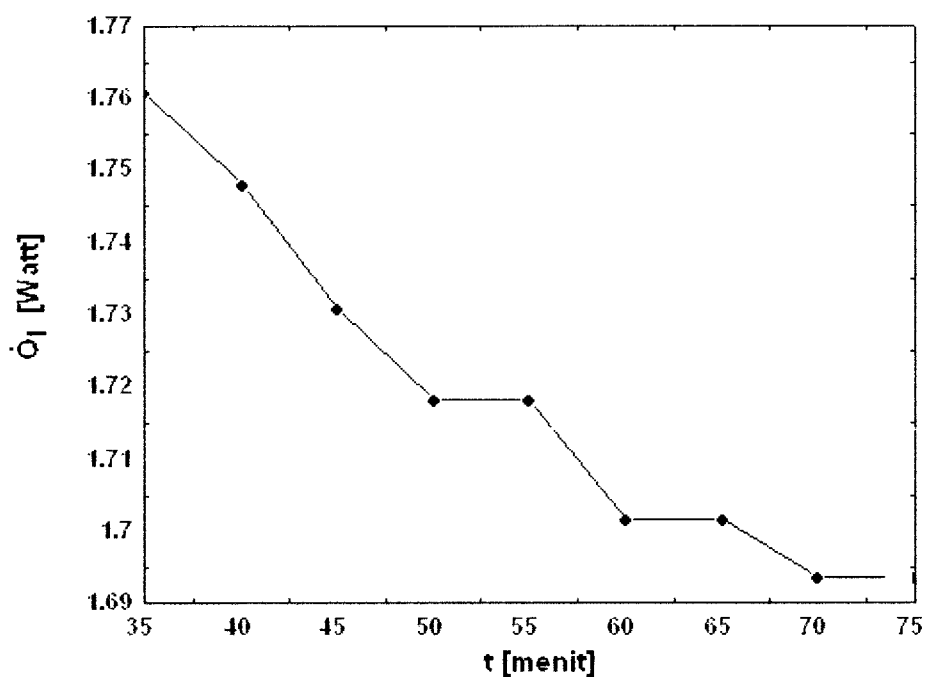
$$COP_r = \frac{Q_L}{W_{in}} = \frac{1,77}{1,03} = 1,72$$

Jadi refrigerator membuang kalor dari ruangan yang didinginkan sebanyak 1,72 kali jumlah energi yang diberikan untuk menjalankan kompresor.

Proses perhitungan siklus refrigerasi aktual selanjutnya dilakukan dengan menggunakan *software* EES (lampiran hal.19 EES siklus aktual)

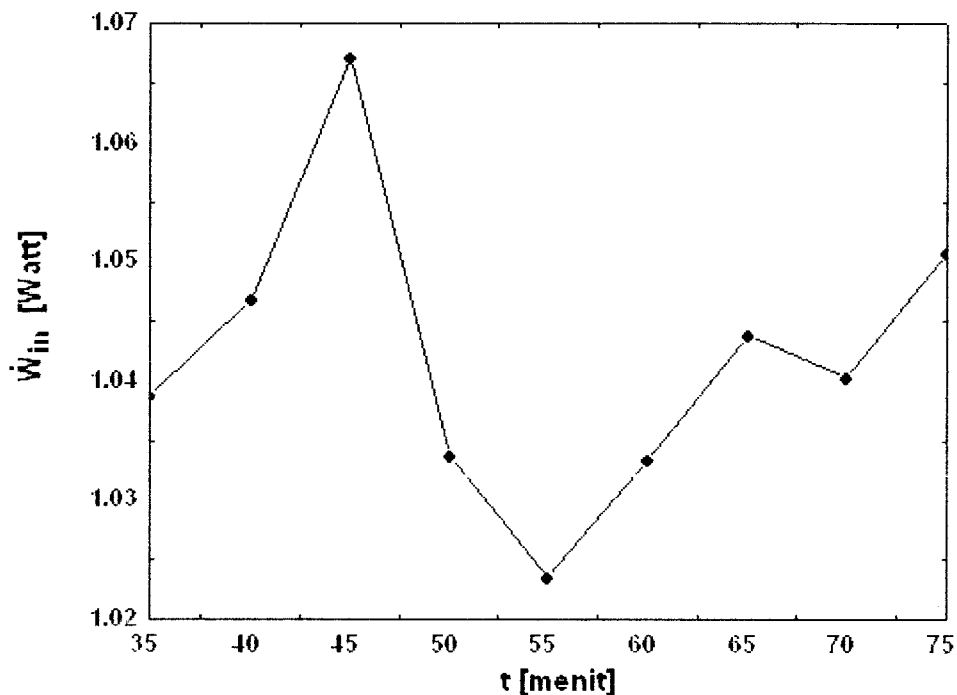
**Tabel 4.9** Tabel perhitungan siklus refrigerasi actual menggunakan EES

t (menit)	P1 (bar)	P2 (bar)	$\dot{m}$ (kg/s)	$\dot{Q}_h$ (Watt)	$\dot{Q}_l$ (Watt)	$\dot{W}_{in}$ (Watt)	COP <sub>R</sub>
35	1.8	15.5	0.0123	2.800	1.761	1.039	1.695
40	1.8	15.8	0.0123	2.795	1.748	1.047	1.670
45	1.8	16.2	0.0123	2.798	1.731	1.067	1.622
50	1.8	16.5	0.0123	2.752	1.718	1.034	1.662
55	1.8	16.5	0.0123	2.742	1.718	1.023	1.679
60	1.8	16.9	0.0123	2.735	1.701	1.033	1.646
65	1.8	16.9	0.0123	2.745	1.701	1.044	1.630
70	1.86	17.2	0.0123	2.734	1.693	1.040	1.628
75	1.86	17.2	0.0123	2.744	1.693	1.051	1.612

**Gambar 4.8** Grafik hubungan  $t - \dot{Q}_l$  (siklus aktual)

Dari gambar 4.8 menunjukkan hubungan antara waktu ( $t$ ) dengan perpindahan panas yang terjadi pada evaporator ( $\dot{Q}_l$ ) berbanding terbalik, semakin lama waktu yang digunakan dalam siklus refrigerasi maka perpindahan kalor atau penyerapan panas di lingkungan (air) pada evaporator akan semakin turun. Hal ini disebabkan oleh adanya perbedaan suhu pada evaporator dan suhu pada lingkungan yang besar pada awal siklus refrigerasi dan perbedaan suhu

tersebut akan semakin menurun sampai keadaan *steady*. Apabila dibandingkan dengan gambar 4.2 (grafik  $\dot{Q}_1-t$  siklus ideal) maka untuk mencapai keadaan *steadynya* grafik pada siklus aktual cenderung sama stabil. Hal ini disebabkan karena  $enthalpy_1(h_1)$  dan  $enthalpy_2(h_2)$  yang merupakan komponen persamaan (7) :  $\dot{Q}_1 = \dot{m}(h_1 - h_4)$  diperoleh dari suhu saturasi dan kualitas uap  $(x) = 1$  untuk  $h_1$  dan kualitas uap  $(x) = 0$  untuk  $h_4$  karena dalam siklus aktual dianggap mendekati siklus ideal maka  $h_3 = h_4$ .



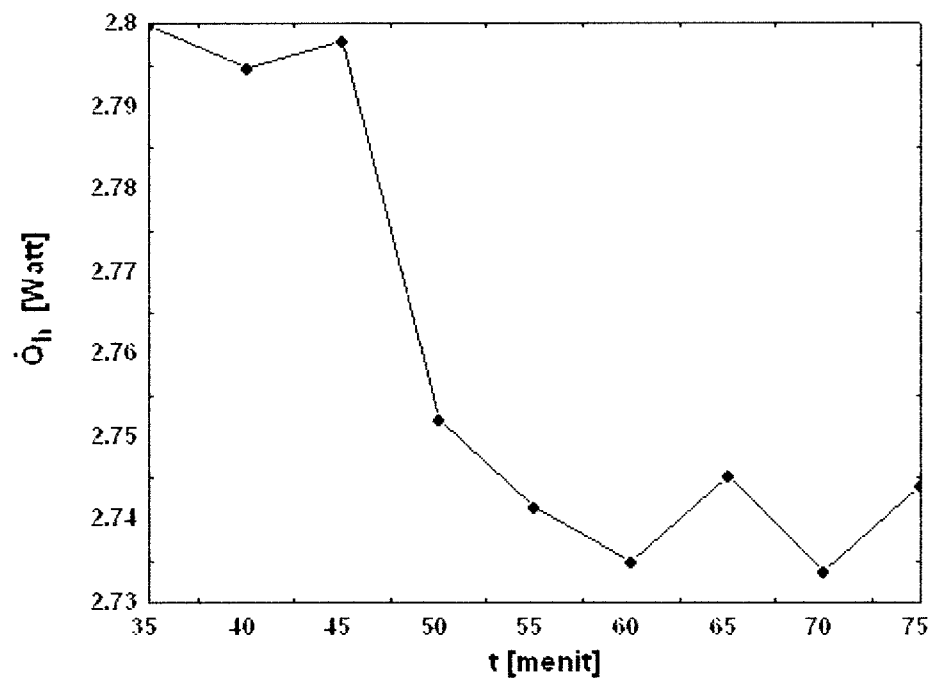
**Gambar 4.9** Grafik hubungan  $t - W_{in}$  (siklus aktual)

Dari gambar 4.9 dapat dilihat hubungan antara waktu ( $t$ ) dengan unjuk kerja dari kompresor ( $W_{in}$ ) berbanding lurus, semakin lama waktu yang digunakan dalam siklus refrigerasi maka kinerja kompresor akan semakin naik sampai titik stabil. Karena fungsi kompresor adalah menaikkan tekanan uap super panas refrigeran yang meninggalkan evaporator. Maka kerja yang dilakukan kompresor pada sistem membutuhkan energi yang kecil pada awal kerja sebuah siklus, semakin lama energi yang dibutuhkan akan semakin besar dan dalam

waktu tertentu akan mencapai titik *steady*. Karena semakin lama tekanan dan suhu refrigeran yang meninggalkan evaporator kecil, sehingga untuk menaikkan tekanan dan suhu yang kecil tersebut dibutuhkan energi yang cukup besar. Apabila dibandingkan dengan gambar 4.3 (grafik  $W_{in}$  - t siklus ideal) maka untuk mencapai keadaan *steadynya* pada grafik siklus aktual kurang stabil. Hal ini disebabkan karena adanya variasi suhu pada proses *superheat* yang akan berpengaruh pada proses  $enthalpy_2$  ( $h_2$ ) dan untuk  $enthalpy_1$  ( $h_1$ ) cenderung tidak berpengaruh, karena  $enthalpy_1$  diketahui pada suhu saturasi atau  $x$  (kualitas uap) = 1.

Dan untuk mengetahui kinerja kompresor digunakan persamaan (2) :

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



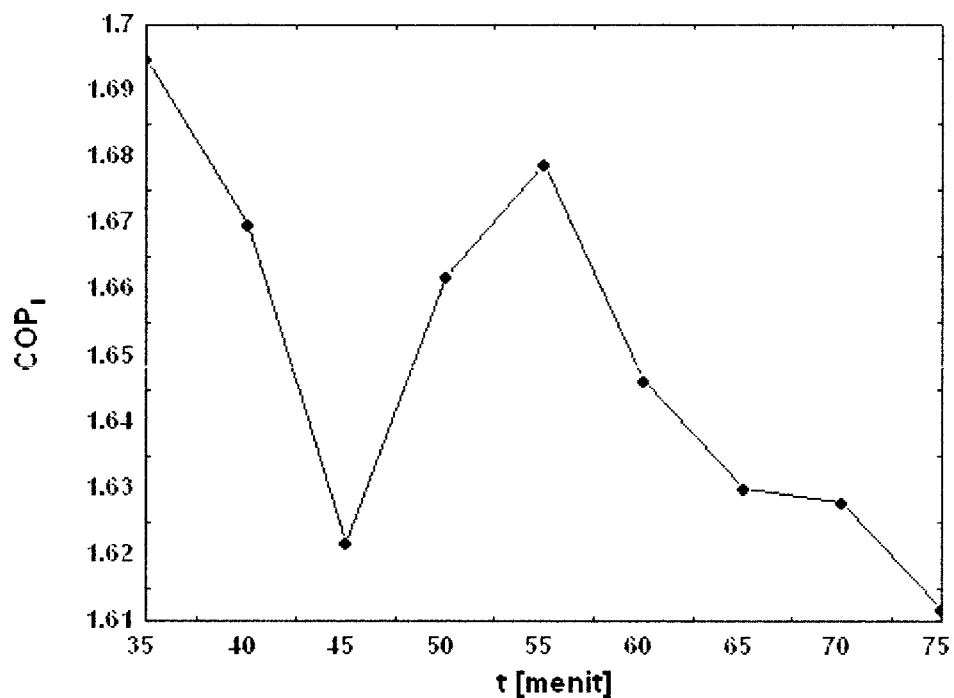
**Gambar 4.10** Grafik hubungan t –  $Q_h$  ( siklus aktual)

Dari gambar 4.10 menunjukkan hubungan antara waktu (t) dengan perpindahan panas pada kondeser ( $Q_h$ ) berbanding terbalik, semakin lama waktu yang digunakan dalam siklus refrigerasi maka pelepasan panas dalam kondenser



akan cenderung semakin turun dan akan mencapai titik stabil. Apabila dibandingkan dengan gambar 4.4 (grafik  $\dot{Q}_h - t$  siklus ideal), grafik pada siklus ini kurang stabil untuk mencapai keadaan *steady*nya. Hal ini disebabkan karena ada variasi suhu pada proses *superheat* sehingga akan berpengaruh pada proses *enthalpy*<sub>2</sub>( $h_2$ ) dan untuk proses *enthalpy*<sub>3</sub>( $h_3$ ) cenderung tidak berpengaruh karena pada proses ini diketahui pada suhu saturasi atau  $x$  (kualitas uap) = 0. Dan tidak diketahuinya suhu dan laju aliran refrigeran didalam pipa yang sebenarnya. Untuk mengetahui laju perpindahan panas pada kompresor digunakan persamaan (4):

$$\dot{Q}_h = \dot{m}(h_2 - h_3)$$



**Gambar 4.11** Grafik hubungan  $t - COP_r$  (siklus aktual)

Dari gambar 4.11 menunjukkan bahwa hubungan antara waktu ( $t$ ) dengan *Coefficient of performance refrigerant* ( $COP_r$ ) berbanding terbalik, semakin lama waktu yang dibutuhkan dalam siklus refrigerasi maka kinerja refrigeran akan semakin turun sampai kinerja refrigeran tersebut mencapai titik stabil. Hal ini disebabkan karena refrigeran menyerap kalor dari zat/ruang yang didinginkan

(evaporator) dan melepaskan kalor ke lingkungan (kondenser), semakin lama kalor yang diserap oleh refrigeran akan semakin kecil karena suhu dari air/ruangan lebih rendah dibandingkan pada saat awal siklus, maka  $COP_r$  nya akan semakin turun. Apabila dibandingkan gambar 4.5 (grafik  $t - COP_r$  siklus ideal), grafik pada siklus ini kurang stabil untuk mencapai keadaan *steadynya*. Hal ini disebabkan karena  $W_{in}$  pada siklus ini kurang stabil. Karena  $W_{in}$  merupakan salah satu komponen untuk mengetahui  $COP_r$ , bila  $W_{in}$  kurang stabil maka  $COP_r$  juga kurang stabil. Untuk mengetahui  $COP_r$  digunakan persamaan (3) :

$$COP_r = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} = \frac{\dot{Q}_1}{W_{in}}$$

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1. Kesimpulan

- 1) Mesin refrigerasi yang dirancang dan dibuat sudah dapat berfungsi seperti yang diinginkan. Namun untuk pengambilan data dari percobaan belum optimal hal ini disebabkan karena terbatasnya alat-alat ukur yang dimiliki terutama untuk termometer yang digunakan untuk mengukur suhu refrigeran di dalam pipa dan alat pengukur aliran (*flowmeter*) yang digunakan untuk mengukur laju aliran refrigeran di dalam pipa. Sehingga pengukuran yang dilakukan sebatas pengukuran suhu diluar pipa lalu diperhitungkan perpindahan panas konveksi pada air dan refrigeran dan perpindahan panas konduksi pada pipa tembaga untuk menganalisa suhu di dalam pipa. Dan laju aliran refrigeran dihitung dari data spesifikasi kompresor yang digunakan untuk menganalisa laju aliran refrigeran.
- 2) Dari hasil perhitungan terjadi penyimpangan siklus ideal. Beberapa faktor yang menjadi penyebab penyimpangan siklus ideal, antara lain :
  1. Efisiensi kompresor.
  2. Perbedaan temperatur pada kondenser dan evaporator.
  3. Perpindahan panas dari lingkungan pada pipa masuk.
  4. Penurunan tekanan pada pipa masuk.
  5. Penurunan tekanan pada pipa keluar.
  6. Perpindahan panas ke lingkungan dari pipa keluar.
  7. Penurunan tekanan pada kondenser.
  8. Pendinginan lanjut cairan pada kondenser.
  9. Panas dari lingkungan ke pipa antara kondenser, peralatan ekspansi dan evaporator.
  10. Penurunan tekanan pada evaporator.
- 3) Dari perancangan yang dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa semakin kecil diameter pipa yang digunakan untuk alat ekspansi (pipa kapiler) maka semakin pendek panjang pipa kapiler yang digunakan. Dan semakin

besar diameter pipa pada kondenser dan evaporator maka semakin pendek panjang pipa yang digunakan.

## 5.2. Saran

- 1) Untuk menghasilkan siklus refrigerasi yang baik maka air di dalam tabung kondenser harus disirkulasikan dengan baik sehingga tekanan dan suhu kondenser dapat stabil dan perbedaan tekanan dan suhu pada kondenser dan evaporator menjadi kecil. Sehingga siklus refrigerasi aktual dapat mendekati siklus refrigerasi ideal.
- 2) Diperlukan 4 buah termokopel untuk mengukur suhu refrigeran pada pipa masuk kondenser, pipa keluar kondenser, pipa masuk evaporator dan pipa keluar evaporator. Dan masing-masing sensor termokopel tersebut dimasukkan ke dalam pipa untuk mengetahui suhu refrigeran yang sesungguhnya.
- 3) Alat pengukur aliran refrigeran (*flowmeter refrigeran*) saat ini belum ada di pasaran sehingga metode pengukuran yang dilakukan sudah cukup baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- [WFS92] Wilbert F. Stoecker, Jerold W. Jones. Penerjemah Ir. Supratman Hara, *Refrigerasi Dan Pengkondisian Udara*, Jakarta, 1992.
- [VPL64] V. Paul Lang, *Principles of Air Conditioning*, New York, 1964.
- [WRA86] W. Arismunandar, Heizo Saito, *Penyegaran Udara*, Jakarta, 1986.
- [RAK02] Dr. Ir. Raldi Artono Koestoer, *Perpindahan Kalor*, Jakarta, 2002.
- [YAÇ98] Yunus A.Çengel, *Heat Transfer A Practical Approach*, Nevada, 1998.
- [ASH 97] ASHRAE, *Fundamentals Handbook (SI)*, India, 1997
- [CPA 01] C. P. Arora, *Refrigeration and Air Conditioning second edition*, New Dehli, 2001

# LAMPIRAN



Tabel A-9 Sifat-sifat Air (Zat-cair Jenuh)†

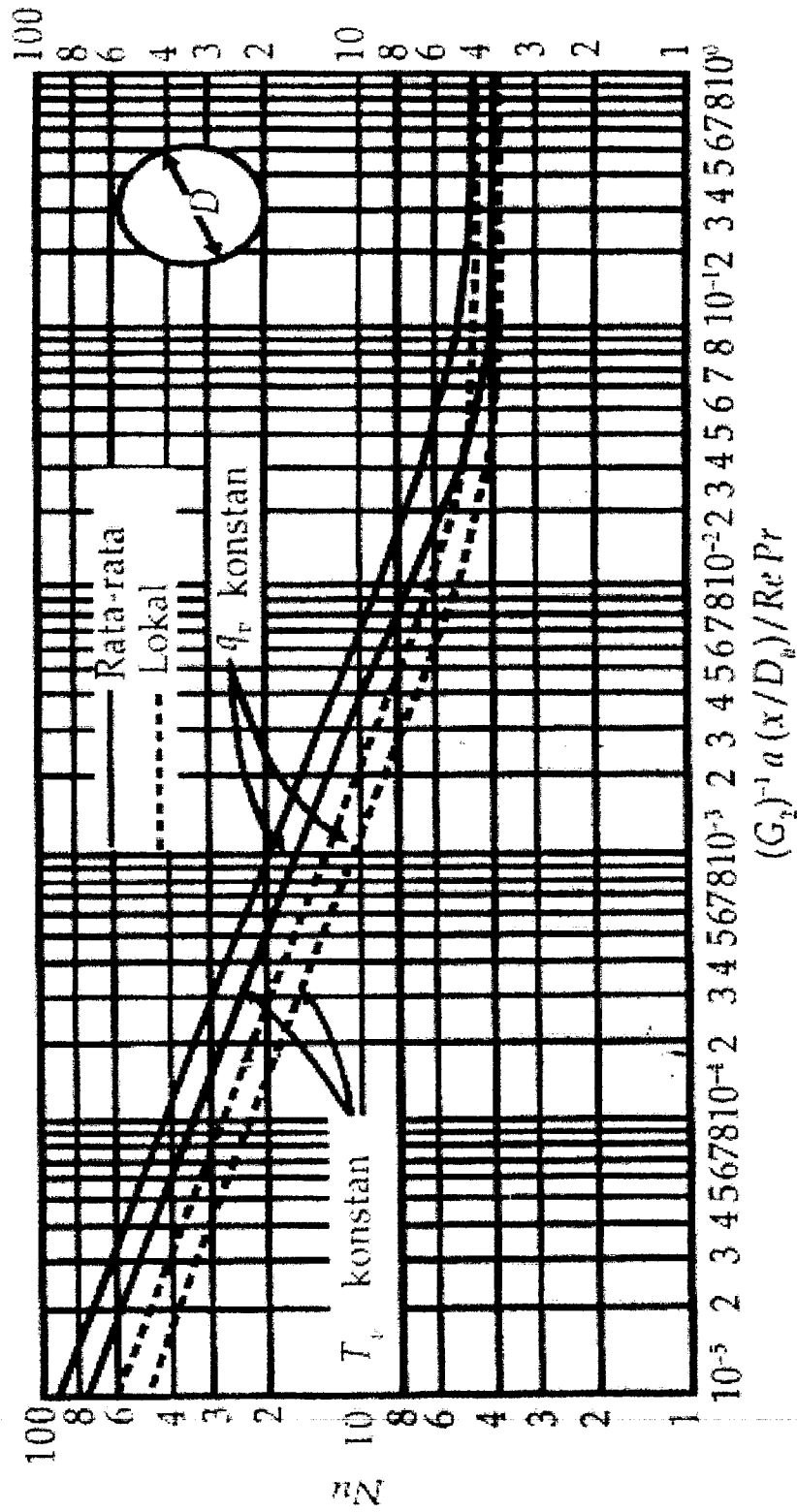
$$\text{Catatan } Gr_x Pr = \left( \frac{g\beta\rho^2 c_p}{\mu k} \right) x^3 \Delta T$$

°F	°C	$c_p$ , kJ/kg · °C	$\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	$\mu$ , kg/m · s	$k$ , W/m · °C	Pr	$\frac{g\beta\rho^2 c_p}{\mu k}$ , 1/m <sup>3</sup> · °C
32	0	4.225	999.8	$1.79 \times 10^{-3}$	0.566	13.25	
40	4.44	4.208	999.8	1.55	0.575	11.35	$1.91 \times 10^9$
50	10	4.195	999.2	1.31	0.585	9.40	$6.34 \times 10^9$
60	15.56	4.186	998.6	1.12	0.595	7.88	$1.08 \times 10^{10}$
70	21.11	4.179	997.4	$9.8 \times 10^{-4}$	0.604	6.78	$1.46 \times 10^{10}$
80	26.67	4.179	995.8	8.6	0.614	5.85	$1.91 \times 10^{10}$
90	32.22	4.174	994.9	7.65	0.623	5.12	$2.48 \times 10^{10}$
100	37.78	4.174	993.0	6.82	0.630	4.53	$3.3 \times 10^{10}$
110	43.33	4.174	990.6	6.16	0.637	4.04	$4.19 \times 10^{10}$
120	48.89	4.174	988.8	5.62	0.644	3.64	$4.89 \times 10^{10}$
130	54.44	4.179	985.7	5.13	0.649	3.30	$5.66 \times 10^{10}$
140	60	4.179	983.3	4.71	0.654	3.01	$6.48 \times 10^{10}$
150	65.55	4.183	980.3	4.3	0.659	2.73	$7.62 \times 10^{10}$
160	71.11	4.186	977.3	4.01	0.665	2.53	$8.84 \times 10^{10}$
170	76.67	4.191	973.7	3.72	0.668	2.33	$9.85 \times 10^{10}$
180	82.22	4.195	970.2	3.47	0.673	2.16	$1.09 \times 10^{11}$
190	87.78	4.199	966.7	3.27	0.675	2.03	
200	93.33	4.204	963.2	3.06	0.678	1.90	
220	104.4	4.216	955.1	2.67	0.684	1.66	
240	115.6	4.229	946.7	2.44	0.685	1.51	
260	126.7	4.250	937.2	2.19	0.685	1.36	
280	137.8	4.271	928.1	1.98	0.685	1.24	
300	148.9	4.296	918.0	1.86	0.684	1.17	
350	176.7	4.371	890.4	1.57	0.677	1.02	
400	204.4	4.467	859.4	1.36	0.665	1.00	
450	232.2	4.585	825.7	1.20	0.646	0.85	
500	260	4.731	785.2	1.07	0.616	0.83	
550	287.7	5.024	735.5	$9.51 \times 10^{-5}$			
600	315.6	5.703	678.7	8.68			

† Adaptasi dari A. I. Brown dan S. M. Marco, "Introduction to Heat Transfer," 3d ed., McGraw-Hill Book Company, New York, 1958.

Daftar ini menggunakan satuan SI.

$$V = \frac{M}{\rho}$$





Daftar A-2 Nilai Sifat-sifat Logam† (lanjutan)

Logam	Sifat-sifat pada 20°C				Konduktivitas termal $k$ , W/m · °C									
	$\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	$c_p$ , kJ/kg · °C	$k$ , W/m · °C	$\alpha$ , m <sup>2</sup> /s $\times 10^5$	-100°C -148°F	0°C 32°F	100°C 212°F	200°C 392°F	300°C 572°F	400°C 752°F	600°C 1112°F	800°C 1472°F	1000°C 1832°F	1200°C 2192°F
Aluminium: Murni	2.707	0.896	204	8.418	215	202	206	215	228	249				
Al-Cu (Duralumin), 94-96% Al, 3-5% Cu, runtu Mg Al-Si (Silumin, mengandung tembaga), 86.5% Al, 1% Cu	2.787	0.883	164	6.676	126	159	182	194						
Al-Si (Alusil), 78-80% Al, 20-22% Si	2.659	0.867	137	5.933	119	137	144	152	161					
Al-Mg-Si, 97% Al, 1% Mg, 1% Si, 1% Mn	2.627	0.854	161	7.172	144	157	168	175	178					
Timbal	2.707	0.892	177	7.311	175	189	204							
Besi:	11.373	0.130	35	2.343	36.9	35.1	33.4	31.5	29.8					
Murni	7.897	0.452	73	2.034	87	73	67	62	55	48	40	36	36	36
Besi Tempa, 0.5% C	7.849	0.46	59	1.626		59	57	52	48	45	33	33	33	33
Baja (C maks $\approx$ 1.5%):														
Baja karbon	7.833	0.465	54	1.474										
C $\approx$ 0.5%	7.801	0.473	43	1.172	55	52	48	48	45	42	35	31	29	31
1.0%	7.753	0.486	36	0.970	43	43	43	42	40	36	33	29	28	29
1.5%					36	36	36	36	35	33	31	28	28	29
Baja nikel														
Ni $\approx$ 0%	7.897	0.452	73	2.026										
20%	7.933	0.46	19	0.526										

Daftar ini menggunakan Satuan SI.

Daftar A-2 Nilai Sifat-sifat Logam† (lanjutan)

Logam	Sifat-sifat pada 20°C			Konduktivitas termal $k$ , W/m · °C										
	$\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	$c_p$ , kJ/kg · °C	$k$ , W/m · °C	$\alpha$ , m <sup>2</sup> /s × 10 <sup>5</sup>	-100°C -148°F	0°C 32°F	100°C 212°F	200°C 392°F	300°C 572°F	400°C 752°F	600°C 1112°F	800°C 1472°F	1000°C 1832°F	1200°C 2192°F
40%	8,169	0.46	10	0.279										
80%	8,618	0.46	35	0.872										
Invar 36% Ni	8,137	0.46	10.7	0.286										
Baja krom														
Cr = 0%	7,897	0.452	73	2.026	87	73	67	62	55	48	40	36	35	36
1%	7,865	0.46	61	1.665		62	55	52	47	42	36	33	33	
5%	7,833	0.46	40	1.110		40	38	36	36	33	29	29	29	
20%	7,689	0.46	22	0.635		22	22	22	22	24	24	26	29	
Cr-Ni (krom-nikel): 15% Cr, 10% Ni	7,865	0.46	19	0.527										
18% Cr, 8% Ni (V2A)	7,817	0.46	16.3	0.444		16.3	17	17	19	19	22	27	31	
20% Cr, 15% Ni	7,833	0.46	15.1	0.415										
25% Cr, 20% Ni	7,865	0.46	12.8	0.361										
Baja wolfram														
W = 0%	7,897	0.452	73	2.026										
1%	7,913	0.448	66	1.858										
5%	8,073	0.435	54	1.525										
10%	8,314	0.419	48	1.391										
Copper : Murni	8,954	0.3831	386	11.234	407	386	379	374	369	363	353			

Daftar ini menggunakan Satuan SI

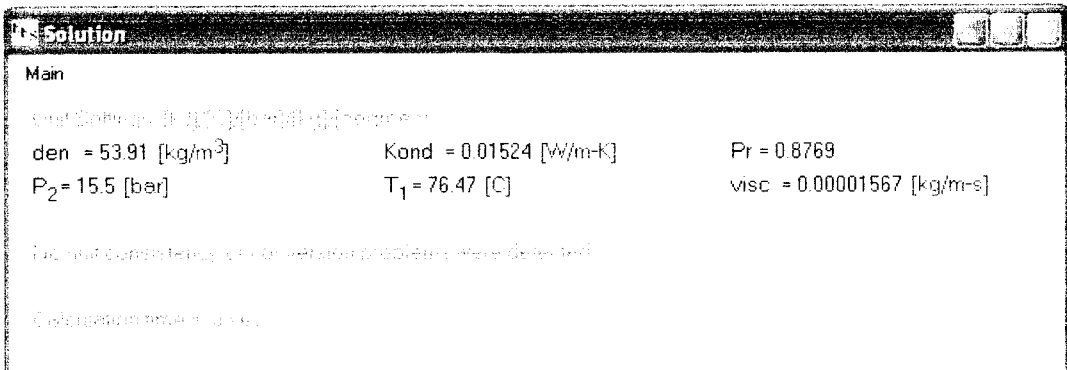
Perunggu aluminium	8,666	0.410	83	2.330															
95% Cu, 5% Al																			
Perunggu 75% Cu, 25% Sn	8,666	0.343	26	0.859															
Kuningan merah 85% Cu, 9% Sn, 6% Zn	8,714	0.385	61	1.804	59	71													
Kuningan 70% Cu 30% Zn	8,522	0.385	111	3.412	88		128	144	147	147									
Perak Jerman 62% Cu, 15% Ni, 22% Zn	8,618	0.394	24.9	0.733	19.2		31	40	45	48									
Konstantan 60% Cu, 40% Ni	8,922	0.410	22.7	0.612	21		22.2	26											
Magnesium:																			
Murni	1,746	1.013	171	9.708	178		168	163	157										
Mg-Al (elektrolis-trik) 6-8% Al, 1-2% Zn	1,810	1.00	66	3.605			52	62	74	83									
Molybdenum	10,220	0.251	123	4.790	138		125	118	114	111									92
Nikel																			
Murni (99,9%)	8,906	0.4459	90	2.266	104		93	83	73	64									
Ni-Cr 90% Ni, 10% Cr	8,666	0.444	17	0.444			17.1	18.9	20.9	22.8									
80% Ni, 20% Cr	8,314	0.444	12.6	0.343			12.3	13.8	15.6	17.1									
Perak:																			
Sangat murni	10,524	0.2340	419	17.004	419		417	415	412										
Murni (99,9%)	10,525	0.2340	407	16.563	419		410	415	374	362									
Timah, murni	7,304	0.2265	64	3.884	74		65.9	59	57										
Wolfram	19,350	0.1344	163	6.271			166	151	142	133									
Seng, murni	7,144	0.3843	112.2	4.106	114		112	109	106	100									76
																			93

†Adaptasi ke satuan SI dari E. R. G. Eckert dan R. M. Drake, "Heat and Mass Transfer," 2nd ed., McGraw-Hill Book Company, New York, 1959

Daftar ini menggunakan Satuan SI.

## SIFAT-SIFAT R-22 DI KONDENSER PADA PROSES PENURUNAN SUHU "TAMPILAN EES"

```
"Sifat- sifat R-22 Di Kondenser Pada Proses Penurunan Suhu"  
"Diketahui"  
T_1=76.47[C]  
P_2=15.5[bar]  
  
"Perhitungan"  
Kond =CONDUCTIVITY(R22,T=T_1,P=P_2)  
den =DENSITY(R22,T=T_1,P=P_2)  
visc =VISCOSITY(R22,T=T_1,P=P_2)  
Pr =PRANDTL(R22,T=T_1,P=P_2)
```



## SIFAT-SIFAT R-22 DI KONDENSER PADA PROSES KONDENSING "TAMPILAN EES"

"Sifat-sifat R-22 Di Kondenser Pada Proses Kondensing"

"Diketahui"

$P_2=15.5$ [bar]

$T_4=40.42$ [C]

"Perhitungan"

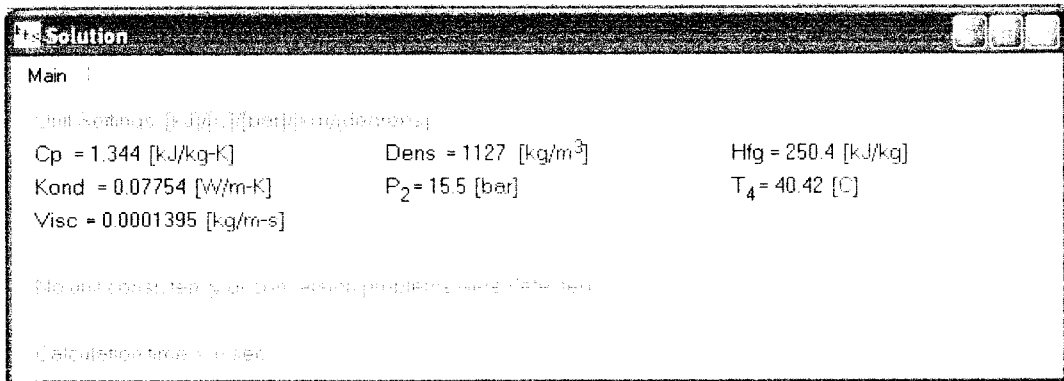
Hfg =ENTHALPY(R22,T= $T_4$ ,P= $P_2$ )

Dens =DENSITY(R22,T= $T_4$ ,P= $P_2$ )

Visc =VISCOSITY(R22,T= $T_4$ ,P= $P_2$ )

Cp =SPECHEAT(R22,T= $T_4$ ,P= $P_2$ )

Kond =CONDUCTIVITY(R22,T= $T_4$ ,P= $P_2$ )



**Solution**

Main

Unit System: [SI] / [SI] / [SI] / [SI] / [SI] / [SI]

Cp = 1.344 [kJ/kg-K]	Dens = 1127 [kg/m <sup>3</sup> ]	Hfg = 250.4 [kJ/kg]
Kond = 0.07754 [W/m-K]	$P_2 = 15.5$ [bar]	$T_4 = 40.42$ [C]
Visc = 0.0001395 [kg/m-s]		

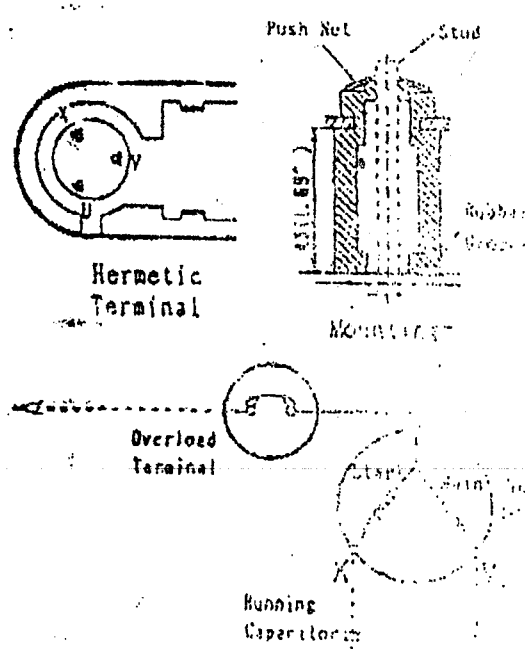
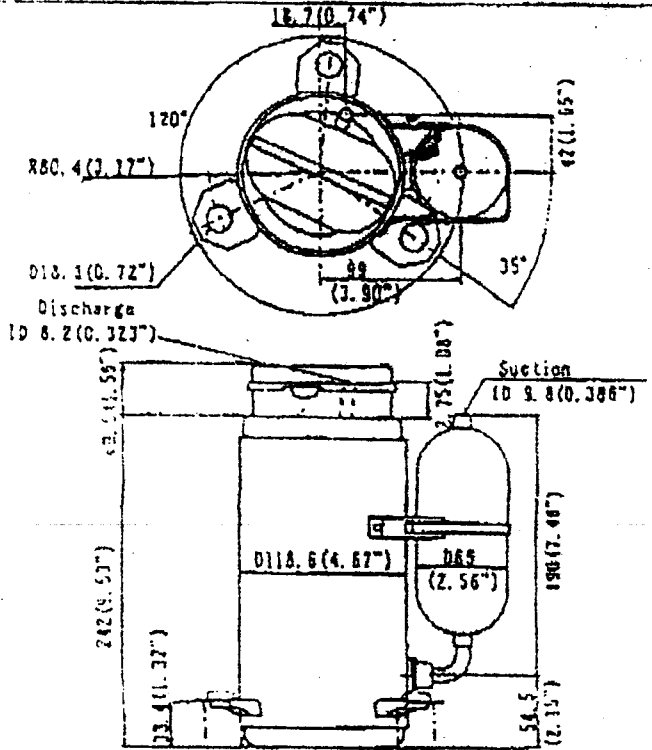
Should consider your own units, problems, and variables.

Calculations completed in 0.000 sec.

- Application Air conditioning
- Refrigerant.....R-22
- Refrigerant control....Capillary tube
- Compressor cooling....Forced air
- Rated Performance 50Hz 220V
- Capacity.....2316 kcal/hr (9190 BTU/hr)<sup>Ⓛ</sup>
- Watts.....943
- EER.....2.46 kcal/W·hr(9.75 BTU/W·hr)<sup>Ⓛ</sup>
- Amps.....4.4
- Evaporating Temp.....7.2°C(45° F) Return Gas Temp...35°C(95° F)
- Condensing Temp.....54.4°C(130° F) Ambient Temp.....35°C(95° F)
- Liquid Temp.....46.1°C(115° F)
- Compressor Data
- Design.....Rotary
- Displacement.....16.2 cm<sup>3</sup>/rev(0.986 in<sup>3</sup>/rev)
- Suction line.....9.52mmO. D. (3/8" O. D.)
- Discharge line.....8.0mmO. D. (5/16" O. D.)
- Weight.....10.4 kg(22.4 lbs)incl. oil and standard accessories
- Motor Data
- Motor type.....Permanent Split Capacitor
- Volts/Frequency/Phase...220~240/50/1
- Approved voltage range..Rated voltage ±10%
- Locked rotor amps.....21A (240V 50Hz)
- Electrical Components
- Overload Protector.....External
- Capacitor.....30 MFD/400V

- Oil Charge ..... 405 cm<sup>3</sup> (13.7 Fl. Oz.)
- Standard Accessories ..... Overload protector, Terminal cover assembly, Mounting assembly(excl. stud)

\*Rated capacity is measured by secondary Refrigerant calorimeter Methods of JIS B8606 by Hitachi Ltd. Allowable capacity is ±10% of Rated capacity.



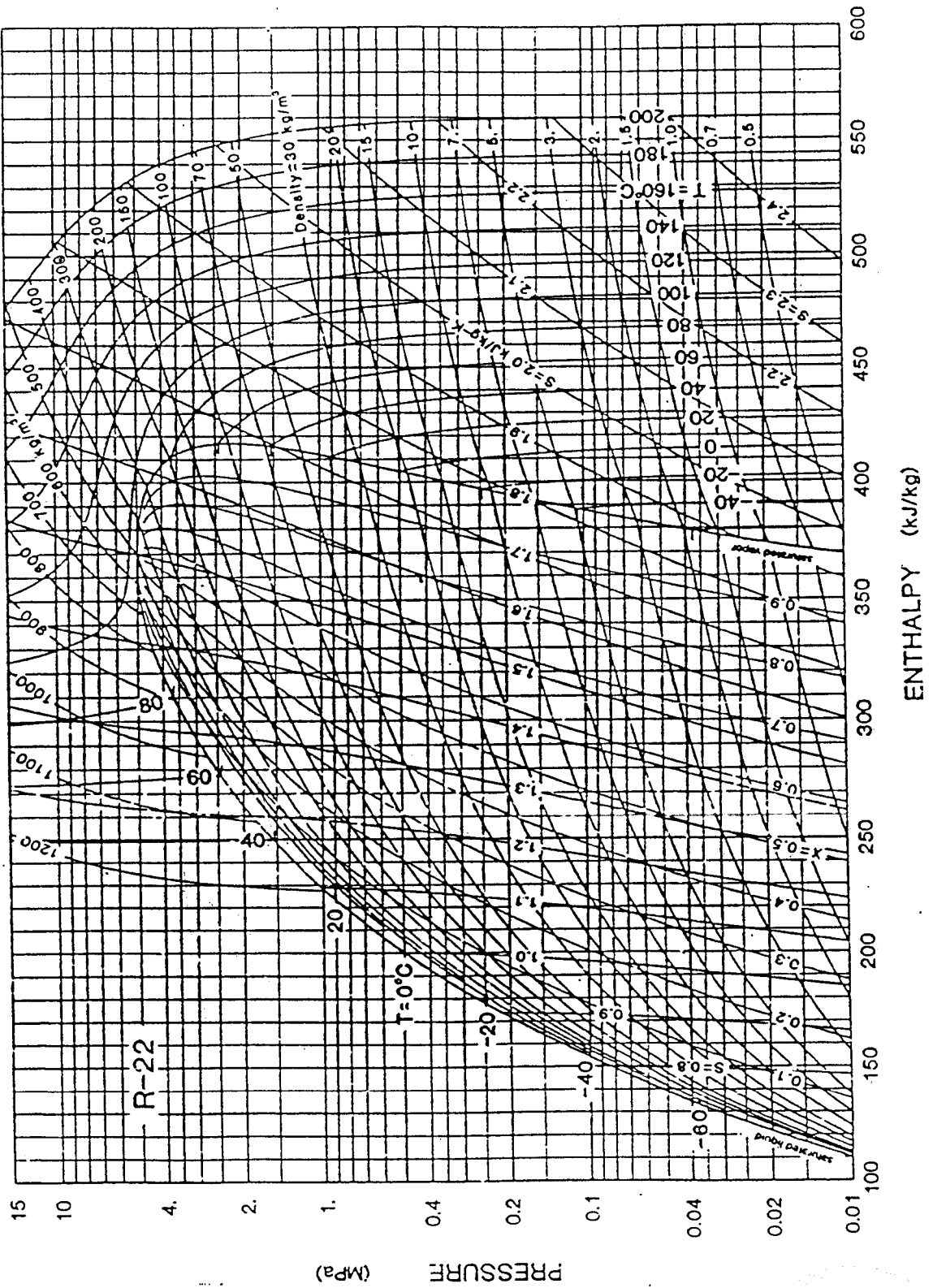


Fig. 4 Pressure-Enthalpy Diagram for Refrigerant 22

**B.6 THERMODYNAMIC PROPERTIES OF R 22\*****Table B.6.1** Saturation Table of R22

Temp. (°C)	$p_{sat}$ (bar)	Specific Volume		Enthalpy			Entropy		
		Liquid $v_f \times 10^3$ (m <sup>3</sup> /kg)	Vapour $v_g$ (m <sup>3</sup> /kg)	High $h_f$ (kJ/kg)	Low $h_{fg}$ (kJ/kg)	Low $h_g$ (kJ/kg)	$s_f$ (kJ/kg.K)	$s_{fg}$ (kJ/kg.K)	$s_g$ (kJ/kg.K)
-50	0.644	.695	.3246	145.05	238.96	384.01	.7792	1.0708	1.8500
-48	0.713	.698	.2952	147.12	237.84	384.96	.7884	1.0563	1.8447
-46	0.787	.701	.2690	149.20	236.70	385.90	.7976	1.0420	1.8396
-44	0.868	.704	.2456	151.29	235.55	386.84	.8067	1.0279	1.8346
-42	0.955	.706	.2246	153.39	234.38	387.77	.8158	1.0139	1.8297
-40	1.049	.709	.2057	155.51	233.19	388.70	.8249	1.0001	1.8250
-38	1.151	.712	.1888	157.63	231.99	389.62	.8339	.9865	1.8204
-36	1.259	.715	.1735	159.76	230.77	390.53	.8429	.9730	1.8160
-34	1.376	.718	.1597	161.90	229.53	391.43	.8519	.9597	1.8116
-32	1.501	.721	.1472	164.06	228.27	392.33	.8608	.9466	1.8074
-30	1.635	.725	.1358	166.22	227.00	393.22	.8698	.9335	1.8033
-28	1.778	.728	.1256	168.40	225.70	394.10	.8786	.9206	1.7993
-26	1.930	.731	.1162	170.59	224.39	394.97	.8875	.9079	1.7953
-24	2.092	.734	.1077	172.78	223.05	395.84	.8963	.8952	1.7915
-22	2.265	.738	.0999	174.99	221.70	396.69	.9051	.8827	1.7878
-20	2.448	.741	.0928	177.21	220.32	397.53	.9139	.8703	1.7841
-18	2.643	.744	.0864	179.44	218.93	398.37	.9226	.8580	1.7806
-16	2.849	.748	.0804	181.68	217.51	399.19	.9313	.8458	1.7771
-14	3.068	.751	.0750	183.93	216.07	400.00	.9400	.8337	1.7737
-12	3.299	.755	.0699	186.20	214.61	400.81	.9486	.8218	1.7704
-10	3.543	.759	.0653	188.47	213.13	401.60	.9572	.8099	1.7670
-8	3.801	.763	.0611	190.75	211.62	402.37	.9658	.7981	1.7639
-6	4.072	.766	.0572	193.05	210.09	403.14	.9744	.7864	1.7608
-4	4.358	.770	.0536	195.36	208.54	403.89	.9830	.7748	1.7577
-2	4.659	.774	.0502	197.67	206.96	404.63	.9915	.7632	1.7547
0	4.976	.778	.0471	200.00	205.36	405.36	1.000	.7518	1.7518
2	5.308	.782	.0443	202.34	203.73	406.07	1.0085	.7404	1.7489
4	5.657	.787	.0416	204.69	202.08	406.77	1.0169	.7291	1.7460
6	6.023	.791	.0391	207.05	200.40	407.45	1.0254	.7179	1.7432
8	6.406	.795	.0368	209.42	198.69	408.11	1.0338	.7067	1.7405
10	6.807	.800	.0347	211.81	196.95	408.76	1.0422	.6956	1.7377
12	7.226	.805	.0327	214.20	195.19	409.39	1.0506	.6845	1.7351
14	7.665	.809	.0309	216.61	193.40	410.01	1.0589	.6735	1.7324
16	8.123	.814	.0291	219.03	191.57	410.60	1.0673	.6625	1.7298
18	8.601	.819	.0275	221.46	189.72	411.18	1.0756	.6516	1.7272
20	9.099	.824	.0260	223.90	187.83	411.73	1.0839	.6407	1.7246
22	9.619	.830	.0246	226.36	185.91	412.27	1.0922	.6299	1.7221
24	10.160	.835	.0233	228.83	183.95	412.78	1.1005	.6190	1.7195





## SIFAT-SIFAT R-22 PADA EVAPORATOR "TAMPILAN EES"

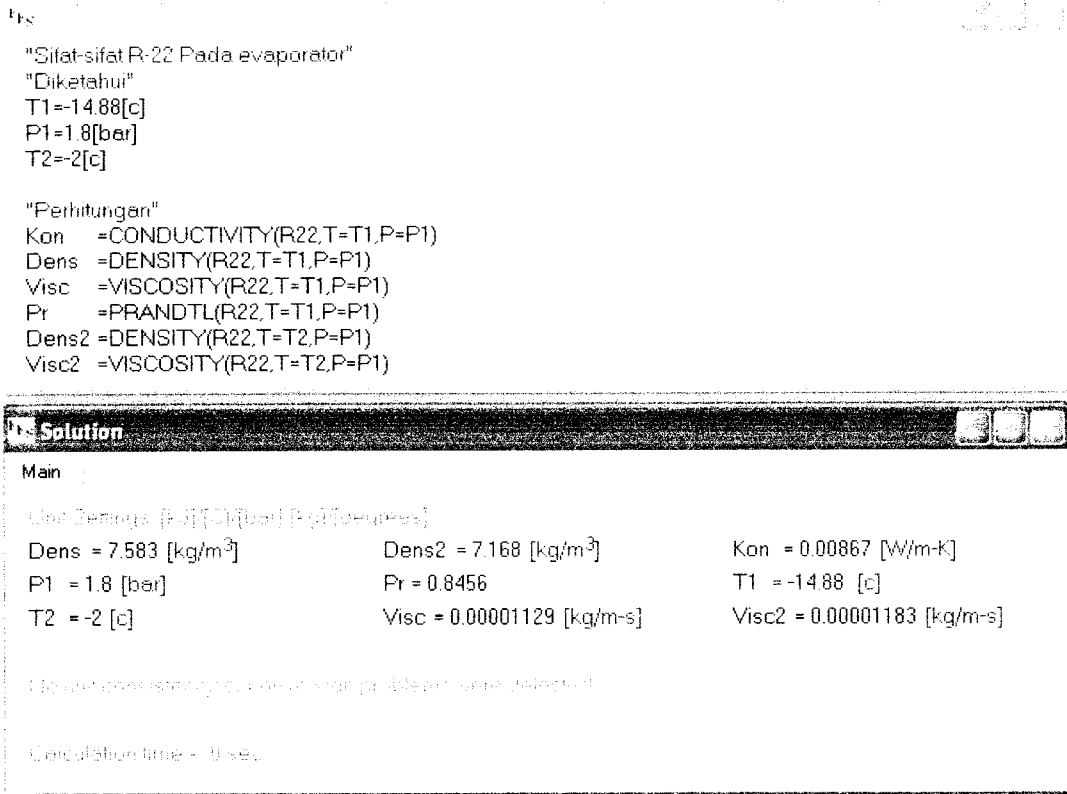


TABLE A-17 Properties of Saturated Refrigerant 22 (Liquid-Vapor): Pressure Table

Press. bars	Temp. °C	Specific Volume m <sup>3</sup> /kg		Internal Energy kJ/kg		Enthalpy kJ/kg			Entropy kJ/kg · K		Press. bars
		Sat. Liquid <i>v<sub>f</sub></i> × 10 <sup>3</sup>	Sat. Vapor <i>v<sub>g</sub></i>	Sat. Liquid <i>u<sub>f</sub></i>	Sat. Vapor <i>u<sub>g</sub></i>	Sat. Liquid <i>h<sub>f</sub></i>	Evap. <i>h<sub>fg</sub></i>	Sat. Vapor <i>h<sub>g</sub></i>	Sat. Liquid <i>s<sub>f</sub></i>	Sat. Vapor <i>s<sub>g</sub></i>	
0.40	-58.86	0.6847	0.5056	-20.36	204.13	-20.34	244.69	224.36	-0.0907	1.0512	0.40
0.50	-54.83	0.6901	0.4107	-16.07	205.76	-16.03	242.33	226.30	-0.0709	1.0391	0.50
0.60	-51.40	0.6947	0.3466	-12.39	207.14	-12.35	240.28	227.93	-0.0542	1.0294	0.60
0.70	-48.40	0.6989	0.3002	-9.17	208.34	-9.12	238.47	229.35	-0.0397	1.0213	0.70
0.80	-45.73	0.7026	0.2650	-6.28	209.41	-6.23	236.84	230.61	-0.0270	1.0144	0.80
0.90	-43.30	0.7061	0.2374	-3.66	210.37	-3.60	235.34	231.74	-0.0155	1.0084	0.90
1.00	-41.09	0.7093	0.2152	-1.26	211.25	-1.19	233.95	232.77	-0.0051	1.0031	1.00
1.25	-36.23	0.7166	0.1746	4.04	213.16	4.13	230.86	234.99	0.0175	0.9919	1.25
1.50	-32.08	0.7230	0.1472	8.60	214.77	8.70	228.15	236.86	0.0366	0.9830	1.50
1.75	-28.44	0.7287	0.1274	12.61	216.18	12.74	225.73	238.47	0.0531	0.9755	1.75
2.00	-25.18	0.7340	0.1123	16.22	217.42	16.37	223.52	239.88	0.0678	0.9691	2.00
2.25	-22.22	0.7389	0.1005	19.51	218.53	19.67	221.47	241.15	0.0809	0.9636	2.25
2.50	-19.51	0.7436	0.0910	22.54	219.55	22.72	219.57	242.29	0.0930	0.9586	2.50
2.75	-17.00	0.7479	0.0831	25.36	220.48	25.56	217.77	243.33	0.1040	0.9542	2.75
3.00	-14.66	0.7521	0.0765	27.99	221.34	28.22	216.07	244.29	0.1143	0.9502	3.00
3.25	-12.46	0.7561	0.0709	30.47	222.13	30.72	214.46	245.18	0.1238	0.9465	3.25
3.50	-10.39	0.7599	0.0661	32.82	222.88	33.09	212.91	246.00	0.1328	0.9431	3.50
3.75	-8.43	0.7636	0.0618	35.06	223.58	35.34	211.42	246.77	0.1413	0.9399	3.75
4.00	-6.56	0.7672	0.0581	37.18	224.24	37.49	209.99	247.48	0.1493	0.9370	4.00
4.25	-4.78	0.7706	0.0548	39.22	224.86	39.55	208.61	248.16	0.1569	0.9342	4.25
4.50	-3.08	0.7740	0.0519	41.17	225.45	41.52	207.27	248.80	0.1642	0.9316	4.50
4.75	-1.45	0.7773	0.0492	43.05	226.00	43.42	205.98	249.40	0.1711	0.9292	4.75
5.00	0.12	0.7805	0.0469	44.86	226.54	45.25	204.71	249.97	0.1777	0.9269	5.00
5.25	1.63	0.7836	0.0447	46.61	227.04	47.02	203.48	250.51	0.1841	0.9247	5.25
5.50	3.08	0.7867	0.0427	48.30	227.53	48.74	202.28	251.02	0.1903	0.9226	5.50
5.75	4.49	0.7897	0.0409	49.94	227.99	50.41	201.11	251.51	0.1962	0.9206	5.75
6.00	5.85	0.7927	0.0392	51.53	228.44	52.01	199.97	251.98	0.2019	0.9186	6.00
7.00	10.91	0.8041	0.0337	57.48	230.04	58.04	195.60	253.64	0.2231	0.9117	7.00
8.00	15.45	0.8149	0.0295	62.88	231.43	63.53	191.52	255.05	0.2419	0.9056	8.00
9.00	19.59	0.8252	0.0262	67.84	232.64	68.59	187.67	256.25	0.2591	0.9001	9.00
10.00	23.40	0.8352	0.0236	72.46	233.71	73.30	183.99	257.28	0.2748	0.8952	10.00
12.00	30.25	0.8546	0.0195	80.87	235.48	81.90	177.04	258.94	0.3029	0.8864	12.00
14.00	36.29	0.8734	0.0166	88.45	236.89	89.68	170.49	260.16	0.3277	0.8786	14.00
16.00	41.73	0.8919	0.0144	95.41	238.00	96.83	164.21	261.04	0.3500	0.8715	16.00
18.00	46.69	0.9104	0.0127	101.87	238.86	103.51	158.13	261.64	0.3705	0.8649	18.00
20.00	51.25	0.9291	0.0112	107.95	239.51	109.81	152.17	261.98	0.3895	0.8586	20.00
24.00	59.46	0.9677	0.0091	119.24	240.22	121.56	140.43	261.99	0.4241	0.8463	24.00

TABLE A-18 Properties of Superheated Refrigerant 22 Vapor

$T$ °C	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg · K	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg · K
$p = 0.4 \text{ bar} = 0.04 \text{ MPa}$ ( $T_{\text{sat}} = -58.86^\circ\text{C}$ )				$p = 0.6 \text{ bar} = 0.06 \text{ MPa}$ ( $T_{\text{sat}} = -51.40^\circ\text{C}$ )				
Sat.	0.50559	204.13	224.36	1.0512	0.34656	207.14	227.93	1.0294
-55	0.51532	205.92	226.53	1.0612				
-50	0.52787	208.26	229.38	1.0741	0.34895	207.80	228.74	1.0330
-45	0.54037	210.63	232.24	1.0868	0.35747	210.20	231.65	1.0459
-40	0.55284	213.02	235.13	1.0993	0.36594	212.62	234.58	1.0586
-35	0.56526	215.43	238.05	1.1117	0.37437	215.06	237.52	1.0711
-30	0.57766	217.88	240.99	1.1239	0.38277	217.53	240.49	1.0835
-25	0.59002	220.35	243.95	1.1360	0.39114	220.02	243.49	1.0956
-20	0.60236	222.85	246.95	1.1479	0.39948	222.54	246.51	1.1077
-15	0.61468	225.38	249.97	1.1597	0.40779	225.08	249.55	1.1196
-10	0.62697	227.93	253.01	1.1714	0.41608	227.65	252.62	1.1314
-5	0.63925	230.52	256.09	1.1830	0.42436	230.25	255.71	1.1430
0	0.65151	233.13	259.19	1.1944	0.43261	232.88	258.83	1.1545
$p = 0.8 \text{ bar} = 0.08 \text{ MPa}$ ( $T_{\text{sat}} = -45.73^\circ\text{C}$ )				$p = 1.0 \text{ bar} = 0.10 \text{ MPa}$ ( $T_{\text{sat}} = -41.09^\circ\text{C}$ )				
Sat.	0.26503	209.41	230.61	1.0144	0.21518	211.25	232.77	1.0031
-45	0.26597	209.76	231.04	1.0163				
-40	0.27245	212.21	234.01	1.0292	0.21633	211.79	233.42	1.0059
-35	0.27890	214.68	236.99	1.0418	0.22158	214.29	236.44	1.0187
-30	0.28530	217.17	239.99	1.0543	0.22679	216.80	239.48	1.0313
-25	0.29167	219.68	243.02	1.0666	0.23197	219.34	242.54	1.0438
-20	0.29801	222.22	246.06	1.0788	0.23712	221.90	245.61	1.0560
-15	0.30433	224.78	249.13	1.0908	0.24224	224.48	248.70	1.0681
-10	0.31062	227.37	252.22	1.1026	0.24734	227.08	251.82	1.0801
-5	0.31690	229.98	255.34	1.1143	0.25241	229.71	254.95	1.0919
0	0.32315	232.62	258.47	1.1259	0.25747	232.36	258.11	1.1035
5	0.32939	235.29	261.64	1.1374	0.26251	235.04	261.29	1.1151
10	0.33561	237.98	264.83	1.1488	0.26753	237.74	264.50	1.1265
$p = 1.5 \text{ bars} = 0.15 \text{ MPa}$ ( $T_{\text{sat}} = -32.08^\circ\text{C}$ )				$p = 2.0 \text{ bars} = 0.20 \text{ MPa}$ ( $T_{\text{sat}} = -25.18^\circ\text{C}$ )				
Sat.	0.14721	214.77	236.86	0.9830	0.11232	217.42	239.88	0.9691
-30	0.14872	215.85	238.16	0.9883				
-25	0.15232	218.45	241.30	1.0011	0.11242	217.51	240.00	0.9696
-20	0.15588	221.07	244.45	1.0137	0.11520	220.19	243.23	0.9825
-15	0.15941	223.70	247.61	1.0260	0.11795	222.88	246.47	0.9952
-10	0.16292	226.35	250.78	1.0382	0.12067	225.58	249.72	1.0076
-5	0.16640	229.02	253.98	1.0502	0.12336	228.30	252.97	1.0199
0	0.16987	231.70	257.18	1.0621	0.12603	231.03	256.23	1.0310
5	0.17331	234.42	260.41	1.0738	0.12868	233.78	259.51	1.0438
10	0.17674	237.15	263.66	1.0854	0.13132	236.54	262.81	1.0555
15	0.18015	239.91	266.93	1.0968	0.13393	239.33	266.12	1.0671
20	0.18355	242.69	270.22	1.1081	0.13653	242.14	269.44	1.0786
25	0.18693	245.49	273.53	1.1193	0.13912	244.97	272.79	1.0899

R-22

TABLE A-18 (Continued)

$T$ °C	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg · K	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg · K
$p = 2.5 \text{ bars} = 0.25 \text{ MPa}$ ( $T_{\text{sat}} = -19.51^\circ\text{C}$ )					$p = 3.0 \text{ bars} = 0.30 \text{ MPa}$ ( $T_{\text{sat}} = -14.66^\circ\text{C}$ )			
Sat.	0.09097	219.55	242.29	0.9586	0.07651	221.34	244.29	0.9502
-15	0.09303	222.03	245.29	0.9703				
-10	0.09528	224.79	248.61	0.9831	0.07833	223.96	247.46	0.9623
-5	0.09751	227.55	251.93	0.9956	0.08025	226.78	250.86	0.9751
0	0.09971	230.33	255.26	1.0078	0.08214	229.61	254.25	0.9876
5	0.10189	233.12	258.59	1.0199	0.08400	232.44	257.64	0.9999
10	0.10405	235.92	261.93	1.0318	0.08585	235.28	261.04	1.0120
15	0.10619	238.74	265.29	1.0436	0.08767	238.14	264.44	1.0239
20	0.10831	241.58	268.66	1.0552	0.08949	241.01	267.85	1.0357
25	0.11043	244.44	272.04	1.0666	0.09128	243.89	271.28	1.0472
30	0.11253	247.31	275.44	1.0779	0.09307	246.80	274.72	1.0587
35	0.11461	250.21	278.86	1.0891	0.09484	249.72	278.17	1.0700
40	0.11669	253.13	282.30	1.1002	0.09660	252.66	281.54	1.0811

$p = 3.5 \text{ bars} = 0.35 \text{ MPa}$ ( $T_{\text{sat}} = -10.39^\circ\text{C}$ )					$p = 4.0 \text{ bars} = 0.40 \text{ MPa}$ ( $T_{\text{sat}} = -6.56^\circ\text{C}$ )			
Sat.	0.06605	222.88	246.00	0.9431	0.05812	224.24	247.48	0.9370
-10	0.06619	223.10	246.27	0.9441				
-5	0.06789	225.99	249.75	0.9572	0.05860	225.16	248.60	0.9411
0	0.06956	228.86	253.21	0.9700	0.06011	228.09	252.14	0.9542
5	0.07121	231.74	256.67	0.9825	0.06160	231.02	255.66	0.9670
10	0.07284	234.63	260.12	0.9948	0.06306	233.95	259.18	0.9795
15	0.07444	237.52	263.57	1.0069	0.06450	236.89	262.69	0.9918
20	0.07603	240.42	267.03	1.0188	0.06592	239.83	266.19	1.0039
25	0.07760	243.34	270.50	1.0305	0.06733	242.77	269.71	1.0158
30	0.07916	246.27	273.97	1.0421	0.06872	245.73	273.22	1.0274
35	0.08070	249.22	227.46	1.0535	0.07010	248.71	276.75	1.0390
40	0.08224	252.18	280.97	1.0648	0.07146	251.70	280.28	1.0504
45	0.08376	255.17	284.48	1.0759	0.07282	254.70	283.83	1.0616

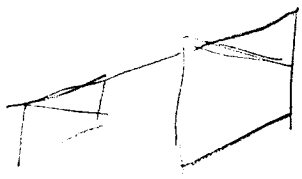
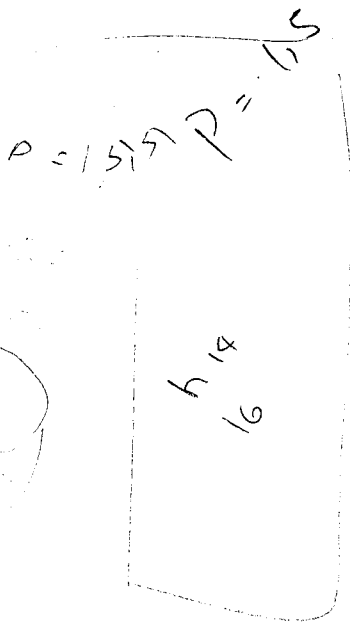
$p = 4.5 \text{ bars} = 0.45 \text{ MPa}$ ( $T_{\text{sat}} = -3.03^\circ\text{C}$ )					$p = 5.0 \text{ bars} = 0.50 \text{ MPa}$ ( $T_{\text{sat}} = 0.12^\circ\text{C}$ )			
Sat.	0.05189	225.45	248.80	0.9316	0.04686	226.54	249.97	0.9269
0	0.05275	227.29	251.03	0.9399				
5	0.05411	230.28	254.63	0.9529	0.04810	229.52	253.57	0.9399
10	0.05545	233.26	258.21	0.9657	0.04934	232.55	257.22	0.9530
15	0.05676	236.24	261.78	0.9782	0.05056	235.57	260.85	0.9657
20	0.05805	239.22	265.34	0.9904	0.05175	238.59	264.47	0.9781
25	0.05933	242.20	268.90	1.0025	0.05293	241.61	268.07	0.9903
30	0.06059	245.19	272.46	1.0143	0.05409	244.63	271.68	1.0023
35	0.06184	248.19	276.02	1.0259	0.05523	247.66	275.28	1.0141
40	0.06308	251.20	279.59	1.0374	0.05636	250.70	278.89	1.0257
45	0.06430	254.23	283.17	1.0488	0.05748	253.76	282.50	1.0371
50	0.06552	257.28	286.76	1.0600	0.05859	256.82	286.12	1.0484
55	0.06672	260.34	290.36	1.0710	0.05969	259.90	289.75	1.0595

TABLE A-18 (Continued)

$T$ °C	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg · K	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg · K
$p = 5.5 \text{ bars} = 0.55 \text{ MPa}$ ( $T_{\text{sat}} = 3.08^\circ\text{C}$ )					$p = 6.0 \text{ bars} = 0.60 \text{ MPa}$ ( $T_{\text{sat}} = 5.85^\circ\text{C}$ )			
Sat.	0.04271	227.53	251.02	0.9226	0.03923	228.44	251.98	0.9186
5	0.04317	228.72	252.46	0.9278				
10	0.04433	231.81	256.20	0.9411	0.04015	231.05	255.14	0.9299
15	0.04547	234.89	259.90	0.9540	0.04122	234.18	258.51	0.9431
20	0.04658	237.95	263.57	0.9667	0.04227	237.29	262.65	0.9560
25	0.04768	241.01	267.23	0.9790	0.04330	240.39	266.37	0.9685
30	0.04875	244.07	270.88	0.9912	0.04431	243.49	270.07	0.9808
35	0.04982	247.13	274.53	1.0031	0.04530	246.58	273.76	0.9929
40	0.05086	250.20	278.17	1.0148	0.04628	249.68	277.45	1.0048
45	0.05190	253.27	281.82	1.0264	0.04724	252.78	281.13	1.0164
50	0.05293	256.36	285.47	1.0378	0.04820	255.90	284.82	1.0279
55	0.05394	259.46	289.13	1.0490	0.04914	259.02	288.51	1.0393
60	0.05495	262.58	292.80	1.0601	0.05008	262.15	292.20	1.0504
$p = 7.0 \text{ bars} = 0.70 \text{ MPa}$ ( $T_{\text{sat}} = 10.91^\circ\text{C}$ )					$p = 8.0 \text{ bars} = 0.80 \text{ MPa}$ ( $T_{\text{sat}} = 15.45^\circ\text{C}$ )			
Sat.	0.03371	230.04	253.64	0.9117	0.02953	231.43	255.05	0.9056
15	0.03451	232.70	256.86	0.9229				
20	0.03547	235.92	260.75	0.9363	0.03033	234.47	258.74	0.9182
25	0.03639	239.12	264.59	0.9493	0.03118	237.76	262.70	0.9315
30	0.03730	242.29	268.40	0.9619	0.03202	241.04	266.66	0.9448
35	0.03819	245.46	272.19	0.9743	0.03283	244.28	270.54	0.9574
40	0.03906	248.62	275.96	0.9865	0.03363	247.52	274.42	0.9700
45	0.03992	251.78	279.72	0.9984	0.03440	250.74	278.26	0.9821
50	0.04076	254.94	283.48	1.0101	0.03517	253.96	282.10	0.9941
55	0.04160	258.11	287.23	1.0216	0.03592	257.18	285.92	1.0058
60	0.04242	261.29	290.99	1.0330	0.03667	260.40	289.74	1.0174
65	0.04324	264.48	294.75	1.0442	0.03741	263.64	293.56	1.0287
70	0.04405	267.68	298.51	1.0552	0.03814	266.87	297.38	1.0400
$p = 9.0 \text{ bars} = 0.90 \text{ MPa}$ ( $T_{\text{sat}} = 19.59^\circ\text{C}$ )					$p = 10.0 \text{ bars} = 1.00 \text{ MPa}$ ( $T_{\text{sat}} = 23.40^\circ\text{C}$ )			
Sat.	0.02623	232.64	256.25	0.9001	0.02358	233.71	257.28	0.8952
20	0.02630	232.92	256.59	0.9013				
30	0.02789	239.73	264.83	0.9289	0.02457	238.34	262.91	0.9139
40	0.02939	246.37	272.82	0.9549	0.02598	245.18	271.17	0.9407
50	0.03082	252.95	280.68	0.9795	0.02732	251.90	279.22	0.9650
60	0.03219	259.49	288.46	1.0033	0.02860	258.56	287.15	0.9902
70	0.03353	266.04	296.21	1.0262	0.02984	265.19	295.03	1.0135
80	0.03483	272.62	303.96	1.0484	0.03104	271.84	302.88	1.0361
90	0.03611	279.23	311.73	1.0701	0.03221	278.52	310.74	1.0580
100	0.03736	285.90	319.53	1.0913	0.03337	285.24	318.61	1.0794
110	0.03860	292.63	327.37	1.1120	0.03450	292.02	326.52	1.1003
120	0.03982	299.42	335.26	1.1323	0.03562	298.85	334.46	1.1207
130	0.04103	306.28	343.21	1.1523	0.03672	305.74	342.46	1.1408
140	0.04223	313.21	351.22	1.1719	0.03781	312.70	350.51	1.1605
150	0.04342	320.21	359.29	1.1912	0.03889	319.74	358.63	1.1790

TABLE A-18 (Continued)

T °C	v m <sup>3</sup> /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K	v m <sup>3</sup> /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K
<b>p = 12.0 bars = 1.20 MPa</b> (T <sub>sat</sub> = 30.25°C)					<b>p = 14.0 bars = 1.40 MPa</b> (T <sub>sat</sub> = 36.29°C)			
Sat.	0.01955	235.48	258.94	0.8864	0.01662	236.89	260.16	0.8786
40	0.02083	242.63	267.62	0.9146	0.01708	239.78	263.70	0.8900
50	0.02204	249.69	276.14	0.9413	0.01823	247.29	272.81	0.9186
60	0.02319	256.60	284.43	0.9666	0.01929	254.52	281.53	0.9452
70	0.02428	263.44	292.58	0.9907	0.02029	261.60	290.01	0.9703
80	0.02534	270.25	300.66	1.0139	0.02125	268.60	298.34	0.9942
90	0.02636	277.07	308.70	1.0363	0.02217	275.56	306.60	1.0172
100	0.02736	283.90	316.73	1.0582	0.02306	282.52	314.80	1.0395
110	0.02834	290.77	324.78	1.0794	0.02393	289.49	323.00	1.0612
120	0.02930	297.69	332.85	1.1002	0.02478	296.50	331.19	1.0823
130	0.03024	304.65	340.95	1.1205	0.02562	303.55	339.41	1.1029
140	0.03118	311.68	349.09	1.1405	0.02644	310.64	347.65	1.1231
150	0.03210	318.77	357.29	1.1601	0.02725	317.79	355.94	1.1429
160	0.03301	325.92	365.54	1.1793	0.02805	324.99	364.26	1.1624
170	0.03392	333.14	373.84	1.1983	0.02884	332.26	372.64	1.1815
<b>p = 16.0 bars = 1.60 MPa</b> (T <sub>sat</sub> = 41.73°C)					<b>p = 18.0 bars = 1.80 MPa</b> (T <sub>sat</sub> = 46.69°C)			
Sat.	0.01440	238.00	261.04	0.8715	0.01265	238.86	261.64	0.8649
50	0.01533	244.66	269.18	0.8971	0.01301	241.72	265.14	0.8758
60	0.01634	252.29	278.43	0.9252	0.01401	249.86	275.09	0.9061
70	0.01728	259.65	287.30	0.9515	0.01492	257.57	284.43	0.9337
80	0.01817	266.86	295.93	0.9762	0.01576	265.04	293.40	0.9595
90	0.01901	274.00	304.42	0.9999	0.01655	272.37	302.16	0.9839
100	0.01983	281.09	312.82	1.0228	0.01731	279.62	310.77	1.0073
110	0.02062	288.18	321.17	1.0448	0.01804	286.83	319.30	1.0299
120	0.02139	295.28	329.51	1.0663	0.01874	294.04	327.78	1.0517
130	0.02214	302.41	337.84	1.0872	0.01943	301.26	336.24	1.0730
140	0.02288	309.58	346.19	1.1077	0.02011	308.50	344.70	1.0937
150	0.02361	316.79	354.56	1.1277	0.02077	315.78	353.17	1.1139
160	0.02432	324.05	362.97	1.1473	0.02142	323.10	361.66	1.1338
170	0.02503	331.37	371.42	1.1666	0.02207	330.47	370.19	1.1532
<b>p = 20.0 bars = 2.00 MPa</b> (T <sub>sat</sub> = 51.26°C)					<b>p = 24.0 bars = 2.4 MPa</b> (T <sub>sat</sub> = 59.46°C)			
Sat.	0.01124	239.51	261.98	0.8586	0.00907	240.22	261.99	0.8463
60	0.01212	247.20	271.43	0.8873	0.00913	240.78	262.68	0.8484
70	0.01300	255.35	281.36	0.9167	0.01006	250.30	274.43	0.8831
80	0.01381	263.12	290.74	0.9436	0.01085	258.89	284.93	0.9133
90	0.01457	270.67	299.80	0.9689	0.01155	267.01	294.75	0.9407
100	0.01528	278.09	308.65	0.9929	0.01222	274.85	304.13	0.9663
110	0.01596	285.44	317.37	1.0160	0.01284	282.53	313.35	0.9906
120	0.01663	292.76	326.01	1.0383	0.01343	290.11	322.35	1.0137
130	0.01727	300.08	334.61	1.0598	0.01400	297.64	331.25	1.0361
140	0.01789	307.40	343.19	1.0808	0.01456	305.14	340.08	1.0577
150	0.01850	314.75	351.76	1.1013	0.01509	312.64	348.87	1.0787
160	0.01910	322.14	360.34	1.1214	0.01562	320.16	357.64	1.0992
170	0.01969	329.56	368.95	1.1410	0.01613	327.70	366.41	1.1192
180	0.02027	337.03	377.58	1.1603	0.01663	335.27	375.20	1.1388



## PERHITUNGAN SIKLUS REFRIGERASI IDEAL "TAMPILAN EES"

**Equation Window**

```

"Diketahui"
t=35[menit]
P_1=1.8[bar]
P_2=15.5[bar]
m_dot=0.0123[kg/s]

"Persamaan-persamaan"

"Kondisi 4-1"
h_1=ENTHALPY(R22,P=P_1,X=1)
s_1=ENTROPY(R22,P=P_1,X=1)
T_1=TEMPERATURE(R22,h=h_1,P=P_1)
"Kondisi 1-2"
s_1=s_2
h_2=ENTHALPY(R22,P=P_2,s=s_2)
T_2=TEMPERATURE(R22,h=h_2,P=P_2)

"Kondisi 2-3"
P_2=P_3
h_3=ENTHALPY(R22,P=P_2,X=0)
T_3=TEMPERATURE(R22,h=h_3,P=P_2)

"Kondisi 3-4"
h_3=h_4

Q_dot_l=m_dot*(h_1-h_4)
W_dot_in=m_dot*(h_2-h_1)
Q_dot_h=m_dot*(h_2-h_3)
COP_r=Q_dot_l/W_dot_in
    
```

**Solution**

Main

Unit conversion: (kJ/kg)/(kg/s)/(min) (Watt) (C)

COP <sub>r</sub> = 2.585	h <sub>1</sub> = 393.5 [kJ/kg]	h <sub>2</sub> = 448.9 [kJ/kg]
h <sub>3</sub> = 250.4 [kJ/kg]	h <sub>4</sub> = 250.4 [kJ/kg]	ṁ = 0.0123 [kg/s]
P <sub>1</sub> = 1.8 [bar]	P <sub>2</sub> = 15.5 [bar]	P <sub>3</sub> = 15.5 [bar]
Q̇ <sub>h</sub> = 2.442 [Watt]	Q̇ <sub>l</sub> = 1.761 [Watt]	s <sub>1</sub> = 1.796 [kJ/kg-K]
s <sub>2</sub> = 1.796 [kJ/kg-K]	t = 35 [menit]	T <sub>1</sub> = -27.76 [C]
T <sub>2</sub> = 76.47 [C]	T <sub>3</sub> = 40.42 [C]	Ẇ <sub>in</sub> = 0.6811 [Watt]

A potential unit mismatch was detected. Check Units

Solve for variables: 11 req.



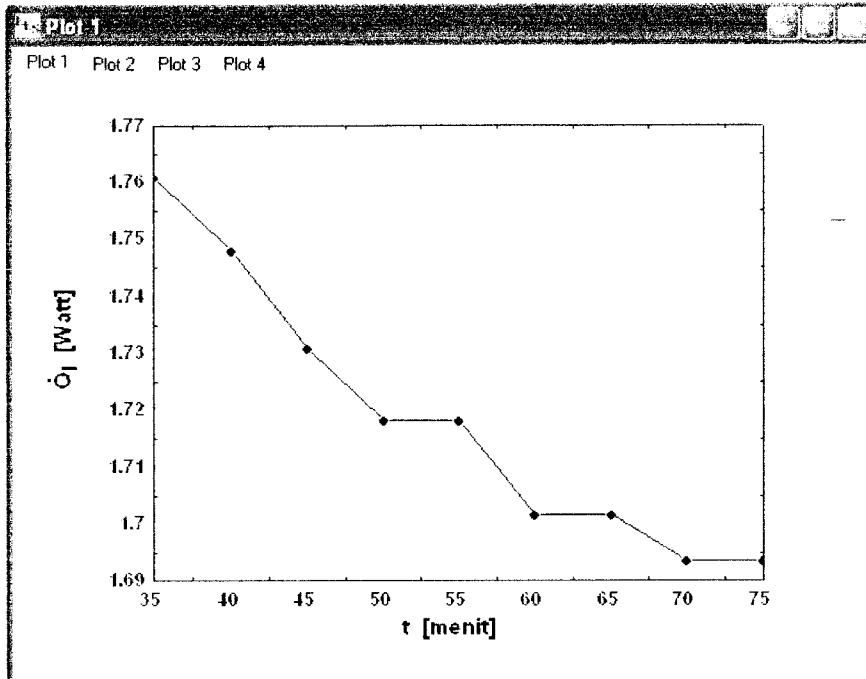
## TABEL HASIL PERHITUNGAN SIKLUS IDEAL "TAMPILAN EES"

Parametric Table							
Tabel siklus ideal							
Run	$P_1$ [bar]	t [menit]	$P_2$ [bar]	$\dot{m}$ [kg/s]	$T_1$ [C]	$T_2$ [C]	
Run 1	1.8	35	15.5	0.0123	-27.76	76.47	
Run 2	1.8	40	15.8	0.0123	-27.76	77.56	
Run 3	1.8	45	16.2	0.0123	-27.76	78.98	
Run 4	1.8	50	16.5	0.0123	-27.76	80.03	
Run 5	1.8	55	16.5	0.0123	-27.76	80.03	
Run 6	1.8	60	16.9	0.0123	-27.76	81.41	
Run 7	1.8	65	16.9	0.0123	-27.76	81.41	
Run 8	1.86	70	17.2	0.0123	-26.96	81.79	
Run 9	1.86	75	17.2	0.0123	-26.96	81.79	

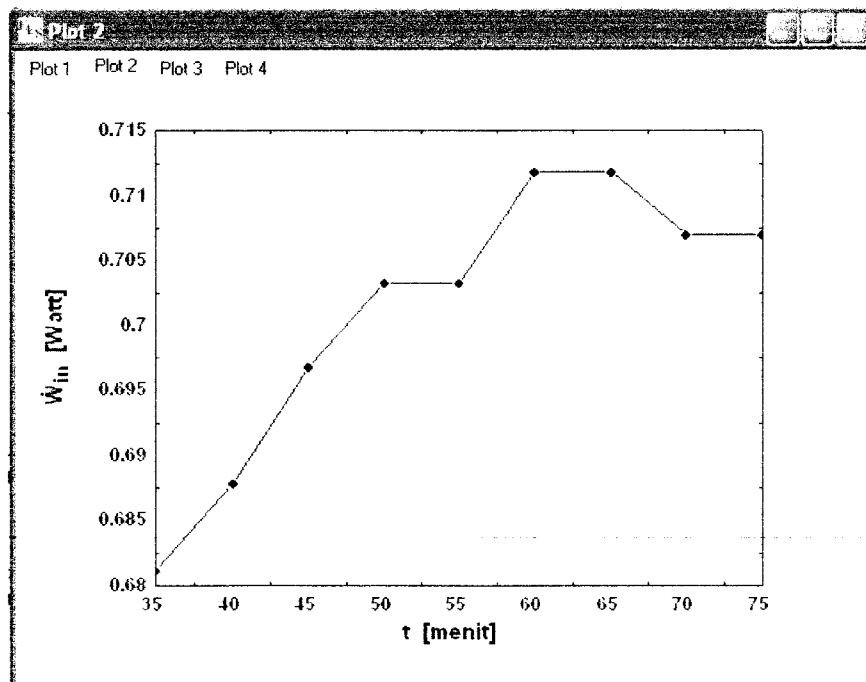
Parametric Table							
Tabel siklus ideal							
Run	$T_2$ [C]	$T_3$ [C]	$\dot{Q}_h$ [Watt]	$\dot{Q}_l$ [Watt]	$\dot{W}_{in}$ [Watt]	$COP_r$	
Run 1	76.47	40.42	2.442	1.761	0.6811	2.585	
Run 2	77.56	41.21	2.436	1.748	0.6879	2.541	
Run 3	78.98	42.25	2.428	1.731	0.6968	2.484	
Run 4	80.03	43.01	2.421	1.718	0.7033	2.443	
Run 5	80.03	43.01	2.421	1.718	0.7033	2.443	
Run 6	81.41	44.02	2.413	1.701	0.7118	2.39	
Run 7	81.41	44.02	2.413	1.701	0.7118	2.39	
Run 8	81.79	44.76	2.4	1.693	0.707	2.395	
Run 9	81.79	44.76	2.4	1.693	0.707	2.395	

## GRAFIK HASIL PERHITUNGAN SIKLUS IDEAL "TAMPILAN EES"

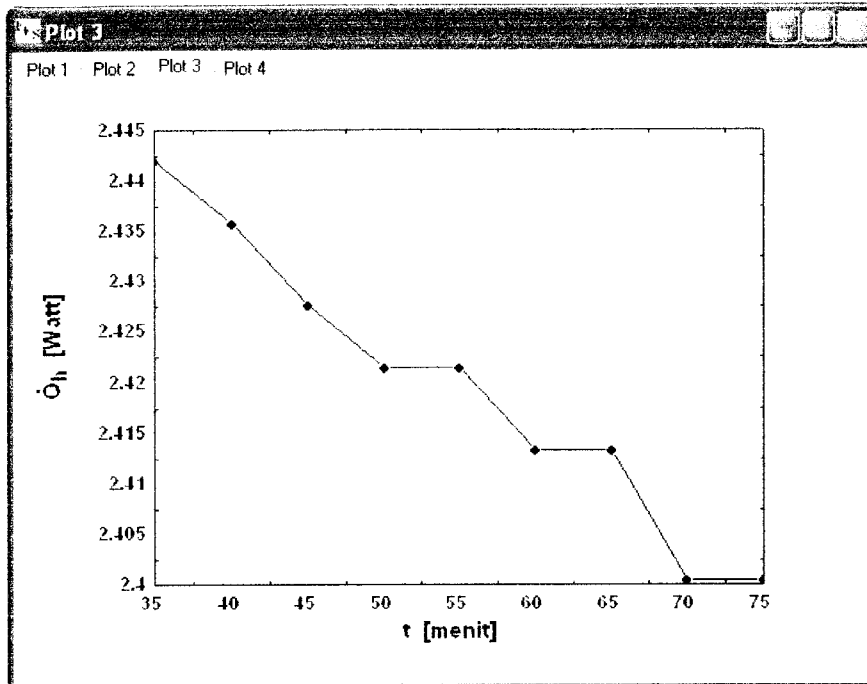
Grafik Hubungan  $\dot{Q}_1$  dengan waktu (t)



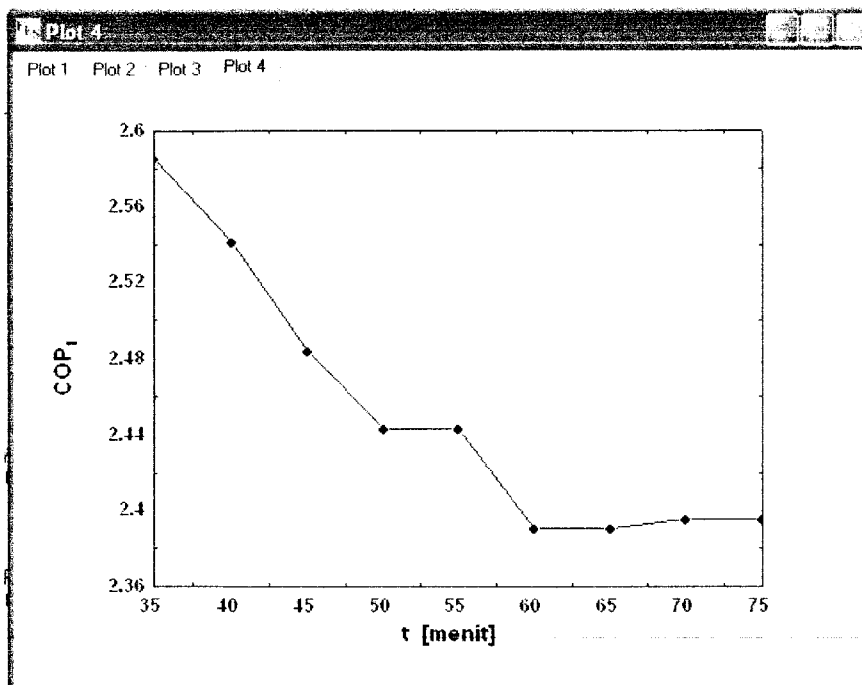
Grafik Hubungan  $W_{in}$  dengan waktu (t)



Grafik Hubungan  $\dot{Q}_h$  dengan waktu (t)



Grafik Hubungan  $COP_r$  dengan waktu (t)



## PERHITUNGAN SUHU REFRIGERAN DI DALAM PIPA KONDENSER

### Perhitungan Perpindahan panas refrigeran ( Tampilan *EES* )

```

Equations Window
"Perhitungan suhu di dalam pipa kondenser"
"Perhitungan perpindahan panas refrigeran"
"Diketahui"
T1 =76.47[C]
T2 =72[C]
M_dot =0.0123[kg/s]
P1 =15.5[bar]
d =0.0053[m]
A1 =0.000022[m2]
A2 =0.000229[m2]

"Perhitungan"
Pr =PRANDTL(R22,T=T1,P=P1)
Dens1 =DENSITY(R22,T=T1,P=P1)
Visc1 =VISCOSITY(R22,T=T1,P=P1)
Kond1 =CONDUCTIVITY(R22,T=T1,P=P1)

Dens2 =DENSITY(R22,T=T2,P=P1)
Visc2 =VISCOSITY(R22,T=T2,P=P1)

u =m_dot/(Dens1*A1)
Re =(u*d)/Visc1
Visc_dinamik1 =Visc1*Dens1
Visc_dinamik2 =Visc2*Dens2

Nuselt =0.027*Re^0.8*Pr^0.333*(Visc_dinamik1/Visc_dinamik2)^0.14
h_ref =Nuselt*(Kond1/d)
Resistan_1 =1/(h_ref*A2)
    
```

### Tabel Hasil perhitungan

Run	T1 [C]	T2 [C]	M [kg/s]	P1 [bar]	d [m]	A1 [m <sup>2</sup> ]
Run 1	76.47	72	0.0123	15.5	0.0053	0.000022
Run 2	77.56	73	0.0123	15.8	0.0053	0.000022
Run 3	78.98	73	0.0123	16.2	0.0053	0.000022
Run 4	80.03	71	0.0123	16.5	0.0053	0.000022
Run 5	80.03	70	0.0123	16.5	0.0053	0.000022
Run 6	81.41	71	0.0123	16.9	0.0053	0.000022
Run 7	81.41	72	0.0123	16.9	0.0053	0.000022
Run 8	81.79	72	0.0123	17.2	0.0053	0.000022
Run 9	81.79	73	0.0123	17.2	0.0053	0.000022
Run 10						

	Table 1	Table 2	Table 3	Table 4		
	Visc1 [kg/m-s]	Visc2 [kg/m-s]	Dens1 [kg/m <sup>3</sup> ]	Dens2 [kg/m <sup>3</sup> ]	Kond1 [W/m.C]	Pr
Run 1	0.00001567	0.00001551	53.91	55.1	0.01524	0.8769
Run 2	0.00001573	0.00001556	54.87	56.11	0.01533	0.8779
Run 3	0.0000158	0.00001558	56.15	57.84	0.01544	0.8792
Run 4	0.00001586	0.00001562	57.11	59.77	0.01553	0.8801
Run 5	0.00001586	0.00001549	57.11	60.09	0.01553	0.8801
Run 6	0.00001593	0.00001555	58.38	61.57	0.01564	0.8814
Run 7	0.00001593	0.00001558	58.38	61.24	0.01564	0.8814
Run 8	0.00001596	0.0000156	59.52	62.59	0.01569	0.8839
Run 9	0.00001596	0.00001564	59.52	62.26	0.01569	0.8839
Run 10						

	Table 1	Table 2	Table 3	Table 4			
	Dens2 [kg/m <sup>3</sup> ]	Kond1 [W/m.C]	Pr	Nuselt	h <sub>ref</sub> [W/m <sup>2</sup> .C]	Resistan <sub>1</sub> [C/W]	
Run 1	55.1	0.01524	0.8769	17.69	50.86	85.87	
Run 2	56.11	0.01533	0.8779	17.39	50.31	86.81	
Run 3	57.84	0.01544	0.8792	17.01	49.57	88.09	
Run 4	59.77	0.01553	0.8801	16.72	49	89.12	
Run 5	60.09	0.01553	0.8801	16.71	48.98	89.16	
Run 6	61.57	0.01564	0.8814	16.37	48.31	90.39	
Run 7	61.24	0.01564	0.8814	16.37	48.33	90.35	
Run 8	62.59	0.01569	0.8839	16.11	47.7	91.54	
Run 9	62.26	0.01569	0.8839	16.12	47.72	91.5	
Run 10							

**Perhitungan panas pada dinding pipa ( Tampilan EES )**

"Perhitungan perpindahan panas pada pipa tembaga"	
"Diketahui"	
Kond_coop = 386[W/m.C]	
X = 0.0005[m]	
A_pipa = 0.000275[m <sup>2</sup> ]	
"Perhitungan"	
Resistan_2	=X/(Kond_coop*A_pipa)

### Tabel Hasil Perhitungan

Parametric Table				
Table 1	Table 2	Table 3	Table 4	
Run	A <sub>pipa</sub> [m <sup>2</sup> ]	Kond <sub>coop</sub> [W/m.C]	X [m]	Resistan <sub>2</sub> [C/W]
Run 1	0.000275	386	0.0005	0.00471
Run 2	0.000275	386	0.0005	0.00471
Run 3	0.000275	386	0.0005	0.00471
Run 4	0.000275	386	0.0005	0.00471
Run 5	0.000275	386	0.0005	0.00471
Run 6	0.000275	386	0.0005	0.00471
Run 7	0.000275	386	0.0005	0.00471
Run 8	0.000275	386	0.0005	0.00471
Run 9	0.000275	386	0.0005	0.00471
Run 10				

## Perpindahan panas pada air di dalam tabung kondenser ( Tampilan EES )

**Equations Window**

"Perhitungan perpindahan panas pada air dalam tabung"  
 "Diketahui"  
 $T_{air} = 37 [C]$   
 $T_{pipa} = 72 [C]$   
 $p = 0.4 [m]$   
 $l = 0.3 [m]$   
 $Q_{air} = 0.00025 [m^3/s]$   
 $A = 0.071 [m^2]$   
 $A_{tab} = 0.02826 [m^2]$   
 $Kond_{air} = 0.649$

"Perhitungan"  
 $u_{air} = Q_{air}/A$   
 $T1_{air} = (T_{air} + T_{pipa})/2$   
 $Nuselt_{air} = 22$   
 $h_{air} = 22 * (Kond_{air}/l)$   
 $Resistan_3 = 1/(h_{air} * A_{tab})$

## Tabel Hasil Perhitungan

**Parametric Table**

▶	A [m <sup>2</sup> ]	A <sub>tab</sub> [m <sup>2</sup> ]	l [m]	p [m]	Q <sub>air</sub> [m <sup>3</sup> /s]	T <sub>air</sub> [C]
Run 1	0.071	0.02826	0.3	0.4	0.00025	37
Run 2	0.071	0.02826	0.3	0.4	0.00025	38
Run 3	0.071	0.02826	0.3	0.4	0.00025	37
Run 4	0.071	0.02826	0.3	0.4	0.00025	39
Run 5	0.071	0.02826	0.3	0.4	0.00025	39
Run 6	0.071	0.02826	0.3	0.4	0.00025	40
Run 7	0.071	0.02826	0.3	0.4	0.00025	40
Run 8	0.071	0.02826	0.3	0.4	0.00025	40
Run 9	0.071	0.02826	0.3	0.4	0.00025	40
Run 10	0.071	0.02826	0.3	0.4	0.00025	40

**Parametric Table**

▶	Q <sub>air</sub> [m <sup>3</sup> /s]	T <sub>air</sub> [C]	T <sub>pipa</sub> [C]	Kond <sub>air</sub> [W/m.C]	h <sub>air</sub> [W/m <sup>2</sup> .C]	Resistan <sub>3</sub> [C/W]
Run 1	0.00025	37	72	0.649	47.59	0.7435
Run 2	0.00025	38	73	0.65	47.67	0.7424
Run 3	0.00025	37	73	0.6495	47.63	0.7429
Run 4	0.00025	39	71	0.6495	47.63	0.7429
Run 5	0.00025	39	70	0.649	47.59	0.7435
Run 6	0.00025	40	71	0.65	47.67	0.7424
Run 7	0.00025	40	72	0.6504	47.7	0.7419
Run 8	0.00025	40	72	0.6504	47.7	0.7419
Run 9	0.00025	40	73	0.651	47.74	0.7412
Run 10	0.00025	40	73	0.651	47.74	0.7412

## Perhitungan Suhu Di Dalam Pipa Kondenser ( Tampilan EES )

```

Equation Window

"Perhitungan Suhu Di Dalam Pipa"
Resistan_total =Resistan_1+Resistan_2+Resistan_3
Q_dot = (T1-T_air)/Resistan_total
T_ref = T2+Q_dot*Resistan_1
    
```

### Tabel Hasil Perhitungan

Parametric Table

Table 1 Table 2 Table 3 Table 4

▶	T1 [C]	T <sub>air</sub> [C]	T2 [C]	h <sub>ref</sub> [W/m <sup>2</sup> C]	Resistan <sub>1</sub> [C/W]	Resistan <sub>2</sub> [C/W]
Run 1	76.47	37	72	50.86	85.87	0.00471
Run 2	77.56	38	73	50.31	86.81	0.00471
Run 3	78.98	37	73	49.57	88.09	0.00471
Run 4	80.03	39	71	49	89.12	0.00471
Run 5	80.03	39	70	48.98	89.16	0.00471
Run 6	81.41	40	71	48.31	90.39	0.00471
Run 7	81.41	40	72	48.33	90.35	0.00471
Run 8	81.79	40	72	47.7	91.54	0.00471
Run 9	81.79	40	73	47.72	91.5	0.00471
Run 10						

Parametric Table

Table 1 Table 2 Table 3 Table 4

▶	Resistan <sub>2</sub> [C/W]	Resistan <sub>3</sub> [C/W]	A2 [m <sup>2</sup> ]	Q̇ [W]	Resistan <sub>total</sub> [C/W]	T <sub>ref</sub> [C]
Run 1	0.00471	0.7435	0.000457	0.4557	86.62	111.1
Run 2	0.00471	0.7424	0.000457	0.4518	87.56	112.2
Run 3	0.00471	0.7429	0.000457	0.4725	88.84	114.6
Run 4	0.00471	0.7429	0.000457	0.4566	89.87	111.7
Run 5	0.00471	0.7435	0.000457	0.4564	89.91	110.7
Run 6	0.00471	0.7424	0.000457	0.4544	91.14	112.1
Run 7	0.00471	0.7419	0.000457	0.4546	91.1	113.1
Run 8	0.00471	0.7419	0.000457	0.4528	92.29	113.5
Run 9	0.00471	0.7412	0.000457	0.453	92.25	114.5
Run 10						



## PERHITUNGAN SIKLUS REFRIGERASI AKTUAL "TAMPILAN EES"

```

Equations Window
"Diketahui"
P_1=1.8[bar]
P_2=15.5[bar]
T_1=111.1[C]
m_dot=0.0123[kg/s]

"Persamaan-persamaan"

"Kondisi 4-1"
h_1=ENTHALPY(R22,X=1,P=P_1)
s_1=ENTROPY(R22,X=1,P=P_1)
T_4=TEMPERATURE(R22,h=h_1,P=P_1)
"Kondisi 1-2"
s_2=ENTROPY(R22,T=T_1,P=P_2)
h_2=ENTHALPY(R22,T=T_1,P=P_2)

"Kondisi 2-3"
P_2=P_3
h_3=ENTHALPY(R22,X=0,P=P_2)
T_2=TEMPERATURE(R22,X=0,P=P_2)

"Kondisi 3-4"
h_3=h_4

Q_dot_l=m_dot*(h_1-h_4)
W_dot_in=m_dot*(h_2-h_1)
Q_dot_h=m_dot*(h_2-h_3)
COP_r=Q_dot_l/W_dot_in
    
```

### Solution

Main

Unit Settings: [kJ/kg]([bar]([C]([kg/s]))

COP <sub>r</sub> = 1.695	h <sub>1</sub> = 393.5 [kJ/kg]	h <sub>2</sub> = 478 [kJ/kg]	h <sub>3</sub> = 250.4 [kJ/kg]
h <sub>4</sub> = 250.4 [kJ/kg]	ṁ = 0.0123 [kg/s]	P <sub>1</sub> = 1.8 [bar]	P <sub>2</sub> = 15.5 [bar]
P <sub>3</sub> = 15.5 [bar]	Q̇ <sub>h</sub> = 2.8 [Watt]	Q̇ <sub>l</sub> = 1.761 [Watt]	s <sub>1</sub> = 1.796 [kJ/kg-K]
s <sub>2</sub> = 1.876 [kJ/kg-K]	T <sub>1</sub> = 111.1 [C]	T <sub>2</sub> = 40.42 [C]	T <sub>4</sub> = -27.76 [C]
Ẇ <sub>in</sub> = 1.039 [Watt]			

Enter the unit of the variable here. **Check Units**

Equation window

Navigation icons: back, forward, search, etc.

**TABEL HASIL PERHITUNGAN SIKLUS AKTUAL  
"TAMPILAN EES"**

Parametric Table

Table 1

Run	t [s]	P <sub>1</sub> [bar]	P <sub>2</sub> [bar]	T <sub>1</sub> [C]	$\dot{m}$ [kg/s]	T <sub>2</sub> [C]
Run 1	35	1.8	15.5	111.1	0.0123	40.42
Run 2	40	1.8	15.8	112.2	0.0123	41.21
Run 3	45	1.8	16.2	114.6	0.0123	42.25
Run 4	50	1.8	16.5	111.7	0.0123	43.01
Run 5	55	1.8	16.5	110.7	0.0123	43.01
Run 6	60	1.8	16.9	112.1	0.0123	44.02
Run 7	65	1.8	16.9	113.1	0.0123	44.02
Run 8	70	1.86	17.2	113.5	0.0123	44.76
Run 9	75	1.86	17.2	114.5	0.0123	44.76

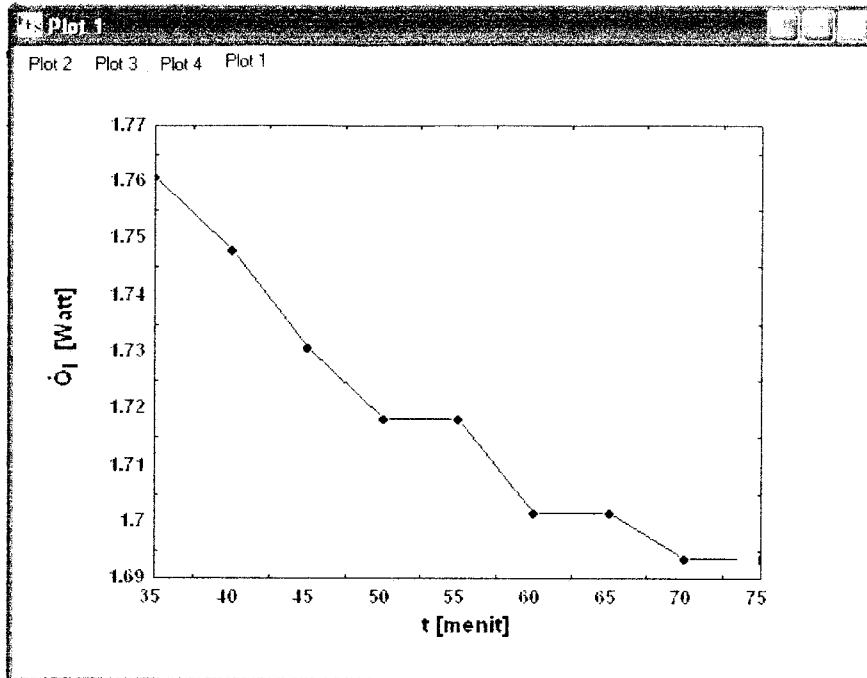
Parametric Table

Table 1

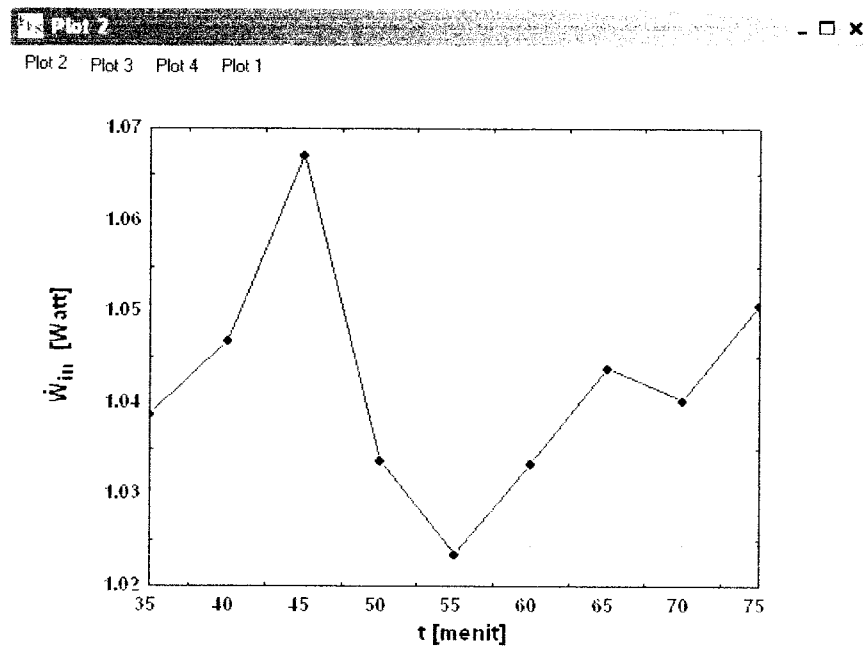
Run	T <sub>2</sub> [C]	T <sub>4</sub> [C]	$\dot{Q}_l$ [Watt]	$\dot{Q}_h$ [Watt]	$\dot{W}_{in}$ [Watt]	COP <sub>r</sub>
Run 1	40.42	-27.76	1.761	2.8	1.039	1.695
Run 2	41.21	-27.76	1.748	2.795	1.047	1.67
Run 3	42.25	-27.76	1.731	2.798	1.067	1.622
Run 4	43.01	-27.76	1.718	2.752	1.034	1.662
Run 5	43.01	-27.76	1.718	2.742	1.023	1.679
Run 6	44.02	-27.76	1.701	2.735	1.033	1.646
Run 7	44.02	-27.76	1.701	2.745	1.044	1.63
Run 8	44.76	-26.96	1.693	2.734	1.04	1.628
Run 9	44.76	-26.96	1.693	2.744	1.051	1.612

## GRAFIK HASIL PERHITUNGAN SIKLUS AKTUAL "TAMPILAN EES"

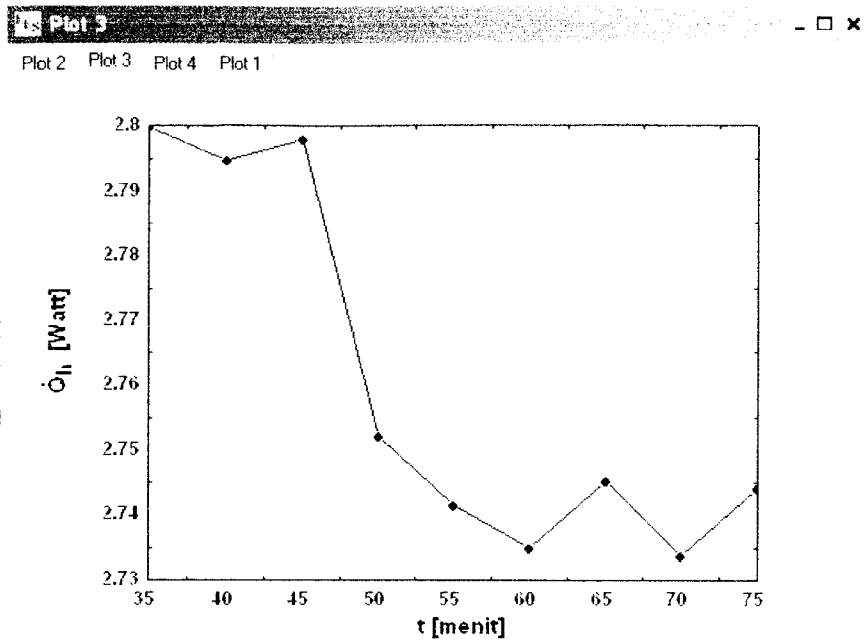
Grafik Hubungan  $\dot{Q}_1$  dengan waktu (t)



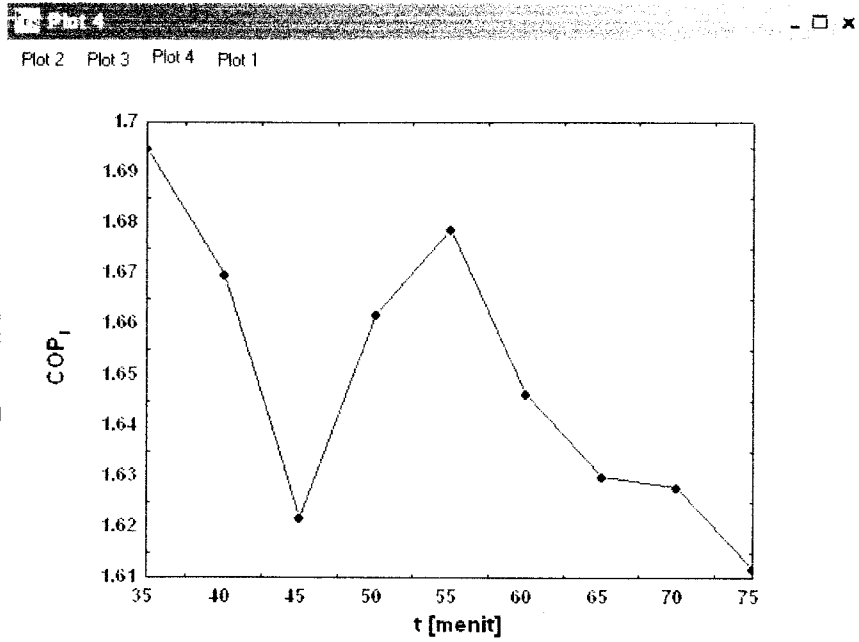
Grafik Hubungan  $\dot{W}_{in}$  dengan waktu (t)

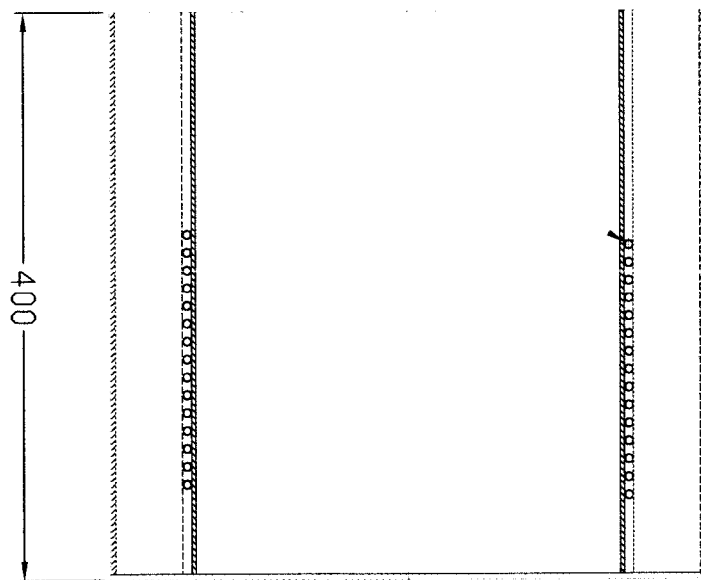


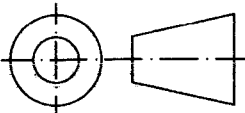
### Grafik Hubungan $\dot{Q}_h$ dengan waktu (t)

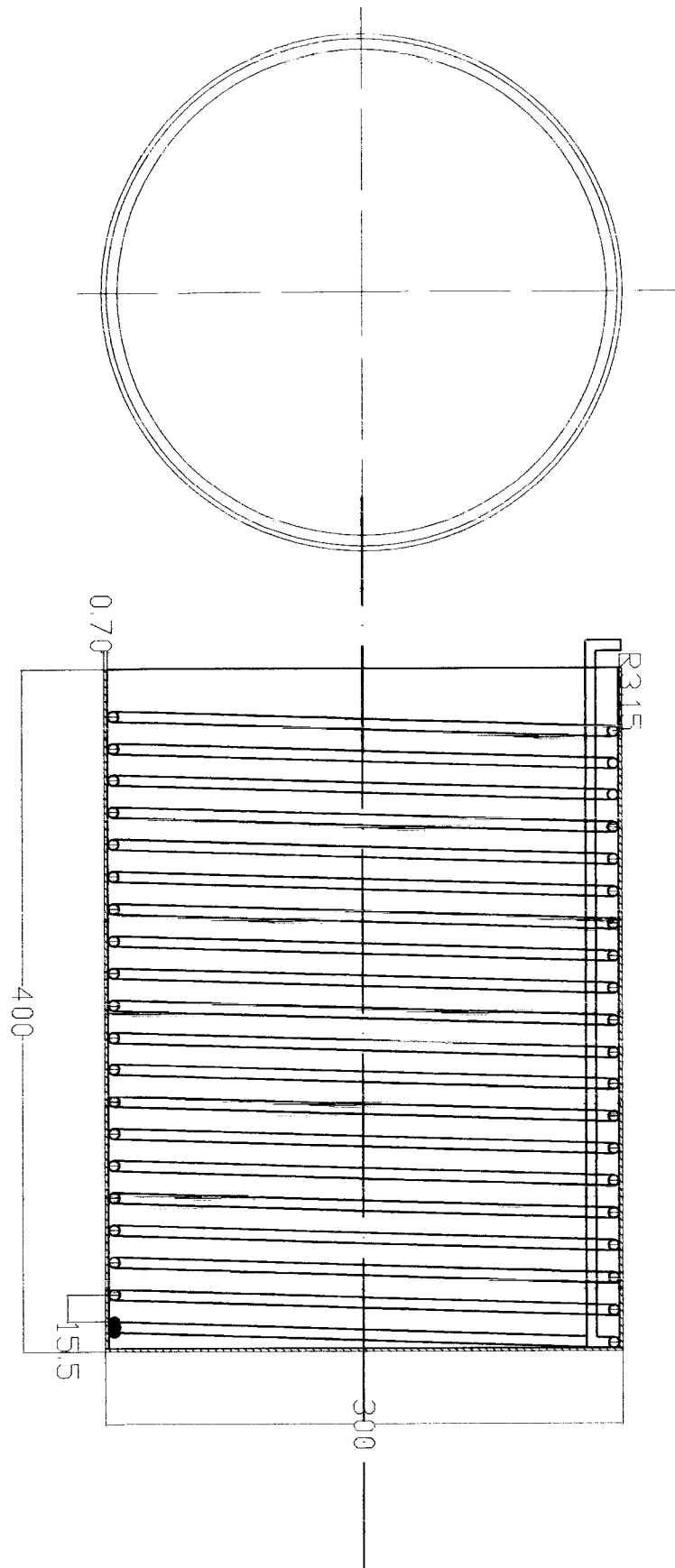


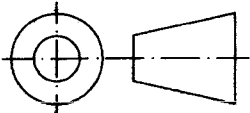
### Grafik Hubungan $COP_r$ dengan waktu (t)

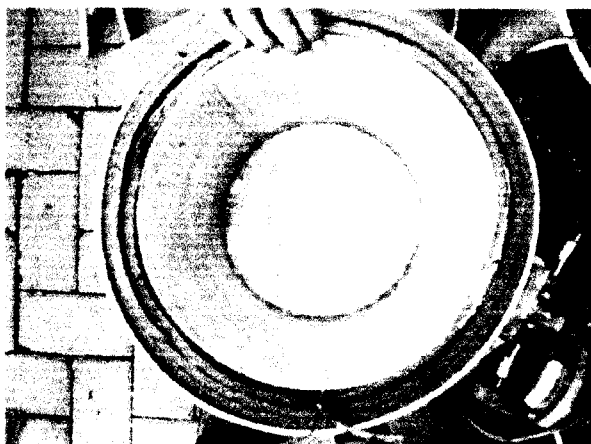




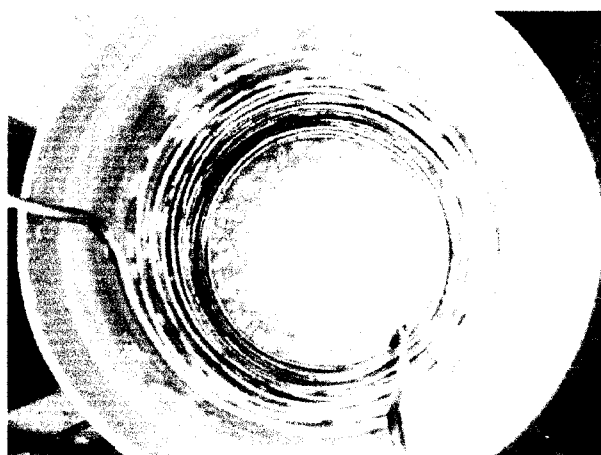
	SKALA : 1 : 5	DIGAMBAR : JAKA WIDADA	<b>SKRIPSI</b>	
	SATUAN : Milimeter	JURUSAN : TEKNIK MESIN		
	TANGGAL : 19-6-2007	DISETUJUI : IR. H HUDAYA, MM		
<b>Universitas Islam Indonesia</b>	<b>TABUNG EVAPORATOR</b>		2007	<b>A<sub>4</sub></b>



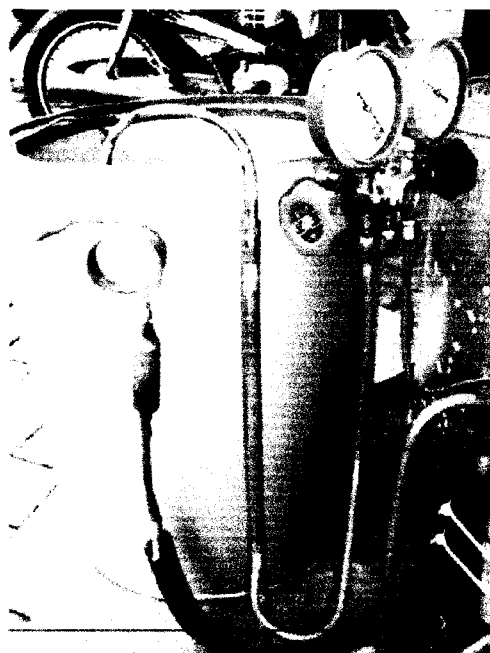
	SKALA : 1 : 4	DIGAMBAR : JAKA WIDADA	<h1>SKRIPSI</h1>	
	SATUAN : Milimeter	JURUSAN : TEKNIK MESIN		
	TANGGAL : 19-6-2007	DISETUJUI : IR. H HUDAYA, MM		
<b>Universitas Islam Indonesia</b>	<b>TABUNG KONDENSER</b>		2007	<b>A<sub>4</sub></b>



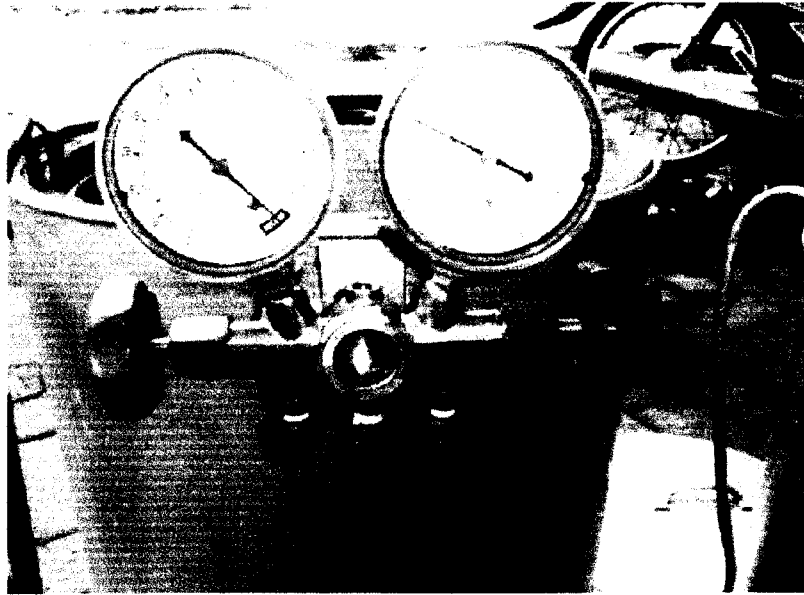
**GAMBAR TABUNG EVAPORATOR**



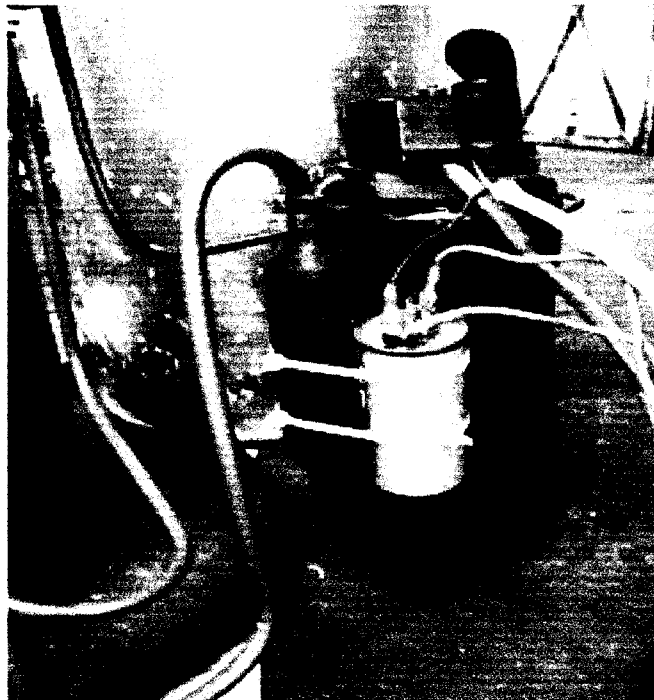
**GAMBAR TABUNG KONDENSER**



**GAMBAR PIPA KAPILER**



**GAMBAR ALAT PENGUKUR TEKANAN**



**GAMBAR KOMPRESOR**