

TUGAS SARJANA
KONVERSI ENERGI
PERANCANGAN SISTEM PENDINGIN PADA MESIN
PEMBUAT KUBUS ES BERUKURAN KECIL

*Diajukan Sebagai Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (S.T)
Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun oleh :

TRI REFI RINALDO

1307230006



PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2017

LEMBAR PENGESAHAN - II

TUGAS SARJANA

KONVERSI ENERGI

PERANCANGAN SISTEM PENDINGIN PADA MESIN
PEMBUAT KUBUS ES BERUKURAN KECIL

Disusun Oleh :

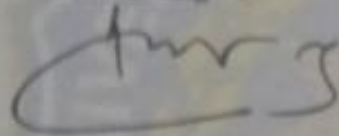
TRI REFIRINALDO

1307230006

Telah diperiksa dan diperbaiki
Pada seminar tanggal 25 September 2017.

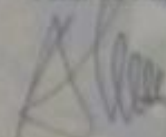
Disetujui Oleh :

Pembanding - I



(Munawar A siregar, S.T., M.T)

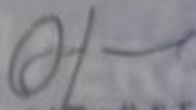
Pembanding - II



(Sudirman Lubis, S.T., M.T.)

Diketahui Oleh :

Ka. Program Studi Teknik Mesin



(Affandi, S.T.)

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2017

LEMBAR PENGESAHAN - I

TUGAS SARJANA

KONVERSI ENERGI

PERANCANGAN SISTEM PENDINGIN PADA MESIN
PEMBUAT KUBUS ES BERUKURAN KECIL

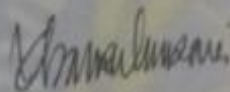
Diusun Oleh :

TRI REFIRINALDO

1307230006

Disetujui Oleh :

Pembimbing - I



(Khairul Umurani, S.T., M.T)

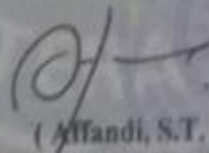
Pembimbing - II



(H. Muharnif M, S.T.,M.Sc)

Diketahui Oleh :

Ka. Program Studi Teknik Mesin



(Affandi, S.T.)

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2017



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

Pusat Administrasi: Jalan Kapten Mukhtar Basri No.3 Telp. (061) 6611223 - 6624067 -
6622400 - 6610450 - 6619056 Fax. (061) 6625474 Medan 20238
Website : <http://www.umsu.ac.id>

DAFTAR SPESIFIKASI
TUGAS SARJANA

Nama Mahasiswa : TRI REFI RINALDO
NPM : 1307230006
Semester : IX (Sembilan)
SPESIPIKASI : PERANCANGAN SISTEM PENDINGIN PADA MESIN
PEMBUAT KUBUS ES BERUKURAN KECIL.

Diberikan Tanggal : 25 Januari 2017
Selesai Tanggal : 15 September 2017
Asistensi : 1 Minggu Sekali
Tempat Asistensi : Kampus UMSU

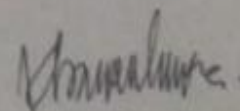
Medan, 21 Oktober 2017

Diketahui oleh :

Ka. Program Studi Teknik Mesin


(Afandi, S.T)

Dosen Pembimbing - I



(Khairul Umurani, S.T., M.T)



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

Pusat Administrasi: Jalan Kapten Muhtar Razi No 1 Telp. (061) 8611251 - 8624567 -
8622402 - 8619492 - 8617006 Fax. (061) 8625474 Medan 20228
Website: <http://www.umstu.ac.id>

DAFTAR HADIR ASISTENSI
TUGAS SARJANA

NAMA : Tri Refi Rinaldo PEMBIMBING - I : Khairul Umurani, S.T., M.T.
NPM : 1307230006 PEMBIMBING - II : H. Muhanif M.S.T., M.Sc

NO	Hari / Tanggal	Uraian	Paraf
1	25 Januari 2017	Penyediaan spesifikasi tugas	k.
3	4 April 2017	Perbaikan - penyediaan data kelahir - Rumus material - Tujuan penelitian	k.
4	10 Agustus 2017	Perbaikan Tujuan proyek	k.
6	29 Agustus 2017	Perbaikan persamaan & yg diperlukan	k.
7	6 September 2017	Perbaikan metode penelitian - ...	k.
8	11 September 2017	lanjutan ke perbaikin //	k.
	12 September 2017	Perbaiki Jawaban Pujian	k.
	13 September 2017	Perbaiki hasil dan perbaikan	k.
	14 September 2017	Perbaiki Program P-h Ace, Simulasi	k.

DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

NAMA : Tri Rafi Rinaldi
NPM : 1307230006
Judul T. Akhir : Perancangan Sistem Pendingin Pada Mesin Pompa Kanvas 1/2
Berukuran Kecil

Dosen Pembimbing - I : Khairul Umurani.S.T.M.T
Dosen Pembimbing - II : H.Muharnif.S.T.M.Sc
Dosen Pemanding - I : Munawar A Siregar.S.T.M.T
Dosen Pemanding - II : Sudirman Lubis.S.T.M.T

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

perbaikan gambar, lembar kerja, dan laporan

3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

Medan 04 Muharram 1439H
25 September 2017 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T. Mesin

[Signature]
Affandi S.T

Dosen Pemanding- II

[Signature]
Sudirman Lubis.S.T.M.T

DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURABAYA

NAMA : Sri Rati Kusuma
NPM : 1307230006
Jadwal T. Akhir : Penanganan Sistem Pendingin Pada Mesin Pendingin Kalori 15
Desain dan Kalor

Dosen Pembimbing - I : Khairul Umamawati S.T.M.T
Dosen Pembimbing - II : H. Mubandil S.T.M.T
Dosen Pembimbing - I : Muzawar A. Singgar S.T.M.T
Dosen Pembimbing - II : Sudirman Laha S.T.M.T

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang jurusan (colloquium)
2. Dapat mengikuti sidang jurusan (colloquium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

1. Batasan suhu ruangan pendingin
2. tambahkan nilai kelembapan (perhumidifikasi)
3. menyusun lembar data kompresor dari data volume
4. kelas & jenis oil berdasarkan kompresor volume

3. Harus mengikuti seminar tambahan

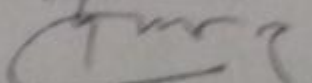
Pertukaran :

Medan 04 Muharram 1439H
25 September 2017 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T. Mesin

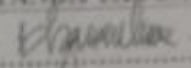
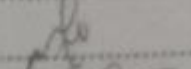
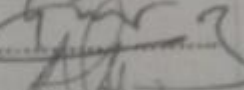
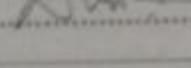

Andi S.T.

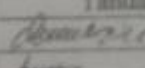









Dosen Pembimbing - I


Muzawar A. Singgar S.T.M.T

DAFTAR HADIR SEMINAR
TUGAS AKHIR TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK - UMSU
TAHUN AKADEMIK 2017 - 2018

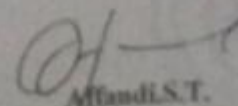
Peserta Seminar
Nama : Tri Refi Rinaldo
NPM : 1307230006
Judul Tugas Akhir : Perancangan Sistem Pendingin Pada Mesin Pembuat Kue Bus Es Berukuran Kecil.

DAFTAR HADIR	TANDA TANGAN
Pembimbing - I : Khairul Umurani.S.T.MT	: 
Pembimbing - II : ILMuharnif.S.T.M.Sc	: 
Pemanding - I : Munawar A Siregar.S.T.M.T	: 
Pemanding - II : Sudirman Lubis.S.T.M.T	: 

No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	1307230026	Wahyuni (Saman)	
2	1307230021	M. Taufiq	
3	1307230013	AHMAD ROZAN WIS	
4	1307230026	Reza Levi Garsi	
5	1307230029	Hidayat Tri Sidi	
6	13072300247	BABUS ANDIKA	
7	13072300244	ASRI KATIMAU	
8	1307230025	RIZKI ARIYAL PRATAMA	
9	1307230047	Abdul Rahman Masriani	
10	1307230022	Erman Lubis	

Medan, 05 Muharram 1439 H
25 September 2017 M

Ketua Prodi. T Mesin


Affandi S.T.

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS SARJANA

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Tri Refi Rinaldo
Tempat/Tgl Lahir : Teluk Nayang, 07 Juni 1995
NPM : 1307230006
Bidang Keahlian : Konversi Energi
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
(UMSU)

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan tugas sarjana (skripsi) saya ini yang berjudul :

PERANCANGAN SISTEM PENDINGIN PADA MESIN PEMBUAT KUBUS ES BERUKURAN KECIL.

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material maupun non material, ataupun segala kemungkinan yang lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis tugas akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidak sesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh tim Fakultas yang dibentuk untuk verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 21 OKTOBER 2017

Saya yang menyatakan,



TRI REFI RINALDO

ABSTRAK

Refrigerasi adalah suatu sistem yang memungkinkan untuk mengatur temperatur sampai mencapai suhu di bawah temperatur lingkungan. Penggunaan refrigerasi sangat dikenal pada sistem pendingin udara pada bangunan, transportasi, dan pengawetan suatu bahan makanan dan minuman, Refrigerasi dicapai dengan melakukan penyerapan panas pada temperatur rendah secara terus menerus, yang biasanya bisa dicapai dengan menguapkan suatu cairan secara kontinu. Uap yang terbentuk dapat kembali ke bentuk asalnya kembali, cairan, biasanya dengan dua cara. yang paling umum, uap itu hanya akan ditekan lalu diembunkan. Cara lain, bisa diserap dengan cairan lain yang mudah menguap yang setelah itu diuapkan pada tekanan tinggi. Pada penelitian ini Freon yang digunakan adalah R404a dengan daya kompresor $\frac{1}{2}$ pk atau 367,749 watt. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan nilai COP dan perbandingan antara posisi cetakan mana yang paling baik digunakan dengan posisi vertical (air mengalir) atau Horizontal (air diam).

Kata Kunci : *Perancangan Sistem Pendingin Pada Mesin Kubus Es*

KATA PENGANTAR



Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Sarjana ini dengan lancar. Tugas sarjana ini merupakan tugas akhir bagi mahasiswa Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dalam menyelesaikan studinya.

Untuk memenuhi syarat tersebut penulis dengan bimbingan daripada dosen pembimbing merencanakan sebuah

“Perancangan Sistem Pendingin Pada Mesin Pembuat Kubus Es Berukuran Kecil”

Dalam menyelesaikan tugas ini penulis banyak mengalami hambatan dan rintangan yang disebabkan minimnya pengetahuan dan pengalaman penulis, namun berkat petunjuk Allah SWT yang terus-menerus hadir dan atas kerja keras penulis, dan atas banyaknya bimbingan dari pada dosen pembimbing, serta bantuan moril maupun materil dari berbagai pihak akhirnya penulis dapat menyelesaikan tugas sarjana.

Untuk itu penulis pada kesempatan ini menyampaikan ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orang tua tercinta penulis yaitu Ayahanda Biono dan Ibunda Dimah telah membesarkan, mengasuh, mendidik, serta senantiasa memberikan kasih sayang, do'a yang tulus, dan dukungan moril maupun material sehingga penulis dapat menyelesaikan studi di Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Bapak Khairul Umurani, S.T.,M.T. selaku Dosen Pembimbing I
3. Bapak H. Muharnif M, S.T.,M.Sc selaku Dosen Pembimbing II
4. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T.,M.T. selaku Dosen Pembimbing I
5. Bapak Sudirman Lubis, S.T.,M.T selaku Dosen Pembimbing II
6. Bapak Rahmatullah, S.T., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T. selaku Wakil Dekan I Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Bapak Khairul Umurani, S.T., M.T. selaku Wakil Dekan III Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Bapak Affandi, S.T. selaku Ketua Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
10. Bapak Chandra A Siregar, S.T. selaku Sekretaris Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
11. Keluarga besar Lab Teknik Mesin UMSU yang telah memberikan dukungan, semangat dan do'a yang tulus baik secara moril maupun materil kepada penulis.

12. Seluruh teman-teman seperjuangan stambuk 2013 yang telah banyak memberikan bantuan, motivasi dan do'a yang tulus kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa tugas ini masih jauh dari sempurna dan tidak luput dari kekurangan, karena itu dengan senang hati dan penuh lapang dada penulis menerima segala bentuk kritik dan saran dari pembaca yang sifatnya membangun demi kesempurnaan penulisan tugas sarjana ini.

Akhir kata penulis mengharapkan semoga tugas sarjana ini dapat bermanfaat bagi kita semua dan semoga Allah SWT selalu merendahkan hati atas segala pengetahuan yang kita miliki. Amin Ya Rabbal Alamin.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Medan,Oktober 2017

Penulis

TRI REFI RINALDO
1307230006

DAFTAR ISI

LEMBAR PRNGESAHAN I	
LEMBAR PENGEAHAN II	
LEMBAR SPESIFIKASI TUGAS SARJANA	
ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR NOTASI	x
BAB 1. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	3
1.4.1 Tujuan Umum	3
1.4.2 Tujuan Khusus	4
1.5 Manfaat	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Definisi Mesin Pendingin	5
2.2 Jenis-Jenis Mesin Pendingin	6
2.3 Bagian-Bagian Utama Mesin Pendingin	7
2.4 Cara Kerja Mesin Pendingin	13
2.5 Beban Pendingin	15
2.6 Refrigerant	16
2.7 Istilah-Istilah Mesin Pendingin	19
2.8 Rumus Perhitungan	21
2.9 Siklus Refrigerasi dalam Diagram p-h	22
BAB 3. METODE PERANCANGAN	
3.1 Tempat dan Waktu	25
3.2 Diagram Alir	26
3.3 Peralatan Pengujian	27
3.4. Prosedur Pengujian Alat	35
3.5 Metode Pengukuran	35
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Menghitung Volume Kubus	36
4.2 Pengolahan Data Percobaan Pertama (air mengalir)	37
4.3 Hasil Penelitian	59
4.4 Perhitungan	60
4.5 Pembahasan	61
4.6 Pengolahan Data Percobaan Kedua (air diam)	64
4.7 Hasil Penelitian	85
4.8 Perhitungan	86
4.9 Pembahasan	88
4.10 Pemilihan Konsep	91

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

92

5.2 Saran

93

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

No.	Nama Gambar	Halaman
2.1	skema mesin pendingin	5
2.2	Refrigerator	6
2.3	kompresor	8
2.4	Kondensor	9
2.5	Katup Ekspansi	10
2.6	Evaporator	10
2.7	Pipa Kapiler	11
2.8	Fan Motor	11
2.9	Filter	12
2.10	Thermostat	13
2.11	Siklus system pendingin kompresi uap	13
2.12	Siklus Sistem Pendingin Absorbsi	14
2.13	Diagram Ph	27
3.1	diagram alir proses pembuatan mesin es kubus	26
3.2	Kompresor	27
3.3	Pipa Kapiler	28
3.4	kondensor	30
3.5	filter	31
3.6	Evaporator	32
3.7	Fan Motor	32
3.8	Refrigeran	33
3.9	Thermostat	34
4.1	cetakan es (pandangan atas)	36
4.2	cetakan es (pandangan samping)	36
4.3	cetakan vertical	38
4.4	diagram ph T evaporator $9,8^{\circ}\text{C}$ dan kondensor $30,8^{\circ}\text{C}$	40
4.5	cetakan vertical	41
4.6	diagram ph T evaporator $9,3^{\circ}\text{C}$ dan kondensor $30,4^{\circ}\text{C}$	44
4.7	cetakan vertical	45
4.8	diagram ph T evaporator $8,8^{\circ}\text{C}$ dan kondensor $29,2^{\circ}\text{C}$	47
4.9	cetakan vertical	48
4.10	diagram ph T evaporator $8,6^{\circ}\text{C}$ dan kondensor $29,6^{\circ}\text{C}$	51
4.11	cetakan vertical	52
4.12	diagram ph T evaporator $6,6^{\circ}\text{C}$ dan kondensor $30,2^{\circ}\text{C}$	54
4.13	cetakan vertical	55
4.14	diagram ph T evaporator $3,7^{\circ}\text{C}$ dan kondensor $33,6^{\circ}\text{C}$	58
4.15	cetakan horizontal	65
4.16	diagram ph T evaporator $-0,9^{\circ}\text{C}$ dan kondensor $34,9^{\circ}\text{C}$	67

4.17	cetakan horizontal	68
4.18	diagram ph T evaporator $-1,1^{\circ}\text{C}$ dan kondensor $36,2^{\circ}\text{C}$	71
4.19	cetakan horizontal	72
4.20	diagram ph T evaporator $-2,9^{\circ}\text{C}$ dan kondensor $37,2^{\circ}\text{C}$	74
4.21	cetakan horizontal	75
4.22	diagram ph T evaporator $-5,3^{\circ}\text{C}$ dan kondensor 38°C	78
4.23	cetakan horizontal	79
4.24	diagram ph T evaporator $-9,8^{\circ}\text{C}$ dan kondensor $35,3^{\circ}\text{C}$	81
4.25	cetakan horizontal	82
4.26	diagram ph T evaporator -10°C dan kondensor $37,3^{\circ}\text{C}$	84
4.27	hasil dari posisi cetakan vertical	91
4.28	hasil dari posisi cetakan horizontal	91

DAFTAR TABEL

No.	Nama Tabel	Halaman
3.1	Jadwal proses kegiatan pembuatan mesin kubus es	25
4.1	Percobaan dengan cetakan vertikal (air mengalir)	37
4.2	tabel saturasi R404A	38
4.3	superheated R404A	38
4.4	Volume spesifik fluida (Vf)	39
4.5	hasil dari interpolasi T evaporator $9,8^{\circ}\text{C}$ dan kondensor $30,8^{\circ}\text{C}$	41
4.6	tabel saturasi R404A	42
4.7	superheated R404A	42
4.8	Volume spesifik fluida (Vf)	42
4.9	hasil dari interpolasi T evaporator $9,3^{\circ}\text{C}$ dan kondensor $30,4^{\circ}\text{C}$	44
4.10	tabel saturasi R404A	45
4.11	superheated R404A	45
4.12	Volume spesifik fluida (Vf)	46
4.13	hasil dari interpolasi T evaporator $8,8^{\circ}\text{C}$ dan kondensor $29,2^{\circ}\text{C}$	48
4.14	tabel saturasi R404A	49
4.15	superheated R404A	49
4.16	Volume spesifik fluida (Vf)	49
4.17	hasil dari interpolasi T evaporator $8,6^{\circ}\text{C}$ dan kondensor $29,6^{\circ}\text{C}$	51
4.18	tabel saturasi R404A	52
4.19	superheated R404A	52
4.20	Volume spesifik fluida (Vf)	53
4.21	hasil dari interpolasi T evaporator $6,6^{\circ}\text{C}$ dan kondensor $30,2^{\circ}\text{C}$	55
4.22	tabel saturasi R404A	56
4.23	superheated R404A	56
4.24	Volume spesifik fluida (Vf)	56
4.25	hasil dari interpolasi T evaporator $3,7^{\circ}\text{C}$ dan kondensor $33,6^{\circ}\text{C}$	58
4.26	Tekanan masuk (P1) dan keluar kompresor (P2)	59
4.27	temperature masuk (T1) dan keluar kompresor (T2)	59
4.28	temperature masuk (T2) dan keluar kondensor (T3)	59
4.29	Nilai enthalpy	60
4.30	Energi yang diserap evaporator	60
4.31	kerja kompresor	60
4.32	kerja kondensor	61
4.33	COP	61
4.34	Percobaan dengan cetakan horizontal (air diam)	64
4.35	tabel saturasi R404A	65
4.36	superheated R404A	65
4.37	Volume spesifik fluida (Vf)	66
4.38	hasil dari interpolasi T evaporator $-0,9^{\circ}\text{C}$ dan kondensor $34,9^{\circ}\text{C}$	68
4.39	tabel saturasi R404A	69
4.40	superheated R404A	69
4.41	Volume spesifik fluida (Vf)	69
4.42	hasil dari interpolasi T evaporator $-1,1^{\circ}\text{C}$ dan kondensor $36,2^{\circ}\text{C}$	71
4.43	tabel saturasi R404A	72
4.44	superheated R404A	72

4.45	Volume spesifik fluida (Vf)	73
4.46	hasil dari interpolasi T evaporator $-2,9^{\circ}\text{C}$ dan kondensor $37,2^{\circ}\text{C}$	75
4.47	tabel saturasi R404A	76
4.48	superheated R404A	76
4.49	Volume spesifik fluida (Vf)	76
4.50	hasil dari interpolasi T evaporator $-5,3^{\circ}\text{C}$ dan kondensor 38°C	78
4.51	tabel saturasi R404A	79
4.52	superheated R404A	80
4.53	Volume spesifik fluida (Vf)	80
4.54	hasil dari interpolasi T evaporator $-9,8^{\circ}\text{C}$ dan kondensor $35,3^{\circ}\text{C}$	82
4.55	tabel saturasi R404A	82
4.56	superheated R404A	83
4.57	Volume spesifik fluida (Vf)	83
4.58	hasil dari interpolasi T evaporator -10°C dan kondensor $37,3^{\circ}\text{C}$	85
4.59	Tekanan masuk (P1) dan keluar kompresor (P2)	85
4.60	temperature masuk (T1) dan keluar kompresor (T2)	85
4.61	temperature masuk (T2) dan keluar kondensor (T3)	86
4.62	Nilai enthalpy	86
4.63	.Energi yang diserap evaporator	86
4.64	kerja kompresor	87
4.65	kerja kondensor	87
4.66	COP	87

DAFTAR NOTASI

No.	Simbol	Besaran	Satuan
1	h	Enthalpy	kJ/kg
2	T	Temperatur	$^{\circ}\text{C}$
3	t	Waktu	Menit
4	P	Tekanan	Mpa
5	Win	Kerja kompresor	kJ/kg
6	Qin	Energy yang diserap evaporator	kJ/kg
7	Qout	Kerja kodensor	kJ/kg
8	V	Volume air	m^3
9	ρ	Massa jenis air	kg/m^3
10	s	Entropy	kJ/(kg.K)
11	vf	Volume spesifik fluida	m^3/kg
12	vg	Volume spesifik gas	m^3/kg
13	hf	Enthalpy fluida	kJ/kg
14	hg	Enthalpy gas	kJ/kg
15	sf	Entropy fluida	kJ/kg
16	sg	Entropy gas	kJ/kg

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Mesin pendingin pada saat ini semakin banyak dimanfaatkan sesuai dengan kemajuan teknologi dan meningkatnya taraf hidup. Kehidupan manusia selalu berusaha memperbaiki keadaan sekitarnya agar dapat menyesuaikan untuk kemudahan dan kenyamanan hidupnya. Dengan akal pikirannya, manusia dapat mengembangkan ilmu pengetahuan dan teknologi, sehingga dapat menemukan peralatan-peralatan yang dapat digunakan untuk memudahkan dan membuat nyaman kehidupannya.

Sistem refrigerasi atau pendingin sudah dikenal manusia sejak zaman kuno yaitu dengan menggunakan gumpalan es pada musim dingin, disimpan pada tempat tertentu dan digunakan pada musim panas. Penemuan siklus refrigerasi dan perkembangan mesin refrigerasi menitis jalan bagi pembuatan mesin penyegaran udara yang diawali dengan ditemukannya mikroba yang tidak dapat hidup pada temperatur 260°C atau kurang dari 260°C .

Dengan pengetahuan tersebut maka pada tahun 1834 dibuat mesin pembuat es pertama kali yang digunakan untuk pabrik pengalengan daging agar dapat menjaga makanan tetap segar dan awet. Dengan demikian siklus refrigerasi terus mengalami perkembangan, apalagi setelah diketemukannya cara untuk mencairkan gas amoniak yang dapat digunakan sebagai refrigeran. Amoniak merupakan refrigeran yang paling populer saat itu, sebelum diketemukannya *freon* sebagai pengganti amoniak untuk bahan refrigeran.

Instalasi pendingin pertama kali dibuat untuk sebuah percetakan di Amerika yang diberi nama mesin pencuci udara (*air washer*), yaitu suatu sistem pendinginan yang menggunakan percikan air untuk mendinginkan dan menjenuhkan udara sampai mencapai titik embunnya. Namun setelah itu penggunaan mesin pencuci udara diperluas untuk memenuhi kebutuhan akan kenyamanan dan kesegaran udara dihotel, gedung pertemuan, gedung bioskop, rumah dan sebagainya.

Secara umum mesin pendingin mempunyai prinsip kerja yaitu dengan cara *refrigerant* yang berada di dalam kompresor dinaikkan tekanannya sampai menjadi gas. Kemudian zat *refrigerant* itu dialirkan ke dalam kondensor untuk diubah menjadi cair untuk selanjutnya dialirkan ke dalam katup ekspansi. Setelah melewati katup ekspansi kemudian zat *refrigerant* diekspansikan ke dalam evaporator dalam keadaan gas untuk mengambil panas dari lingkungan untuk selanjutnya diteruskan ke kompresor demikian seterusnya.

Beban pendingin ini secara langsung akan berdampak pada kinerja mesin pendingin oleh karena terkait dengan perubahan kondisi khususnya temperatur refrigeran pada setiap titik di dalam suatu sistem mesin pendingin.

Perancangan ini bertujuan untuk mengetahui efek beban pendingin terhadap kinerja sistem mesin pendingin, meliputi kapasitas refrigerasi, daya kompresi, koefisien prestasi (COP) dan waktu pendinginan dalam suatu ruang pendingin. Sehingga diharapkan penggunaan mesin pendingin dapat lebih efektif dan efisien.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam perancangan sistem pendingin pada mesin pembuat kubus es berukuran kecil yaitu :

1. Bagaimana hasil dari perbandingan cetakan vertikal (air mengalir) dan cetakan horizontal (air diam) dengan menggunakan Refrigerant R404A pada mesin pembuat kubus es berukuran kecil ?
2. Bagaimana proses kerja pada mesin pembuat kubus es berukuran kecil ?

1.3 Batasan Masalah

Karena luasnya permasalahan pada mesin pembuat kubus es berukuran kecil, penulis merasa perlu untuk membatasi masalah yang akan dibahas dalam laporan ini, mengingat keterbatasan waktu, tempat, kemampuan dan pengalaman. Adapun batasan masalah dalam perancangan sistem pendingin pada mesin pembuat kubus es berukuran kecil ini adalah sebagai berikut :

1. Refrigerant yang digunakan adalah R404A.
2. Media yang dibekukan adalah air, dengan cara posisi cetakan vertikal (air mengalir) dan posisi cetakan horizontal (air diam).
3. Mensimulasikan hasil dari analisa data dengan menggunakan software coolpack.

1.4 Tujuan

1.4.1 Tujuan umum dari analisa ini yaitu untuk dapat mengetahui kinerja sistem pendingin dengan kapasitas yang telah di tentukan.

1.4.2 tujuan khusus.

1. Untuk menghitung volume kubus es.
2. Untuk menghitung Energi yang diserap evaporator, Kerja Kompresor, kerja kondensor.
3. Untuk menghitung nilai dari COP.

1.5 Manfaat

Mesin ini mampu untuk membekukan air menjadi es lebih cepat, memproduksi es dengan biaya yang rendah. Ukuran dari mesin ini juga kecil sehingga dapat menghemat tempat.

1.6 Sistematika Penulisan

Agar penulisan tugas akhir ini dapat dilaksanakan dengan mudah dan sistematis, maka pada penulisan tugas akhir ini disusun tahapan-tahapan sebagai berikut :

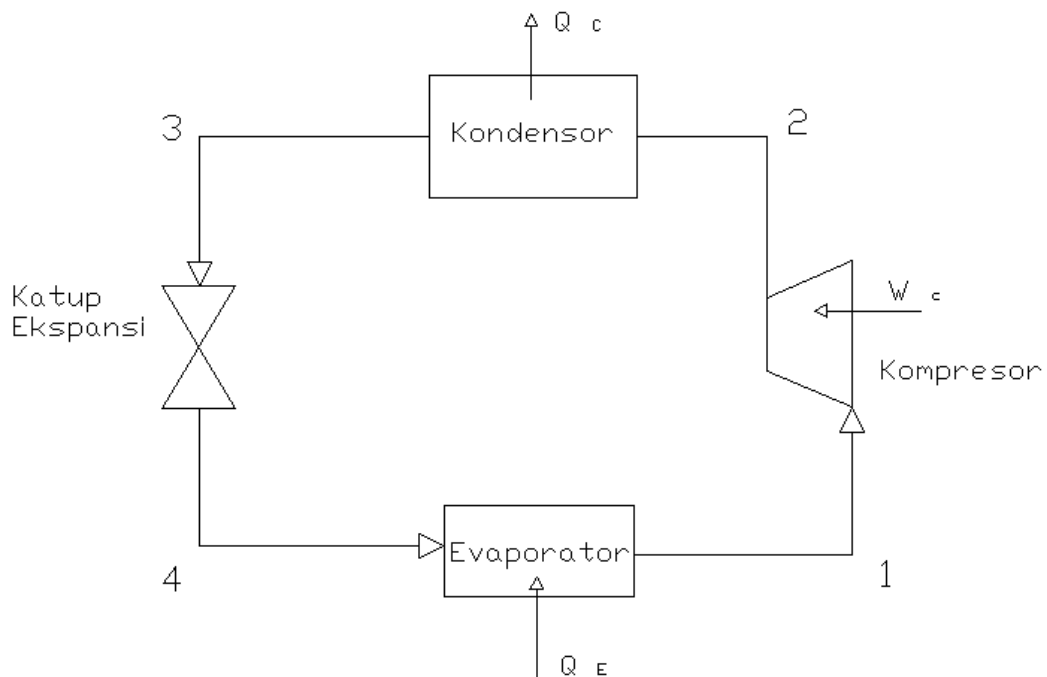
1. Pada BAB 1 menyampaikan tentang latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat, dan sistematika penulisan.
2. Pada BAB 2 landasan teori, isinya membahas tentang teori-teori yang berhubungan dengan perancangan ini, yang diperoleh dari berbagai referensi yang dijadikan landasan untuk melakukan perancangan ini.
3. Pada BAB 3 membahas tentang metode pembuatan, bahan dan peralatan.
4. Pada BAB 4 menganalisa dan mengevaluasi dari hasil rancangan berdasarkan efisiensi keluaran.
5. Pada BAB 5 berupa kesimpulan dan saran.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

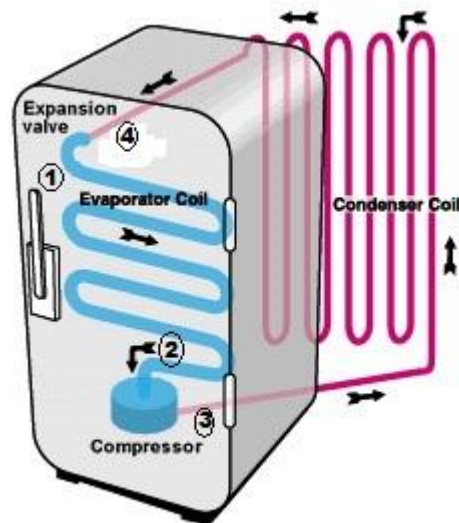
2.1 Definisi Mesin pendingin

Mesin pendingin merupakan salah satu mesin yang mempunyai fungsi utama untuk mendinginkan zat sehingga temperaturnya lebih rendah dari temperatur lingkungan. Komponen utama dari mesin pendingin yaitu kompresor, kondensor, alat ekspansi dan evaporator, serta refrigeran sebagai fluida kerja yang bersirkulasi pada bagian-bagian tersebut. Gambar 2.1 memperlihatkan skema sederhana dari mesin pendingin.



Gambar 2.1 skema mesin pendingin

2.2 Jenis-jenis Mesin Pendingin



Gambar 2.2 bagan alir refrigerant pada refrigerator

refrigeration adalah proses berpindahnya panas dari suatu benda ke benda yang lain. Karena adanya sistem perpindahan panas maka benda yang melepaskan panas akan menjadi dingin sementara benda yang menyerap panas temperaturnya akan naik.

Pada umumnya mesin pendingin yang dipergunakan saat ini baik di sektor perumahan maupun industri adalah mesin pendingin yang menerapkan metode mechanical refrigeration system atau sistem pendingin dengan tekanan uap, jenis pendingin ini mempunyai empat komponen penting yaitu compressor, evaporator, condenser dan expansion valve.

Pada poin 1 freon memiliki tekanan rendah bergerak menuju ke evaporator, dibagian inilah tempat dimana bahan yang akan didinginkan ditempatkan, freon akan menyerap panas dari bahan tersebut, penyerapan

panas dari bahan yang didinginkan akan menyebabkan freon berubah menjadi uap, dalam phase uap ini freon akan bergerak menuju bagian suction compressor.

Pada poin 2 freon yang bertekanan rendah akan di naikkan tekanannya oleh compressor sebagai akibatnya keluar dari compressor tekanan freon menjadi naik demikian pula dengan temperaturnya.

Pada poin 3 keluar dari compressor freon bertekanan tinggi, kemudian akan mengalir ke dalam condenser, dibagian ini panas akan dilepaskan ke atmosphere mengakibatkan freon kembali ke phase cair tetapi masih dalam tekanan tinggi.

Pada poin 4 freon cair yang bertekanan tinggi akan melewati sebuah alat yang dinamakan expansion valve atau dikenal juga dengan sebutan pipa kapiler, pada tahap ini tekanan freon akan berubah dari tekanan tinggi ke tekanan rendah secara mendadak menyebabkan temperatur juga akan menjadi turun secara drastis, penurunan temperatur pada freon setelah melewati expansion valve mengkondisikan freon untuk siap kembali menyerap panas.

2.3 Bagian – Bagian Utama Mesin Pendingin

1. Kompresor

Kompresor adalah alat yang digunakan untuk mengkompresikan *refrigerant* (zat pendingin) yang berbentuk uap ke dalam kondensor sehingga tekanannya naik dan mudah di embungkan.

A. Penghisap

Proses ini membuat cairan *refrigerant* dari *evaporator* di kondensasi dalam temperatur yang rendah ketika tekanan *refrigerant* di naikkan

B. Penekanan

Proses ini membuat gas *refrigerant* dapat ditekan sehingga membuat temperatur dan tekanannya tinggi lalu disalurkan ke kondensor, dan dikabutkan pada temperatur yang tinggi.

C. Pemompaan

Proses ini dapat dioperasikan secara kontinyu dengan mensirkulasikan *refrigerant* berdasarkan hisapan dan kompresi



Gambar 2.3 kompresor

2. Kondensor

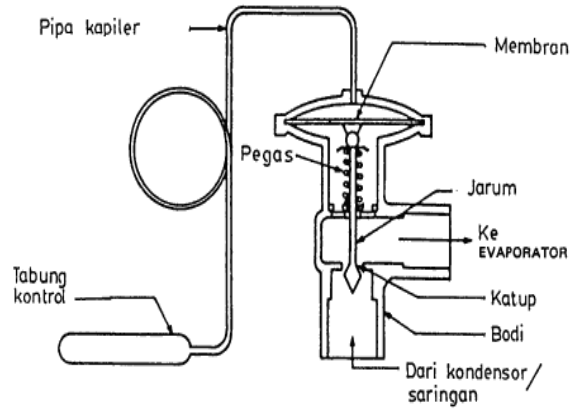
Kondensor berfungsi untuk mengubah *refrigerant* yang mempunyai fase atau wujud uap menjadi cair pada tekanan konstan (sebagai alat pengembun *refrigerant*). Kondensor terdiri dari gulungan dan sirip yang berfungsi mendinginkan *refrigerant* ketika udara tertiuap diantaranya, sejumlah kalor yang terdapat pada *refrigerant* dilepaskan ke udara bebas dengan bantuan kipas (fan motor). untuk *refrigerant* jenis R- 404a menggunakan kondensor jenis paralel *flow* untuk memperbaiki efek pendinginan udara.



Gambar 2.4 Kondensor

3. Katup Ekspansi

Katup ekspansi mempunyai fungsi untuk menguapkan cairan *refrigerant* agar mudah menguap jika mendapat panas, tekanan zat pendingin yang berbentuk cair dari kondensor, saringan harus diturunkan supaya zat pendingin menguap. Dengan demikian penyerapan panas dan perubahan bentuk zat pendingin dari cair menjadi gas akan berlangsung dengan sempurna sebelum keluar evaporator. Untuk itulah pada saluran masuk evaporator di pasang katup ekspansi, bekerjanya katup ekspansi diatur sedemikian rupa agar membuka dan menutup katup sesuai dengan temperatur evaporator atau tekanan di dalam sistem.



Gambar 2.5 Katup Ekspansi

4. Evaporator

Evaporator berfungsi menyerap panas dari benda yang di masukkan kedalam cetakan es. Kemudian evaporator menguapkan bahan pendingin untuk melawan panas dan mendinginkannya. Sesuai fungsinya evaporator adalah alat penguap bahan pendingin agar efektif dalam menyerap panas dan menguapkan bahan pendingin, evaporator di buat dari bahan logam anti karat, yaitu tembaga.



Gambar 2.6 Evaporator

5. Pipa Kapiler

Pipa kapiler berfungsi untuk menurunkan tekanan cairan bahan pendingin sebelum masuk ke evaporator, pipa kapiler dipasang setelah

komponen filter dyer (strainer), dengan dililitkan. Tujuan melilitkan pipa kapiler, yang panjang jadi pendek dan lebih simpel. Selain itu, agar terjadi perpindahan panas antara isi pipa kapiler berupa cairan bahan pendingin dan uap di dalam pipa yang menuju ke kompresor.



Gambar 2.7 Pipa Kapiler

6. Fan Motor Kondensor

Kipas angin ini diletakkan pada bagian samping kondensor yang berfungsi menghisap atau mendorong udara melalui kondensor dan kompresor. Selain itu fan motor berfungsi untuk mendinginkan kompresor.



Gambar 2.8 Fan Motor

7. Filter

Filter (saringan) berguna menyaring kotoran yang mungkin terbawa aliran bahan pendingin setelah melakukan sirkulasi. Sehingga

tidak masuk kedalam kompresor dan pipa kapiler. Selain itu, bahan pendinginan yang akan disalurkan pada proses berikutnya lebih bersih sehingga dapat menyerap kalor lebih maksimal.



Gambar 2.9 Filter

8. Thermostat

Thermostat berfungsi sebagai alat yang di pasang pada evaporator case dengan pipa kapilernya terpasang dan terbungkus rapat pada pipa saluran masuk evaporator. Thermostat dihubungkan ke magnetic clutch pada kompresor secara seri, thermostat akan melepaskan magnetic clutch ketika temperatur permukaan evaporator fin ada di bawah sekitar 1°C dan akan menghubungkan magnetic clutch dengan kompresor ketika temperatur nya telah mencapai $> 4^{\circ}\text{C}$.



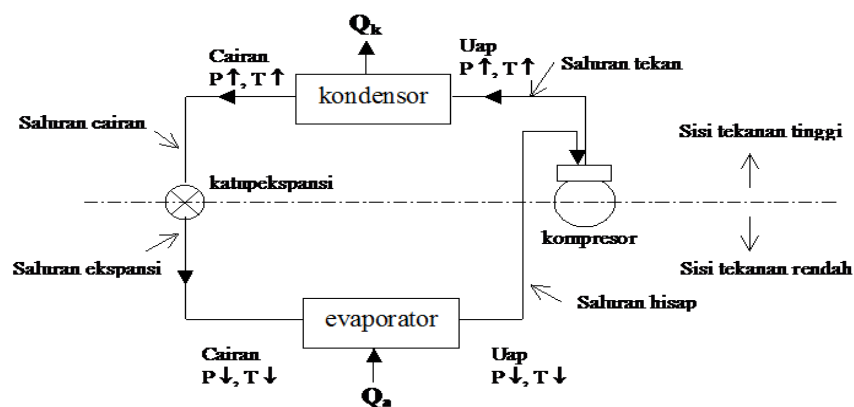
Gambar 2.10 Thermostat

2.4 Cara Kerja Mesin Pendingin

Menurut cara kerjanya, mesin pendingin dapat dibagi menjadi 2, yaitu :

1. Mesin pendingin kompresi uap

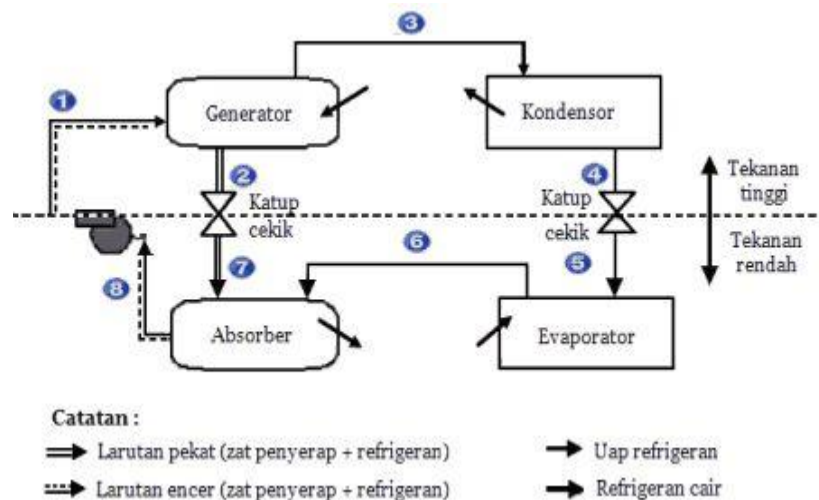
Mesin ini menggunakan kompresor untuk menaikkan tekanan uap zat pendingin dari evaporator kemudian mendorongnya ke dalam kondensator agar mudah diembunkan. Siklus pada mesin ini hampir menggunakan kebalikan dari siklus rankine, perbandingannya adalah siklus ini menggunakan klep yang menghasilkan penurunan tekanan secara *ISO enthalpy*.



Gambar 2.11 Siklus Sistem Pendingin Kompresi Uap

2. Mesin Pendingin Absorpsi

Mesin ini menggunakan zat penyerap, generator, dan . Kerja sistem zat pendingin yang bertekanan rendah dihisap oleh larutan cair dalam absorber, proses absorpsi dilakukan dengan adiabatik, temperatur larutan naik dan absorpsi uap akan berhenti. Untuk mengaitkan proses absorpsi, absorber didinginkan oleh udara atau air lalu melepas kalor ke udara bebas, lalu dipompakan ke tekanan tinggi. Didalam generator uap dikeluarkan dan larutan menyerap dengan menambahkan kalor, larutan cairan di kembalikan ke absorber melalui katup *thorthle* untuk menurunkan tekanan.



Gambar 2.12 Siklus Sistem Pendingin Absorpsi

2.5 Beban Pendinginan

Tujuan utama sistem pengkondisian udara adalah mempertahankan keadaan udara didalam ruangan dan meliputi pengaturan temperatur, kelembaban relatif, kecepatan sirkulasi udara maupun kualitas udara. Sistem pengkondisian

udara yang dipasang harus mempunyai kapasitas pendinginan yang tepat dan dapat dikendalikan sepanjang tahun. Kapasitas peralatan yang dapat diperhitungkan berdasarkan beban pendinginan setiap saat yang sebenarnya. Alat pengatur ditentukan berdasarkan kondisi yang diinginkan untuk mempertahankan selama beban puncak maupun sebagian. Beban puncak maupun sebagian tidak mungkin dapat diukur sehingga diperlukan prediksi melalui perhitungan yang mendekati keadaan yang sebenarnya. Beban pendinginan sebenarnya adalah jumlah panas yang dipindahkan oleh sistem pengkondisian udara setiap hari. Beban pendinginan terdiri atas panas yang berasal dari ruang dan tambahan panas. Tambahan panas adalah jumlah panas setiap saat yang masuk kedalam ruang melalui kaca secara radiasi maupun melalui dinding akibat perbedaan temperatur. Pengaruh penyimpanan energi pada struktur bangunan perlu dipertimbangkan dalam perhitungan tambahan panas, beban ini dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

a. Penambahan beban sensible

- Transmisi panas melalui bahan bangunan, melewati atap, dinding, kaca, langit-langit dan lantai
- Radiasi sinar matahari
- Panas dari penerangan atau lampu-lampu
- Pancaran panas dari penghuni ruangan
- Panas dari peralatan tambahan dari ruangan
- Panas dari elektromotor

b. Penambahan panas laten

- Panas dari penghuni ruangan

- Panas dari peralatan ruangan

c. Ventilasi dan infiltrasi

- Penambahan panas sensible akibat perbedaan temperatur udara dalam dan luar
- Penambahan panas laten akibat kelembaban udara dalam dan luar

2.6 Refrigerant

Refrigerant adalah zat yang pada tekanan 1 atm mempunyai titik didih sangat rendah sampai -157°C . Refrigerant bertindak sebagai media penghantar kalor pada proses pemindahan kalor dari produk yang diinginkan ke media pendingin. Refrigerant mengalir dalam refrigerator dan bersirkulasi melalui komponen fungsional untuk menghasilkan efek mendinginkan dengan cara menyerap panas melalui ekspansi dan evaporasi.

Refrigerant R404a ini termasuk dalam salah satu refrigerant terpopuler, sejak 10 sampai dengan 15 tahun r404a sudah menjadi bagian refrigerant yang terpopuler atau yang paling banyak digunakan orang. Refrigerant r404a sudah diperkenalkan sejak tahun 1990 menjadi pengganti ozon pendingin depleting, pendingin ini bagian dari CFC seperti R12 dan R502, dan saat ini menjadi pengganti HFC seperti R22. Pada wilayah eropa, refrigerant tersebut menjadi yang berpengaruh kuat untuk pembeku dan pendingin makanan, selain itu juga digunakan secara luas dalam system komersial untuk penyimpanan dingin dan pendingin industri.

Refrigerant R404a terus memimpin jalan agar menjadi standard refrigerant HFC dalam industry global untuk aplikasi pendingin komersial baru. R404a memberikan kapasitas yang luar biasa dan efisiensi sebagai pengganti R504 dan

R22 dalam aplikasi pendingin dan disetujui oleh para produsen untuk digunakan pada kompresor dan peralatan yang paling unggul diseluruh dunia. R404a cocok diformulasikan dengan sifat R502, sehingga berguna untuk aplikasi berbagai media dan pendinginan suhu rendah.

Macam – macam Refrigerant

a. Refrigerant fluorocarbon terhidrogenasi (HFC)

HFC merupakan refrigeran baru sebagai alternatif untuk menggantikan posisi freon. Hal ini disebabkan karena refrigeran freon mengandung zat chlor (Cl) yang dapat merusak lapisan ozon. Sedangkan HFC terdiri dari atom-atom hidrogen, fluorine dan karbon tanpa adanya zat chlor (Cl).

b. Freon atau Cloro Fluoro Carbon (CFC)

Freon merupakan refrigeran yang paling banyak digunakan dalam sistem pendingin. Bahan dasarnya ethane dan methane yang berisi fluor dan chlor dalam komposisinya. Karena mengandung unsur chlor refrigeran jenis ini mempunyai dampak penipisan ozon dimana akan berpengaruh negatif terhadap kehidupan makhluk hidup di bumi. Selain itu, juga berdampak negatif terhadap iklim, yaitu meningkatkan suhu rata-rata dan perubahan iklim global serta pencemaran udara.

c. Terhidrogenasi klorofluorokarbon refrigeran (HCFC)

Terdiri dari hidrogen, klorin, fluorin, dan karbon. Refrigeran ini mengandung jumlah minimal klorin, yg tidak merusak lingkungan karena berbeda dari refrigeran lain.

d. Carbon Dioksida (CO₂)

Senyawa ini tidak berwarna, tidak berbau dan lebih berat dari udara. Titik didihnya -78,5°C, berat jenisnya 1,56 kg dan hanya dapat beroperasi pada tekanan tinggi sehingga pemakaiannya terbatas dan biasanya dipakai pada proses refrigerasi dengan tekanan per ton yang besar.

e. Methil Clorida (CH₃Cl)

Berupa cairan tidak berwarna dan tidak berbau, Titik didihnya – 30,94 °F.

f. Uap Air

Refrigeran ini paling murah dan paling aman. Pemakaiannya terbatas untuk pendingin suhu tinggi karena mempunyai titik beku yang tinggi, yaitu °C. pemakaian utamanya untuk comfort air conditioning dan water cooling.

g. Hidrocarbon

Dipakai pada industri karena harganya murah. Jenisnya butana, iso butana, propana, propylana, etana dan etylana.

h. Amonia (NH₃)

Amonia ini digunakan secara luas pada mesin refrigerasi industri atau refrigerasi kapasitas besar. Titik didihnya kurang lebih – 33 °C. zat ini mempunyai karakteristik bau meskipun pada konsentrasi kecil di udara. Tidak dapat terbakar, tetapi meledak jika bereaksi dengan udara dengan prosentase 13,28 %. Oleh karena itu efek korosi amonia, tembaga atau campuran tembaga tidak boleh digunakan pada mesin dengan refrigeran ammonia

i. Larutan Garam (brine)

Larutan garam (brine) juga digunakan untuk refrigeran misalnya untuk pendinginan lokasi lapangan es (ice skating rinks).

2.7 Istilah - istilah Mesin Pendingin

1. Panas Laten

Adalah jumlah panas yang diambil atau diberikan kepada suatu zat dimana akan menyebabkan terjadinya perubahan fase/wujud dari zat yang bersangkutan tanpa mengalami perubahan temperatur.

2. Panas Sensible

Adalah jumlah panas yang diambil atau diberikan kepada suatu zat dimana akan menyebabkan terjadinya perubahan temperatur tanpa mengalami perubahan fase/wujud dari zat yang bersangkutan.

3. Panas Spesifik

Adalah jumlah panas/kalor yang diperlukan setiap kilogram massa zat untuk menaikkan temperaturnya sebesar satu derajat Celcius.

4. Wet Bulb Temperatur

Adalah temperatur udara yang tidak memperhitungkan pengaruh radiasi, konduksi, dan konveksi.

5. Dry Bulb Temperatur

Adalah temperatur udara yang memperhitungkan pengaruh radiasi, konduksi, dan konveksi .

6. Dew point Temperatur

Adalah temperatur pada saat udara menjadi jenuh, artinya udara mulai berubah menjadi kondensat (mengembun) setelah mengalami proses pendinginan pada tekanan konstan dan kelembaban absolut yang konstan.

7. Kelembaban Absolut

Adalah perbandingan antara massa uap air dengan massa udara kering dalam suatu volume campuran.

8. Kelembaban Relatif

Adalah perbandingan antara tekanan parsial uap air dalam suatu campuran terhadap tekanan jenuhnya pada temperatur yang sama.

9. *Refrigerant effect*

Yaitu kemampuan suatu Refrigerant (zat pendingin) untuk menyerap panas/kalor agar berubah fase/wujudnya berubah dari cair menjadi uap.

10. *Enthalpy*

Adalah jumlah kalor yang dikandung oleh setiap kilogram zat pada tekanan dan temperatur tertentu ditambah dengan kerja yang bekerja pada zat tersebut yang merupakan perkalian antara tekanan yang bekerja pada zat tersebut dengan volume spesifiknya.

11. *Coefficient of Performance (COP)*

Adalah perbandingan antara panas yang diserap oleh *refrigerant* (zat pendingin) dengan kerja kompresor.

12. Beban Pendinginan

Yaitu kalor yang diambil tiap detik dari produk yang diinginkan (kJ/detik). Manfaatnya untuk meramalkan kalor yang mampu diserap tiap detik oleh instalasi mesin pendingin.

13. Kapasitas Pendinginan

Adalah jumlah kalor yang diserap oleh *refrigerant* dari benda atau fluida yang hendak didinginkan.

14. Tor *refrigerant*

Laju aliran kapasitas refrigerant digunakan untuk menyerap panas yang ada di dalam sistem tiap satuan waktu. Jadi tor *refrigerant* merupakan satuan daya dalam British (Btu/jam)

2.8 Rumus Perhitungan

1. Energi yang diserap Evaporator

Panas yang diserap oleh *refrigerant* (zat pendingin) dari fluida.

$$Q_{in} = (h_1 - h_4) \dots \dots \dots \text{Persamaan (2.1)}$$

2. kerja Kompresor

Kerja dari kompresor persatuan waktu yang masuk kedalam sistem.

$$W_{in} = (h_2 - h_1) \dots \dots \dots \text{Persamaan (2.2)}$$

3. Kerja kondensor

Banyaknya panas (kalor) yang dilepaskan oleh *refrigerant* (zat pendingin).

$$Q_{out} = (h_2 - h_3) \dots \dots \dots \text{Persamaan (2.3)}$$

4. *Performance* Mesin Pendingin

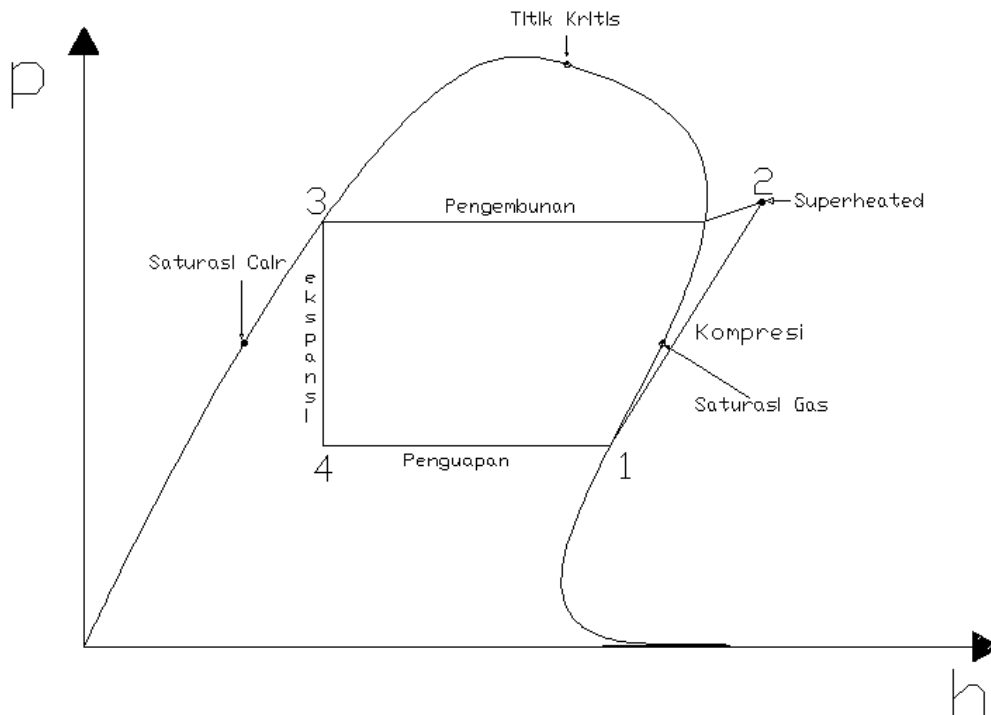
$$COP = \frac{Q_{in}}{W_{in}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \dots \dots \dots \text{Persamaan (2.4)}$$

2.9 Siklus Refrigerasi dalam Diagram P-h

Untuk melihat besaran-besaran seperti tekanan, temperatur, enthalpy dalam siklus refrigerasi biasanya digunakan diagram P-h refrigeran tertentu. Ada banyak jenis refrigeran, setiap refrigeran memiliki diagram P-h yang berbeda-beda. Refrigeran yang biasa di pasaran antara lain R22, R134a, R404, dan lain-lain. Beberapa jenis refrigeran sudah tidak dijual karena alasan merusak lingkungan. Walaupun refrigeran memiliki diagram P-h yang berbeda-beda,

namun pola siklus refrigerasinya sama dan dengan cara yang sama pula dapat diketahui dan analisis besaran-besaran tersebut.

Siklus refrigerasi dapat dapat digambarkan dalam diagram P-h seperti pada gambar.



Gambar 2.13 Diagram Ph

Berikut penjelasan siklus refrigerasi ideal dalam diagram P-h (Gambar)

1 ke 2, Proses kompresi menyebabkan kenaikan tekanan dari tekanan rendah (LP) ke tekanan tinggi (HP). Proses ini berlangsung secara isentropik. Garis 2 ke 3 mengikuti garis isentropik pada diagram P-h. Karena berlangsung secara isentropik maka entropi pada titik 1 dan titik 2 adalah sama. Kondisi pada titik 1 berupa saturasi gas dan dan titik 2 dalam keadaan superheated. Enthalpynya naik dari h_2 ke h_3 . Refrigeran pun mengalami kenaikan temperatur.

2 ke 3, Proses kondensasi ini terjadi pada tekanan yang sama (Isobarik). Dalam proses ini terjadi pelepasan kalor sehingga terjadi penurunan temperatur

dan enthalpy refrigeran sampai dengan saturasi gas (2). Kemudian refrigeran terus melepaskan kalor dan mulai berubah menjadi cair. Dari titik 3 ke titik 4 tidak terjadi penurunan temperatur tetapi terjadi perubahan fasa. Karena terjadi pelepasan kalor maka refrigeran mengalami penurunan enthalpy dari h_3 ke h_4 .

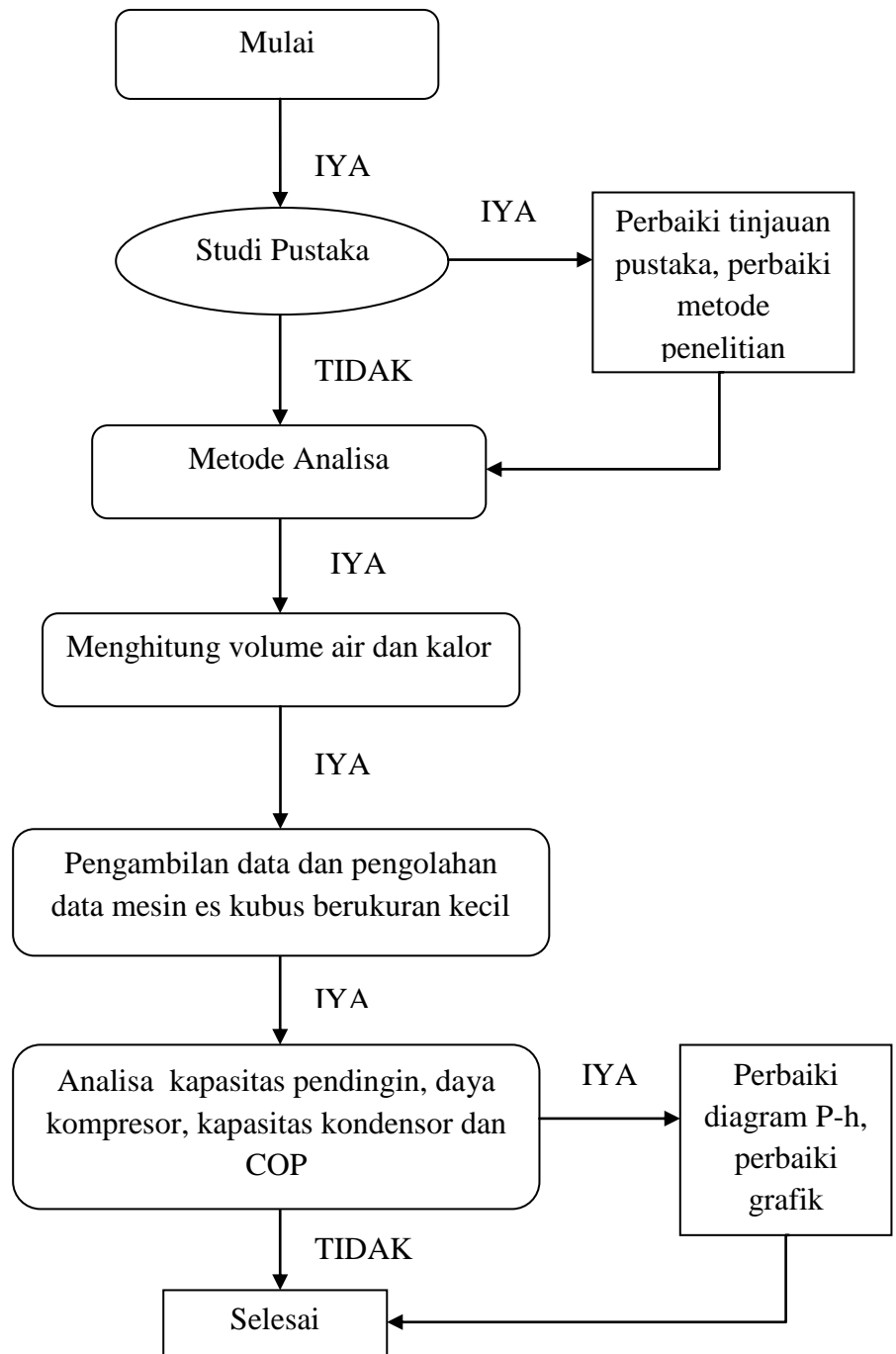
3 ke 4, Proses ekspansi ini terjadi secara isoenthalpy sehingga enthalpy di titik 3 dan titik 4 adalah sama. Tekanan pada titik 3 masih tekanan tinggi (LP) kemudian turun hingga titik 4 di tekanan rendah (LP). Penurunan tekanan ini disertai dengan penurunan temperatur. Kondisi refrigeran yang tadinya saturasi cair (titik 3) menjadi campuran gas dan cair.

4 ke 1, Proses evaporasi ini terjadi pada tekanan yang sama (isobarik). Dalam proses ini terjadi penarikan kalor sehingga terjadi kenaikan enthalpy. Temperatur tidak mengalami kenaikan karena kalor yang diambil digunakan untuk mengubah fasa dari yang tadinya campuran (titik 4) menjadi gas jenuh (titik 1). Dalam proses inilah terjadi pendinginan terhadap objek karena kalor pada objek ditarik oleh refrigeran dalam evaporator. Kapasitas pendinginan ditentukan pada proses ini yaitu besarnya penarikan kalor.

Setelah mengetahui siklus refrigerasi dalam diagram P-h maka kita dapat menentukan/menghitung laju aliran massa dalam perangkat refrigerasi. Misalnya suatu perangkat refrigerasi memiliki kapasitas pendinginan sebesar, dan telah diketahui siklus dalam diagram P-h. Maka dapat ditentukan besar enthalpy .

3.2 Diagram Alir

Agar penelitian dapat berjalan secara sistematis, maka diperlukan rancangan penelitian atau langkah-langkah penelitian. Adapun diagram alir penelitian sebagai berikut :



Gambar 3.1 Diagram

3.3 Peralatan Pengujian

A. Kompresor

Kompresor merupakan unit tenaga dalam sistem mesin pendingin. Kompresor berfungsi memompa bahan pendingin keseluruh bagian mesin es. Kompresor akan memompa gas *refrigerant* dibawah tekanan dan panas yang tinggi pada sisi tekanan tinggi dari sistem dan menghisap gas bertekanan rendah pada sisi *intake* (sisi tekanan rendah).

Merek : Tecumseh

Model : 9460T

Daya : ½ pk

Voltage/ Hz : 220-240 V / 1/50 Hz – 60 Hz

Refrigerant : R-404a

Dimensi : panjang 17.5 cm, lebar 11.5 cm, tinggi 19.5 c



Gambar 3.2 Kompresor

B. Pipa Kapiler

Pipa kapiler adalah pipa yang memiliki diameter paling kecil jika dibandingkan dengan pipa-pipa lainnya. Pipa kapiler media yang digunakan untuk aliran refrigerant pada sistem pendingin sejenis freezer, refrigerator dan lainnya.

Diameter pipa ini berkisar antara 0,3 mm – 2,0 mm dengan panjang kurang lebih 2 meter. Pipa dengan ukuran lubang sebatang jarum ini sering kali buntu dan rentan patah. Pipa kapiler berfungsi sebagai alat untuk menurunkan tekanan, merubah bentuk dari cairan menjadi bentuk gas, dan mengatur cairan refrigerant yang berasal dari pipa kondensor.

Material : Tembaga

Diameter : 0.36 mm

Panjang : 2 m



Gambar 3.3 Pipa Kapiler

C .Kondensor

Kondensor berfungsi sebagai alat penukaran kalor, menurunkan temperatur *refrigerant* dari bentuk gas menjadi cair. Kondensor di dalam sistem mesin es ini merupakan alat yang digunakan untuk merubah gas *refrigerant* bertekanan tinggi menjadi cairan. Alat tersebut melakukan cara ini dengan menghilangkan panas dari refrigerant ke temperatur atmosfer. Kondensor terdiri dari belokan dan sirip yang berfungsi mendinginkan *refrigerant* ketika udara tertiuap diantaranya. Sejumlah kalor yang terdapat pada *refrigerant* dilepaskan ke udara bebas dengan bantuan kipas (*fan motor*).

Kondensor ditempatkan disamping fan motor yang pendinginanya dijamin. Untuk refrigerant jenis R-404a menggunakan kondensor jenis *parallel flow* untuk memperbaiki efek pendinginan udara. Dengan cara itu maka efek pendinginan udara dapat diperbaiki sekitar 15% sampai 20%. Agar proses pelepasan kalor bisa lebih cepat, pipa kondensor didesain berliku dan dilengkapi dengan sirip. Untuk itu, pembersihan sirip-sirip pipa kondensor sangat penting agar perpindahan kalor refrigeran tidak terganggu. Jika sirip-sirip kondensor dibiarkan dalam kondisi kotor, akan mengakibatkan mesin pendingin menjadi kurang dingin.

Material : Tembaga

Diameter pipa : 3/8 inch

Dimensi : panjang 36 cm, lebar 31cm, 11.5 cm



Gambar 3.4 kondensor

D. Filter (*Receiver Drier*)

Receiver drier merupakan tabung penyimpanan *refrigerant* cair, dan ia juga berisikan fiber dan *desiccant* (bahan pengering) untuk menyaring benda-benda asing dan uap air dari sirkulasi *refrigerant*. Filter / *Receiver drier* mempunyai 3 fungsi ,yaitu menyimpan *refrigerant*, menyaring benda-benda asing dan uap air dengan *desiccant* dan filter agar tidak bersirkulasi pada sistem mesin pendingin, dan memisahkan gelembung gas dengan cairan *refrigerant* sebelum dimasukkan ke katup ekspansi *Receiver drier* menerima cairan *refrigerant* bertekanan tinggi dari kondensor dan disalurkan ke katup ekspansi (katup ekspansi). *Receiver drier* terdiri dari main *body filter*, *desiccant*, *pipe*, dan *side glass*. Cairan *refrigerant* dialirkan ke dalam pipa untuk disalurkan ke katup ekspansi melalui *outlet pipe*

yang ditempatkan pada bagian bawah *main body* setelah tersaringnya uap air dan benda asing oleh filter dan *desiccant*.

Material : Tembaga

Refrigerant : R-404a



Gambar 3.5 filter

E. Evaporator

Zat pendingin cair dari *receiver drier* dan kondensor harus dirubah kembali menjadi gas dalam *evaporator*, dengan demikian *evaporator* harus menyerap panas, agar penyerapan panas ini dapat berlangsung dengan sempurna, pipa-pipa evaporator juga diperluas permukaannya dengan memberi kisi-kisi (elemen), supaya udara dingin juga dapat dihembus ke dalam ruangan.

\

Material : Tembaga

Ukuran pipa : ½ inch

Dimensi : panjang 28 cm, tinggi 14.5 cm



Gambar 3.6 Evaporator

F. *Fan Motor* kondensor

Kipas angin ini diletakkan pada bagian bawah yang memiliki kondensor yang berukuran kecil yang berfungsi mengisap atau mendorong udara melalui kondensor dan kompresor. Selain itu berfungsi mendinginkan kompresor.



Gambar 3.7 Fan Motor

G. Bahan Pendingin (*Refrigerant*)

Refrigerant adalah zat yang mudah diubah wujudnya dari gas menjadi cair, ataupun sebaliknya. Jenis bahan pendingin sangat beragam. Setiap jenis bahan pendingin memiliki karakteristik yang berbeda.



Gambar 3.8 Refrigeran

H. Thermostat

Thermostat adalah suatu komponen yang berfungsi sebagai pengatur temperatur pada mesin es. Ini juga bisa berfungsi sebagai pengatur kapan mesin harus bekerja dan kapan mesin akan mati. Semua jenis pendingin biasanya juga menggunakan thermostat untuk mengatur temperatur. Seperti pada AC juga ada, atau lebih sering kita sebut dengan thermistor.

Jadi apabila temperatur pada mesin es sudah mencapai sudah mencapai temperatur seperti yang telah kita setting, maka thermostat ini akan memutuskan arus listrik ke dalam kompresor sehingga kompresor akan berhenti bekerja atau dalam posisi standby. Dan jika temperatur di dalam mesin es sudah mulai naik kembali, maka thermostat akan kembali bekerja dengan kembali menghubungkan arus listrik ke dalam kompresor, hingga temperatur di dalam mesin es kembali menurun.

Thermostat disini memanfaatkan sensor yang di dalamnya terdapat gas yang bisa berubah apabila di dinginkan. Jika sensor berada pada lingkungan yang bertemperatur rendah, maka gas yang berada di dalamnya akan menurun tekanannya. Perubahan tersebut yang menyebabkan kontak switch yaitu dari status keadaan tertutup menjadi keadaan terbuka. Semakin turun temperatur yang mengenai sensor, maka akan semakin turun juga nilai tekanan gas yang berada di dalamnya.



Gambar 3.9 Thermostat

3.4 Prosedur Pengujian Alat

Langkah – langkah yang dilakukan dalam melakukan prosedur analisa mesin es kubus berukuran kecil ini adalah sebagai berikut :

1. Mempersiapkan bahan dan alat untuk proses pengujian
2. Mengisi air pada bak penampungan
3. Menghidupkan mesin es kubus berukuran kecil
4. Menghitung temperatur evaporator untuk 30 menit sekali dengan menggunakan thermo meter laser
5. Menghitung temperatur kondensor untuk 30 menit sekali dengan menggunakan thermo meter laser

3.5 Metode Pengukuran

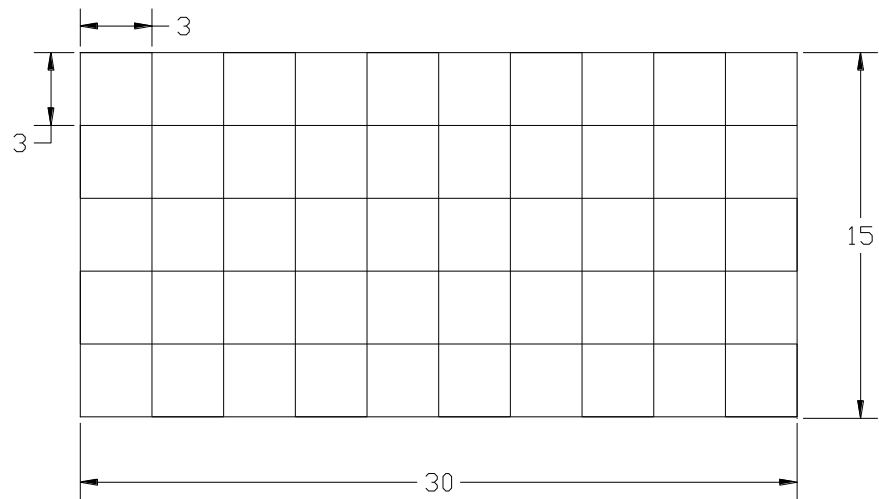
1. Metode Menghitung temperatur Evaporator dan temperatur Kondensor

Setelah mesin di hidupkan tunggu sampai 30 menit dan ukur temperatur evaporator dan kondensor dengan menggunakan thermo meter laser, setelah selesai menghitung selanjutnya dihitung kembali mesin es kubus berukuran kecil ini dengan jarak waktu 30 menit, lakukan percobaan ini secara terus menerus hingga mencapai 180 menit, selanjutnya matikan mesin es ini dan percobaan pun selesai.

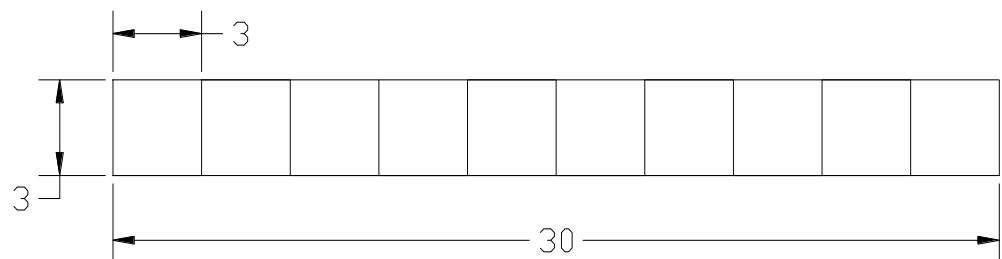
BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Menghitung Volume Kubus



Gambar 4.1 Cetakan Es (pandangan atas)



Gambar 4.2 Cetakan Es (pandangan samping)

- Volume = s x s x s atau volume = s³.

$$\begin{aligned} \text{Volume} &= 3\text{cm} \cdot 3\text{cm} \cdot 3\text{cm} \\ &= 27 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

- 1 kubus = 27 cm³

$$\begin{aligned} 50 \text{ kubus} &= 27 \text{ cm}^3 \cdot 50 \\ &= 1350 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$V = 0,00135 \text{ m}^3$$

- Menghitung massa jenis air

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

$$1000 \text{ kg/m}^3 = \frac{m}{0.00135}$$

$$= 1,35 \text{ kg}$$

4.2 Pengolahan data percobaan pertama(air mengalir)

Tabel 4.1 Percobaan dengan cetakan vertikal (air mengalir)

Waktu (menit)	Evaporator (°C)	Kondensor (°C)
30	9,8	30,8
60	9,3	30,4
90	8,8	29,2
120	8,6	29,6
150	6,6	30,2
180	3,7	33,6

1. Diketahui - Waktu = 30 Menit

- T1 (evaporator) = 9,8 °C

- T2 (kondensor) = 30,8 °C



Gambar 4.3. Cetakan Vertical dengan $T_e 9,8^{\circ}\text{C}$ dan $T_c 30,8^{\circ}\text{C}$

Tabel 4.2 tabel saturasi R404A

Pressure, MPa	Temperature, $^{\circ}\text{C}$		Density, Volume, kg/m^3 m^3/kg		Enthalpy, kJ/kg		Entropy, kJ/(kg·K)	
	Bubble	Dew	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor
0.8	8.87	9.34	1115.1	0.02449	212.49	370.27	1.0444	1.6035
0.85	10.94	11.40	1106.5	0.02300	215.46	371.19	1.0547	1.6025
1.4	29.22	29.60	1023.4	0.01338	242.81	378.02	1.1462	1.5932
1.5	31.93	32.30	1009.5	0.01236	247.07	378.78	1.1599	1.5914

Tabel ini digunakan untuk mencari nilai dari temperatur, tekanan, enthalpy, entropy, dan volume spesifik pada titik 1, titik 3, dan titik 4.

Tabel 4.3 superheated R404A

TEMP. $^{\circ}\text{C}$	ABSOLUTE PRESSURE, kPa											
	1500.0			1600.0			1700.0			1800.0		
	(32.29 $^{\circ}\text{C}$)			(34.86 $^{\circ}\text{C}$)			(37.31 $^{\circ}\text{C}$)			(39.66 $^{\circ}\text{C}$)		
	V	H	S	V	H	S	V	H	S	V	H	S
	(0.0126)	(383.0)	(1.6054)	(0.0117)	(383.8)	(1.6039)	(0.0109)	(384.4)	(1.6024)	(0.0101)	(385.0)	(1.6008)
35	0.0129	386.0	1.6151	0.0117	383.9	1.6044	—	—	—	0.0102	—	—
40	0.0134	391.4	1.6326	0.0122	389.5	1.6225	0.0111	387.5	1.6124	0.0107	385.4	1.6021
45	0.0139	396.8	1.6496	0.0127	395.0	1.6400	0.0116	393.2	1.6304	0.0107	391.3	1.6208

Tabel ini digunakan untuk mencari nilai dari temperatur, tekanan, dan volume spesifik pada titik 2.

Tabel 4.4 Volume spesifik fluida (v_f)

Temperatur $^{\circ}\text{C}$	volume m^3/kg
	Liquid (v_f)
9	0,0009
9,8	?
10	0,0009

Tabel ini digunakan untuk interpolasi nilai dari volume spesifik fluida.

Untuk mendapatkan nilai dari v_3 dan s_3 maka di buat lah perhitungan sebagai berikut dengan mengguakan tabel saturasi R404A dan tabel volume spesifik fluida (v_f).

$$x_3 = \frac{h_3 - h_f}{h_g - h_f} = \frac{244,70 \text{ kJ/kg} - 213,15 \text{ kJ/kg}}{384,64 \text{ kJ/kg} - 213,15 \text{ kJ/kg}} = 0,1839$$

$$v_3 = v_f + x_3 (v_g - v_f) = 0,0009 \text{ m}^3 / \text{kg} + 0,1839 (0,0109 \text{ m}^3 / \text{kg} - 0,0009 \text{ m}^3 / \text{kg}) \\ = 0,0027 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

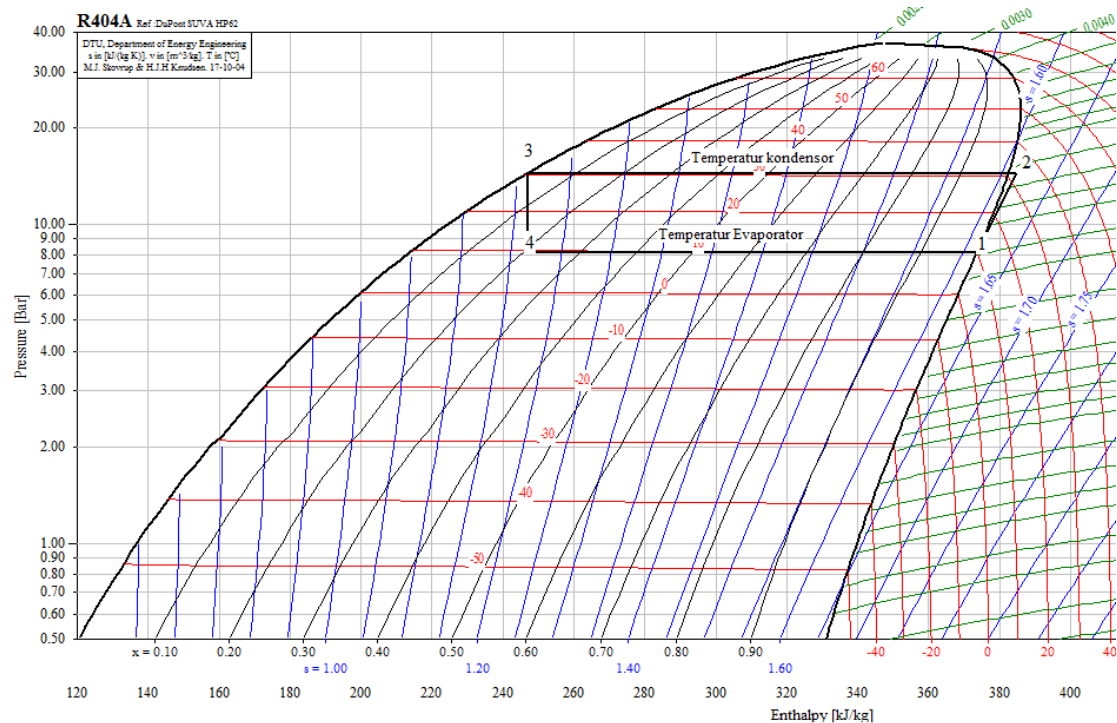
$$s_3 = s_f + x_3 (s_g - s_f) = 1,0467 \text{ kJ}/(\text{kg.K}) + 0,1839 (1,6032 \text{ kJ}/(\text{kg.K}) - 1,0467 \text{ kJ}/(\text{kg.K})) \\ = 1,1490 \text{ kJ}/(\text{kg.k})$$

Untuk mendapatkan nilai dari v_4 dan s_4 maka di buat lah perhitungan sebagai berikut dengan mengguakan tabel saturasi R404A dan tabel volume spesifik fluida (v_f).

$$x_4 = \frac{h_4 - h_f}{h_g - h_f} = \frac{244,70 \text{ kJ/kg} - 213,15 \text{ kJ/kg}}{370,47 \text{ kJ/kg} - 213,15 \text{ kJ/kg}} = 0,2005$$

$$v_4 = v_f + x_4 (v_g - v_f) = 0,0009 \text{ m}^3/\text{kg} + 0,2005 (0,02415 \text{ m}^3/\text{kg} - 0,0009 \text{ m}^3/\text{kg}) = 0,0055 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$s_4 = s_f + x_4 (s_g - s_f) = 1,0467 \text{ kJ}/(\text{kg.K}) + 0,2005 (1,6032 \text{ kJ}/(\text{kg.K}) - 1,0467 \text{ kJ}/(\text{kg.K})) = 1,1582 \text{ kJ}/(\text{kg.k})$$



Gambar 4.4 Diagram p-h T evaporator 9,8°C dan kondensor 30,8 °C

Maka didapatkan hasil dari perhitungan dan interpolasi dengan menggunakan tabel saturasi dan tabel uap superheated, dan hasil data tersebut dapat dijelaskan pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 hasil dari interpolasi T evaporator 9,8⁰C dan kondensor 30,8⁰C

No	T, ⁰ C	P, kpa	v, m ³ /kg	h, kj/kg	s, kj/(kg.K)
1	9,8	811,16	0,02415	370,47	1,6032
2	37,52	1708,93	0,0109	384,64	1,6032
3	30,8	1444,44	0,0027	244,70	1,1490
4	9,8	811,16	0,0055	244,70	1,1582

2. Diketahui - Waktu =60 Menit

- T1 (evaporator) = 9,3 ⁰C

- T2 (kondensor) = 30,4 ⁰C



Gambar 4.5 Cetakan Vertikal dengan Te 9,8⁰C dan Tc 30,4⁰C

Tabel 4.6 tabel saturasi R404A

Pressure, MPa	Temperature, °C		Density, Volume, kg/m ³ m ³ /kg		Enthalpy, kJ/kg		Entropy, kJ/(kg·K)	
	Bubble	Dew	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor
0.75	6.70	7.18	1123.8	0.02618	209.41	369.28	1.0336	1.6044
0.8	8.87	9.34	1115.1	0.02449	212.49	370.27	1.0444	1.6035
1.4	29.22	29.60	1023.4	0.01338	242.81	378.02	1.1462	1.5932
1.5	31.93	32.30	1009.5	0.01236	247.07	378.78	1.1599	1.5914

Tabel ini digunakan untuk mencari nilai dari temperatur, tekanan, enthalpy, entropy, dan volume spesifik pada titik 1, titik 3, dan titik 4.

Tabel 4.7 superheated R404A

TEMP. °C	ABSOLUTE PRESSURE, kPa											
	1500.0 (32.29°C)			1600.0 (34.86°C)			1700.0 (37.31°C)			1800.0 (39.66°C)		
	V	H	S	V	H	S	V	H	S	V	H	S
	(0.0126)	(383.0)	(1.6054)	(0.0117)	(383.8)	(1.6039)	(0.0109)	(384.4)	(1.6024)	(0.0101)	(385.0)	(1.6008)
35	0.0129	386.0	1.6151	0.0117	383.9	1.6044	—	—	—	—	—	—
40	0.0134	391.4	1.6326	0.0122	389.5	1.6225	0.0111	387.5	1.6124	0.0102	385.4	1.6021
45	0.0139	396.8	1.6496	0.0127	395.0	1.6400	0.0116	393.2	1.6304	0.0107	391.3	1.6208

Tabel ini digunakan untuk mencari nilai dari temperatur, tekanan, dan volume spesifik pada titik 2.

Tabel 4.8 Volume spesifik fluida (Vf)

Temperatur °C	volume m ³ /kg
	Liquid (Vf)
9	0,0009
9,3	?
10	0,0009

Tabel ini digunakan untuk interpolasi nilai dari volume spesifik fluida.

Untuk mendapatkan nilai dari v_3 dan s_3 maka di buat lah perhitungan sebagai berikut dengan mengguakan tabel saturasi R404A dan tabel volume spesifik fluida (v_f).

$$x_3 = \frac{h_3 - h_f}{h_g - h_f} = \frac{244,07 \text{ kJ/kg} - 212,43 \text{ kJ/kg}}{384,73 \text{ kJ/kg} - 212,43 \text{ kJ/kg}} = 0,1836$$

$$v_3 = v_f + x_3 (v_g - v_f) = 0,0009 \text{ m}^3 / \text{kg} + 0,1836 (0,0109 \text{ m}^3 / \text{kg} - 0,0009 \text{ m}^3 / \text{kg}) \\ = 0,0027 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

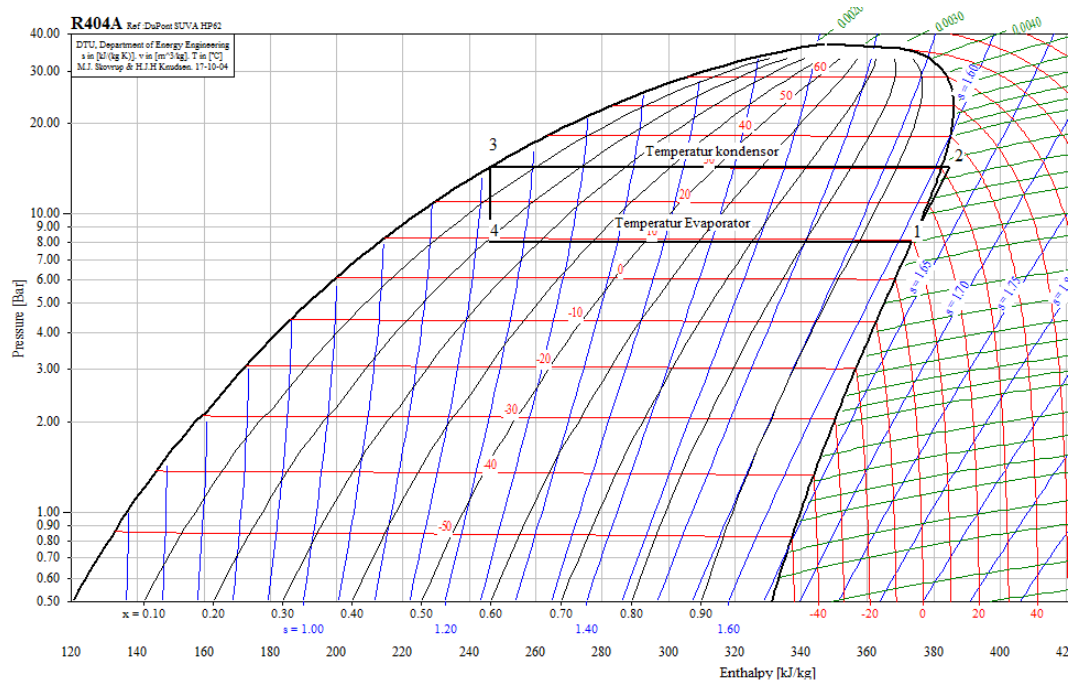
$$s_3 = s_f + x_3 (s_g - s_f) = 1,0442 \text{ kJ/(kg.K)} + 0,1836 (1,60351 \text{ kJ/(kg.K)} - 1,0442 \text{ kJ/(kg.K)}) \\ = 1,1468 \text{ kJ/(kg.k)}$$

Untuk mendapatkan nilai dari v_4 dan s_4 maka di buat lah perhitungan sebagai berikut dengan mengguakan tabel saturasi R404A dan tabel volume spesifik fluida (v_f).

$$x_4 = \frac{h_4 - h_f}{h_g - h_f} = \frac{244,07 \text{ kJ/kg} - 212,43 \text{ kJ/kg}}{370,25 \text{ kJ/kg} - 212,43 \text{ kJ/kg}} = 0,2004$$

$$v_4 = v_f + x_4 (v_g - v_f) = 0,0009 \text{ m}^3 / \text{kg} + 0,2004 (0,0245 \text{ m}^3 / \text{kg} - 0,0009 \text{ m}^3 / \text{kg}) \\ = 0,0013 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

$$s_4 = s_f + x_4 (s_g - s_f) = 1,0442 \text{ kJ/(kg.K)} + 0,2004 (1,6035 \text{ kJ/(kg.K)} - 1,0442 \text{ kJ/(kg.K)}) \\ = 1,1562 \text{ kJ/(kg.k)}$$



Gambar 4.6 diagram p-h evaporator 9,3⁰C dan kondensor 30,4⁰C

Maka didapatkan hasil dari perhitungan dan interpolasi dengan menggunakan tabel saturasi dan tabel uap superheated, dan hasil data tersebut dapat dijelaskan pada tabel 4.9.

Tabel 4.9 hasil dari interpolasi T evaporator 9,3⁰C dan kondensor 30,4⁰C

No	T, ⁰ C	P, kpa	v, m ³ /kg	h, kJ/kg	s, kJ/(kg.K)
1	9,3	799,07	0,0245	370,25	1,6035
2	37,60	1712,34	0,0109	384,73	1,6035
3	30,4	1429,62	0,0027	244,07	1,1468
4	9,3	799,07	0,0013	244,07	1,1562

3. Diketahui - Waktu = 90 Menit

- T1 (evaporator) = 8,8 °C

- T2 (kondensor) = 29,2 °C



Gambar 4.7 Cetakan Vertikal dengan T_e 8,8⁰C dan T_c 29,2⁰C

Tabel 4.10 tabel saturasi R404A

Pressure, MPa	Temperature, °C		Density, Volume, kg/m ³ m ³ /kg		Enthalpy, kJ/kg		Entropy, kJ/(kg·K)	
	Bubble	Dew	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor
0.75	6.70	7.18	1123.8	0.02618	209.41	369.28	1.0336	1.6044
0.8	8.87	9.34	1115.1	0.02449	212.49	370.27	1.0444	1.6035
1.3	26.35	26.75	1037.5	0.01455	238.37	377.14	1.1318	1.5949
1.4	29.22	29.60	1023.4	0.01338	242.81	378.02	1.1462	1.5932

Tabel ini digunakan untuk mencari nilai dari temperatur, tekanan, enthalpy, entropy, dan volume spesifik pada titik 1, titik 3, dan titik 4.

Tabel 4.11 superheated R404A

TEMP. °C	ABSOLUTE PRESSURE, kPa											
	1500.0 (32.29°C)			1600.0 (34.86°C)			1700.0 (37.31°C)			1800.0 (39.66°C)		
	V	H	S	V	H	S	V	H	S	V	H	S
35	0.0129	386.0	1.6151	0.0117	383.9	1.6044	0.0111	387.5	1.6124	0.0102	385.4	1.6021
40	0.0134	391.4	1.6326	0.0122	389.5	1.6225	0.0116	393.2	1.6304	0.0107	391.3	1.6208
45	0.0139	396.8	1.6496	0.0127	395.0	1.6400	0.0116	393.2	1.6304	0.0107	391.3	1.6208

Tabel ini digunakan untuk mencari nilai dari temperatur, tekanan, dan volume spesifik pada titik 2.

Tabel 4.12 Volume spesifik fluida (v_f)

Temperatur $^{\circ}\text{C}$	volume m^3/kg
	Liquid (v_f)
8	0,0009
8,8	?
9	0,0009

Tabel ini digunakan untuk interpolasi nilai dari volume spesifik fluida.

Untuk mendapatkan nilai dari v_3 dan s_3 maka di buat lah perhitungan sebagai berikut dengan mengguakan tabel saturasi R404A dan tabel volume spesifik fluida (v_f).

$$x_3 = \frac{h_3 - h_f}{h_g - h_f} = \frac{241,80 \text{ kJ/kg} - 211,72 \text{ kJ/kg}}{384,80 \text{ kJ/kg} - 211,72 \text{ kJ/kg}} = 0,1737$$

$$v_3 = v_f + x_3 (v_g - v_f) = 0,0009 \text{ m}^3 / \text{kg} + 0,1737 (0,0109 \text{ m}^3 / \text{kg} - 0,0009 \text{ m}^3 / \text{kg}) \\ = 0,0026 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

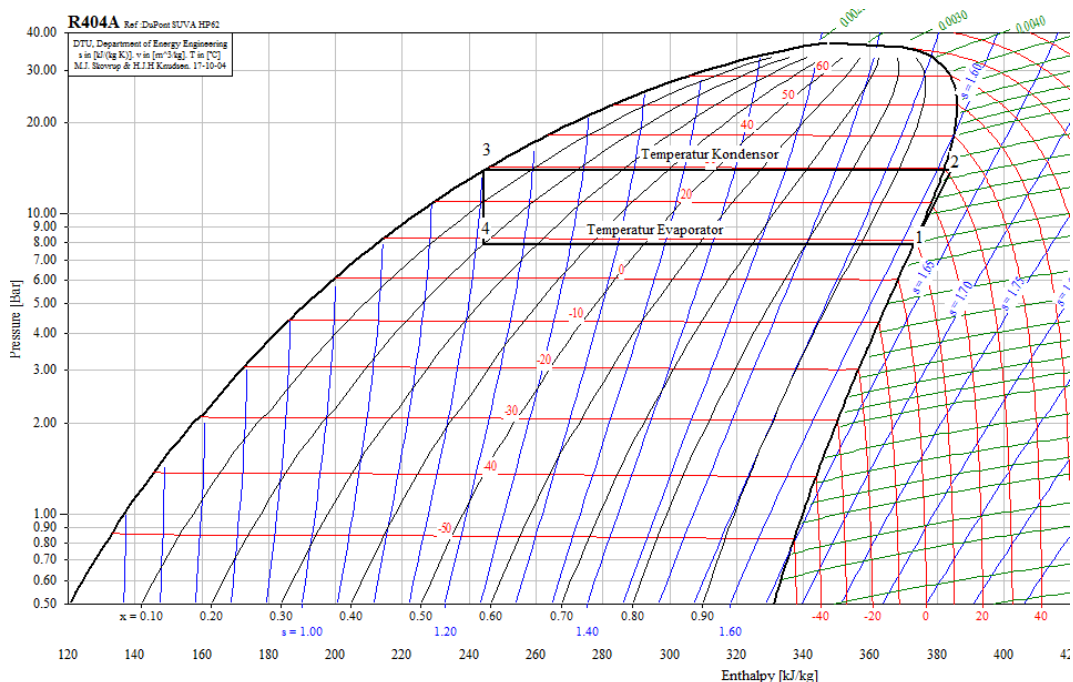
$$s_3 = s_f + x_3 (s_g - s_f) = 1,0417 \text{ kJ}/(\text{kg.K}) + 0,1737 (1,6037 \text{ kJ}/(\text{kg.K}) - 1,0417 \text{ kJ}/(\text{kg.K})) \\ = 1,1393 \text{ kJ}/(\text{kg.k})$$

Untuk mendapatkan nilai dari v_4 dan s_4 maka di buat lah perhitungan sebagai berikut dengan mengguakan tabel saturasi R404A dan tabel volume spesifik fluida (v_f).

$$x_4 = \frac{h_4 - h_f}{h_g - h_f} = \frac{241,80 \text{ kJ/kg} - 211,72 \text{ kJ/kg}}{370,50 \text{ kJ/kg} - 211,72 \text{ kJ/kg}} = 0,1894$$

$$v_4 = v_f + x_4 (v_g - v_f) = 0,0009 \text{ m}^3 / \text{kg} + 0,1894 (0,0249 \text{ m}^3 / \text{kg} - 0,0009 \text{ m}^3 / \text{kg}) = 0,00544 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

$$s_4 = s_f + x_4 (s_g - s_f) = 1,0417 \text{ kJ}/(\text{kg.K}) + 0,1894 (1,6037 \text{ kJ}/(\text{kg.K}) - 1,0417 \text{ kJ}/(\text{kg.K})) = 1,1481 \text{ kJ}/(\text{kg.k})$$



Gambar 4.8 diagram p-h evaporator 8,8⁰C dan kondensor 29,2⁰C

Maka didapatkan hasil dari perhitungan dan interpolasi dengan menggunakan tabel saturasi dan tabel uap superheated, dan hasil data tersebut dapat dijelaskan pada tabel 4.13.

Tabel 4.13 hasil dari interpolasi T evaporator 8,8⁰C dan kondensor 29,2⁰C

No	T, ⁰ C	P, kpa	v, m ³ /kg	h, kJ/kg	s, kJ/(kg.K)
1	8,8	787,5	0,0249	370,50	1,6037
2	37,65	1714,46	0,0109	384,80	1,6037
3	29,2	1385,96	0,0026	242,18	1,1393
4	8,8	787,5	0,00544	242,18	1,1481

4. Diketahui - Waktu =120 Menit

- T1 (evaporator) = 8,6⁰C

- T2 (kondensor) = 29,6⁰C



Gambar 4.9 Cetakan Vertikal dengan Te 8,6⁰C dan Tc 29,6⁰C

Tabel 4.14 tabel saturasi R404A

Pres- sure, MPa	Temperature, ⁰ C		Density, Volume, kg/m ³ m ³ /kg		Enthalpy, kJ/kg		Entropy, kJ/(kg·K)	
	Bubble	Dew	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor
0.75	6.70	7.18	1123.8	0.02618	209.41	369.28	1.0336	1.6044
0.8	8.87	9.34	1115.1	0.02449	212.49	370.27	1.0444	1.6035
1.4	29.22	29.60	1023.4	0.01338	242.81	378.02	1.1462	1.5932

Tabel ini digunakan untuk mencari nilai dari temperatur, tekanan, enthalpy, entropy, dan volume spesifik pada titik 1, titik 3, dan titik 4.

Tabel 4.15 superheated R404A

TEMP. °C	ABSOLUTE PRESSURE, kPa											
	1500.0			1600.0			1700.0			1800.0		
	(32.29°C)			(34.86°C)			(37.31°C)			(39.66°C)		
	V	H	S	V	H	S	V	H	S	V	H	S
(0.0126)	(383.0)	(1.6054)	(0.0117)	(383.8)	(1.6039)	(0.0109)	(384.4)	(1.6024)	(0.0101)	(385.0)	(1.6008)	
35	0.0129	386.0	1.6151	0.0117	383.9	1.6044	—	—	—	—	—	—
40	0.0134	391.4	1.6326	0.0122	389.5	1.6225	0.0111	387.5	1.6124	0.0102	385.4	1.6021
45	0.0139	396.8	1.6496	0.0127	395.0	1.6400	0.0116	393.2	1.6304	0.0107	391.3	1.6208

Tabel ini digunakan untuk mencari nilai dari temperatur, tekanan, dan volume spesifik pada titik 2.

Tabel 4.16 Volume spesifik fluida (Vf)

Temperatur °C	volume m ³ /kg
	Liquid (Vf)
8	0,0009
8,6	?
9	0,0009

Tabel ini digunakan untuk interpolasi nilai dari volume spesifik fluida.

Untuk mendapatkan nilai dari v_3 dan s_3 maka di buat lah perhitungan sebagai berikut dengan mengguakan tabel saturasi R404A dan tabel volume spesifik fluida (v_f).

$$x_3 = \frac{h_3 - h_f}{h_g - h_f} = \frac{242,81 \text{ kJ/kg} - 211,43 \text{ kJ/kg}}{384,58 \text{ kJ/kg} - 211,43 \text{ kJ/kg}} = 0,1812$$

$$v_3 = v_f + x_3 (v_g - v_f) = 0,0009 \text{ m}^3 / \text{kg} + 0,1812 (0,0109 \text{ m}^3 / \text{kg} - 0,0009 \text{ m}^3 / \text{kg}) \\ = 0,0027 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

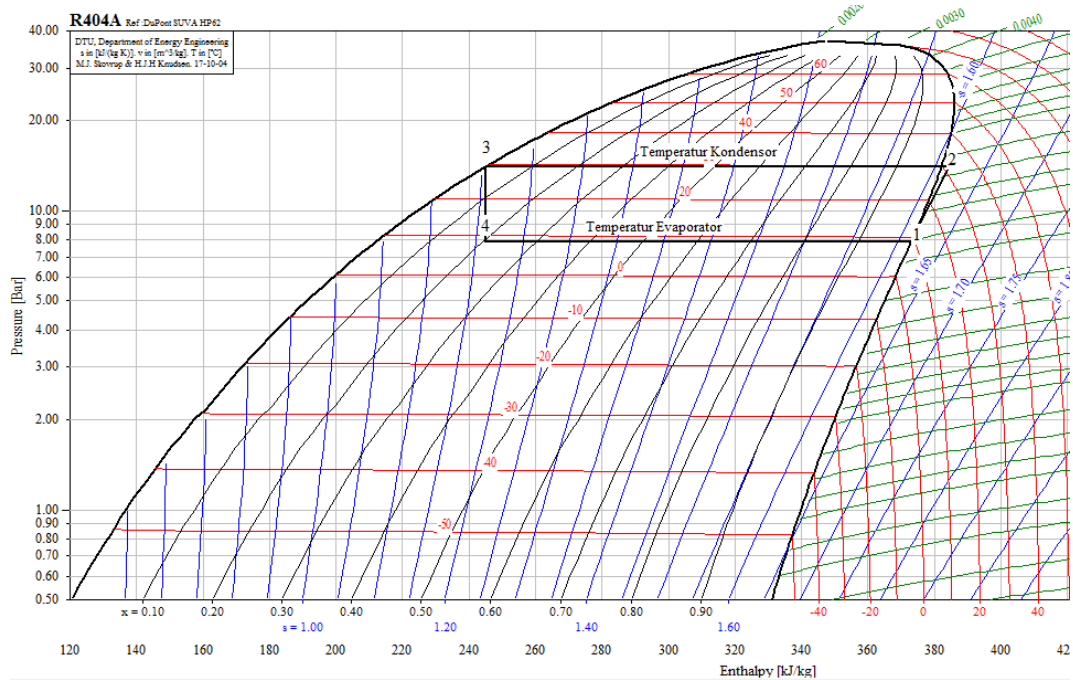
$$s_3 = s_f + x_3 (s_g - s_f) = 1,0407 \text{ kJ/(kg.K)} + 0,1812 (1,6038 \text{ kJ/(kg.K)} - 1,0407 \text{ kJ/(kg.K)}) \\ = 1,1427 \text{ kJ/(kg.k)}$$

Untuk mendapatkan nilai dari v_4 dan s_4 maka di buat lah perhitungan sebagai berikut dengan mengguakan tabel saturasi R404A dan tabel volume spesifik fluida (v_f).

$$x_4 = \frac{h_4 - h_f}{h_g - h_f} = \frac{242,81 \text{ kJ/kg} - 211,43 \text{ kJ/kg}}{369,93 \text{ kJ/kg} - 211,43 \text{ kJ/kg}} = 0,1979$$

$$v_4 = v_f + x_4 (v_g - v_f) = 0,0009 \text{ m}^3 / \text{kg} + 0,1979 (0,02506 \text{ m}^3 / \text{kg} - 0,0009 \text{ m}^3 / \text{kg}) \\ = 0,00568 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

$$s_4 = s_f + x_4 (s_g - s_f) = 1,0407 \text{ kJ/(kg.K)} + 0,1979 (1,6038 \text{ kJ/(kg.K)} - 1,0407 \text{ kJ/(kg.K)}) \\ = 1,1521 \text{ kJ/(kg.k)}$$



Gambar 4.10 diagram p-h T evaporator $8,6^{\circ}\text{C}$ dan kondensor $29,6^{\circ}\text{C}$

Maka didapatkan hasil dari perhitungan dan interpolasi dengan menggunakan tabel saturasi dan tabel uap superheated, dan hasil data tersebut dapat dijelaskan pada tabel 4.17.

Tabel 4.17 hasil dari interpolasi T evaporator $8,6^{\circ}\text{C}$ dan kondensor $29,6^{\circ}\text{C}$

No	T, $^{\circ}\text{C}$	P, kpa	v, m^3/kg	h, kJ/kg	s, kJ/(kg.K)
1	8,6	782,87	0,0250	369,93	1,6030
2	37,47	1706,80	0,0109	384,58	1,6030
3	29,6	1400	0,0027	242,81	1,1427
4	8,6	782,87	0,0056	242,81	1,1521

5. Diketahui - Waktu = 150 Menit

- T1 (evaporator) = $6,6^{\circ}\text{C}$

- T2 (kondensor) = $30,2^{\circ}\text{C}$



Gambar 4.11 Cetakan Vertikal dengan $T_e 6,6^{\circ}\text{C}$ dan $T_c 30,2^{\circ}\text{C}$

Tabel 4.18 tabel saturasi R404A

Pressure, MPa	Temperature, $^{\circ}\text{C}$		Density, Volume, kg/m^3 m^3/kg		Enthalpy, kJ/kg		Entropy, kJ/(kg·K)	
	Bubble	Dew	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor
0.7	4.42	4.91	1132.9	0.02809	206.18	368.21	1.0222	1.6055
0.75	6.70	7.18	1123.8	0.02618	209.41	369.28	1.0336	1.6044
1.4	29.22	29.60	1023.4	0.01338	242.81	378.02	1.1462	1.5932
1.5	31.93	32.30	1009.5	0.01236	247.07	378.78	1.1599	1.5914

Tabel ini digunakan untuk mencari nilai dari temperatur, tekanan, enthalpy, entropy, dan volume spesifik pada titik 1, titik 3, dan titik 4.

Tabel 4.19 superheated R404A

TEMP. $^{\circ}\text{C}$	ABSOLUTE PRESSURE, kPa											
	1500.0			1600.0			1700.0			1800.0		
	(32.29 $^{\circ}\text{C}$)			(34.86 $^{\circ}\text{C}$)			(37.31 $^{\circ}\text{C}$)			(39.66 $^{\circ}\text{C}$)		
	V	H	S	V	H	S	V	H	S	V	H	S
	(0.0126)	(383.0)	(1.6054)	(0.0117)	(383.8)	(1.6039)	(0.0109)	(384.4)	(1.6024)	(0.0101)	(385.0)	(1.6008)
35	0.0129	386.0	1.6151	0.0117	383.9	1.6044	—	—	—	—	—	—
40	0.0134	391.4	1.6326	0.0122	389.5	1.6225	0.0111	387.5	1.6124	0.0102	385.4	1.6021
45	0.0139	396.8	1.6496	0.0127	395.0	1.6400	0.0116	393.2	1.6304	0.0107	391.3	1.6208

Tabel ini digunakan untuk mencari nilai dari temperatur, tekanan, dan volume spesifik pada titik 2.

Tabel 4.20 Volume spesifik fluida (Vf)

Temperatur °C	volume m ³ /kg
	Liquid (Vf)
6	0,0009
6,6	?
7	0,0009

Tabel ini digunakan untuk interpolasi nilai dari volume spesifik fluida.

Untuk mendapatkan nilai dari v_3 dan s_3 maka di buat lah perhitungan sebagai berikut dengan mengguakan tabel saturasi R404A dan tabel volume spesifik fluida (v_f).

$$x_3 = \frac{h_3 - h_f}{h_g - h_f} = \frac{243,89 \text{ kJ/kg} - 208,47 \text{ kJ/kg}}{384,47 \text{ kJ/kg} - 208,47 \text{ kJ/kg}} = 0,2012$$

$$v_3 = v_f + x_3 (v_g - v_f) = 0,0009 \text{ m}^3 / \text{kg} + 0,2012 (0,0108 \text{ m}^3 / \text{kg} - 0,0009 \text{ m}^3 / \text{kg}) \\ = 0,0028 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

$$s_3 = s_f + x_3 (s_g - s_f) = 1,0306 \text{ kJ/(kg.K)} + 0,2012 (1,6046 \text{ kJ/(kg.K)} - 1,0306 \text{ kJ/(kg.K)}) \\ = 1,1460 \text{ kJ/(kg.k)}$$

Untuk mendapatkan nilai dari v_4 dan s_4 maka di buat lah perhitungan sebagai berikut dengan mengguakan tabel saturasi R404A dan tabel volume spesifik fluida (v_f).

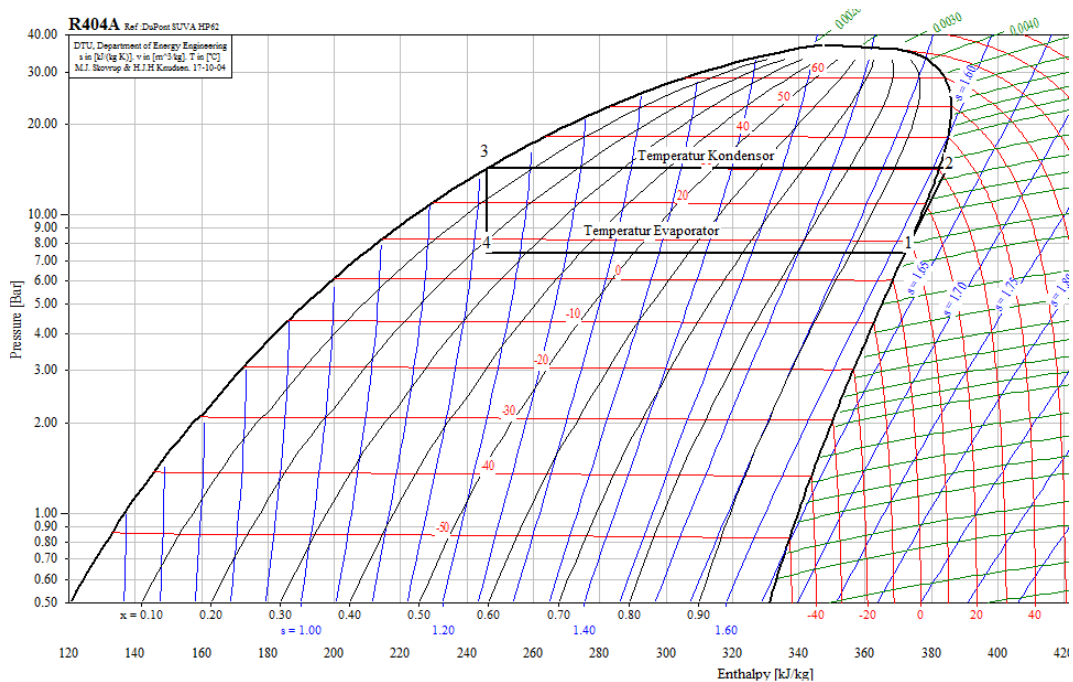
$$x_4 = \frac{h_4 - h_f}{h_g - h_f} = \frac{243,89 \text{ kJ/kg} - 208,47 \text{ kJ/kg}}{367,91 \text{ kJ/kg} - 208,47 \text{ kJ/kg}} = 0,2221$$

$$v_4 = v_f + x_4 (v_g - v_f) = 0,0009 \text{ m}^3 / \text{kg} + 0,2221(0,0266 \text{ m}^3 / \text{kg} - 0,0009 \text{ m}^3 / \text{kg})$$

$$= 0,00660 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

$$s_4 = s_f + x_4 (s_g - s_f) = 1,0306 \text{ kJ/(kg.K)} + 0,2221(1,6046 \text{ kJ/(kg.K)} - 1,0306 \text{ kJ/(kg.K)})$$

$$= 1,1580 \text{ kJ/(kg.k)}$$



Gambar 4.12 diagram p-h T evaporator 6,6⁰C dan kondensor 30,2⁰C

Maka didapatkan hasil dari perhitungan dan interpolasi dengan menggunakan tabel saturasi dan tabel uap superheated, dan hasil data tersebut dapat dijelaskan pada tabel 4.21.

Tabel 4.21 hasil dari interpolasi T evaporator 6,6⁰C dan kondensor 30,2⁰C

No	T, ⁰ C	P, kpa	v, m ³ /kg	h, kj/kg	s, kj/(kg.K)
1	6,6	737,22	0,0266	367,91	1,6022
2	37,60	1712,34	0,0108	384,47	1,6022
3	30,2	1422,22	0,0028	243,89	1,1460
4	6,6	737,22	0,00660	243,89	1,1580

6. Diketahui - Waktu =180 Menit

- T1 (evaporator) = 3,7 ⁰C

- T2 (kondensor) = 33,6 ⁰C



Gambar 4.13 Cetakan Vertikal dengan Te 3,7 ⁰C dan Tc 33,6⁰C

Tabel 4.22 tabel saturasi R404A

Pressure, MPa	Temperature, °C		Density, Volume, kg/m ³ m ³ /kg		Enthalpy, kJ/kg		Entropy, kJ/(kg·K)	
	Bubble	Dew	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor
0.65	2.02	2.52	1142.3	0.03029	202.81	367.06	1.0101	1.6066
0.7	4.42	4.91	1132.9	0.02809	206.18	368.21	1.0222	1.6055
1.5	31.93	32.30	1009.5	0.01236	247.07	378.78	1.1599	1.5914
1.6	34.51	34.87	995.7	0.01146	251.19	379.42	1.1730	1.5896

Tabel ini digunakan untuk mencari nilai dari temperatur, tekanan, enthalpy, entropy, dan volume spesifik pada titik 1, titik 3, dan titik 4.

Tabel 4.23 superheated R404A

ABSOLUTE PRESSURE, kPa												
TEMP. °C	1500.0 (32.29°C)			1600.0 (34.86°C)			1700.0 (37.31°C)			1800.0 (39.66°C)		
	V	H	S	V	H	S	V	H	S	V	H	S
	(0.0126)	(383.0)	(1.6054)	(0.0117)	(383.8)	(1.6039)	(0.0109)	(384.4)	(1.6024)	(0.0101)	(385.0)	(1.6008)
35	0.0129	386.0	1.6151	0.0117	383.9	1.6044	0.0111	387.5	1.6124	0.0102	385.4	1.6021
40	0.0134	391.4	1.6326	0.0122	389.5	1.6225	0.0116	393.2	1.6304	0.0107	391.3	1.6208
45	0.0139	396.8	1.6496	0.0127	395.0	1.6400	0.0116	393.2	1.6304	0.0107	391.3	1.6208

Tabel ini digunakan untuk mencari nilai dari temperatur, tekanan, dan volume spesifik pada titik 2.

Tabel 4.24 Volume spesifik fluida (V_f)

Temperatur °C	volume m ³ /kg
	Liquid (V _f)
3	0,0009
3,7	?
4	0,0009

Tabel ini digunakan untuk interpolasi nilai dari volume spesifik fluida.

Untuk mendapatkan nilai dari v₃ dan s₃ maka di buat lah perhitungan sebagai berikut dengan mengguakan tabel saturasi R404A dan tabel volume spesifik fluida (V_f).

$$x_3 = \frac{h_3 - h_f}{h_g - h_f} = \frac{249,15 \text{ kJ/kg} - 204,47 \text{ kJ/kg}}{385,51 \text{ kJ/kg} - 204,47 \text{ kJ/kg}} = 0,2467$$

$$v_3 = v_f + x_3 (v_g - v_f) = 0,0009 \text{ m}^3 / \text{kg} + 0,2467 (0,0109 \text{ m}^3 / \text{kg} - 0,0009 \text{ m}^3 / \text{kg}) \\ = 0,0033 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

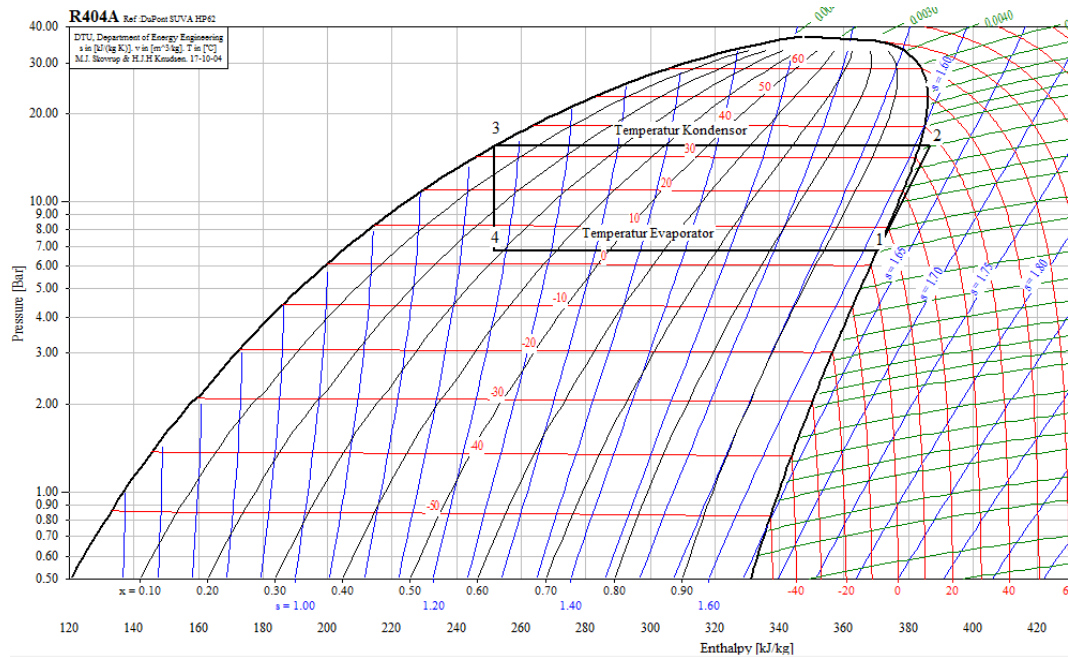
$$s_3 = s_f + x_3 (s_g - s_f) = 1,0160 \text{ kJ/(kg.K)} + 0,2467 (1,6060 \text{ kJ/(kg.K)} - 1,0160 \text{ kJ/(kg.K)}) \\ = 1,1615 \text{ kJ/(kg.k)}$$

Untuk mendapatkan nilai dari v_4 dan s_4 maka di buat lah perhitungan sebagai berikut dengan mengguakan tabel saturasi R404A dan tabel volume spesifik fluida (v_f).

$$x_4 = \frac{h_4 - h_f}{h_g - h_f} = \frac{249,15 \text{ kJ/kg} - 204,47 \text{ kJ/kg}}{367,62 \text{ kJ/kg} - 204,47 \text{ kJ/kg}} = 0,2737$$

$$v_4 = v_f + x_4 (v_g - v_f) = 0,0009 \text{ m}^3 / \text{kg} + 0,2737 (0,0292 \text{ m}^3 / \text{kg} - 0,0009 \text{ m}^3 / \text{kg}) \\ = 0,00864 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

$$s_4 = s_f + x_4 (s_g - s_f) = 1,0160 \text{ kJ/(kg.K)} + 0,2737 (1,6060 \text{ kJ/(kg.K)} - 1,0160 \text{ kJ/(kg.K)}) \\ = 1,1774 \text{ kJ/(kg.k)}$$



Gambar 4.14 diagram p-h T evaporator 3,7°C dan kondensor 33,6 °C

Maka didapatkan hasil dari perhitungan dan interpolasi dengan menggunakan tabel saturasi dan tabel uap superheated, dan hasil data tersebut dapat dijelaskan pada tabel 4.25.

Tabel 4.25 hasil dari interpolasi T evaporator 3,7°C dan kondensor 33,6°C

No	T, °C	P, kpa	v, m ³ /kg	h, kJ/kg	s, kJ/(kg.K)
1	3,7	674,68	0,0292	367,62	1,6060
2	38,27	1740,85	0,0109	385,51	1,6060
3	33,6	1550,58	0,0033	249,15	1,1615
4	3,7	674,68	0,0086	249,15	1,1774

4.3 Hasil penelitian

1. nilai tekanan masuk dan keluar kompresor ditunjukkan pada tabel 4.26

Tabel 4.26 Tekanan masuk (P1) dan keluar kompresor (P2)

No	Waktu (Menit)	P1	P2
		Bar	
1	30	0,811	1,70
2	60	0,799	1,71
3	90	0,787	1,71
4	120	0,782	1,70
5	150	0,737	1,71
6	180	0,674	1,74

2. Nilai temperature masuk dan keluar kompresor

Tabel 4.27 temperature masuk (T1) dan keluar kompresor (T2)

No	Waktu (Menit)	T1	T2
		⁰ C	
1	30	9,8	37,52
2	60	9,3	37,60
3	90	8,8	37,65
4	120	8,6	37,47
5	150	6,6	37,60
6	180	3,7	38,27

3. Nilai temperatur masuk dan keluar kondensor

Tabel 4.28 temperature masuk (T2) dan keluar kondensor (T3)

No	Waktu (Menit)	T2	T3
		⁰ C	
1	30	37,52	30,8
2	60	37,60	30,4
3	90	37,65	29,2
4	120	37,47	29,6
5	150	37,60	30,2
6	180	38,27	33,6

4. Nilai enthalpy

Tabel 4.29 Nilai enthalpy

No	Waktu (Menit)	Enthalpy			
		h1	h 2	h 3	h4
1	30	370,47	384,64	244,70	244,70
2	60	370,25	384,73	244,07	244,07
3	90	370,50	384,80	242,18	242,18
4	120	369,93	384,53	242.81	242.81
5	150	367,91	384,47	243,89	243,89
6	180	367,62	385,51	249,15	249,15

4.4 Perhitungan

1. Energi yang diserap evaporator

Perhitungan energy yang diserap evaporator dapat menggunakan persamaan (2.1) yaitu $Q_{in} = (h_1 - h_4) = (h_1 - h_3)$

Tabel 4.30 Energi yang diserap evaporator

No	Waktu (menit)	h1	h4	Qin (kj/kg)
		Kj/kg		
1	30	370,47	244,70	125,77
2	60	370,25	244,07	126,18
3	90	370,50	242,18	128,32
4	120	369,93	242.81	127,12
5	150	367,91	243,89	124,02
6	180	367,62	249,15	118,47

2. Kerja Kompresor

Dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.2.) yaitu $W_{in} = (h_2 - h_1)$.

Tabel 4.31 kerja kompresor

No	Waktu (menit)	h2	h1	Win (kj/kg)
		Kj/kg		
1	30	384,64	370,47	14,17
2	60	384,73	370,25	14,48
3	90	384,80	370,50	14,30
4	120	384,53	369,93	14,60
5	150	384,47	367,91	16,56
6	180	385,51	367,62	17,89

3. kerja kondensor

Dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.3.) yaitu $Q_{out} = (h_2 - h_3)$.

Tabel 4.32 kerja kondensor

No	Waktu (menit)	h_2 Kj/kg	h_3 Kj/kg	Q_{out} (kj/kg)
1	30	384,64	244,70	139,94
2	60	384,73	244,07	140,66
3	90	384,80	242,18	142,62
4	120	384,53	242,81	141,72
5	150	384,47	243,89	140,58
6	180	385,51	249,15	136,51

4. Koefisien prestasi (COP)

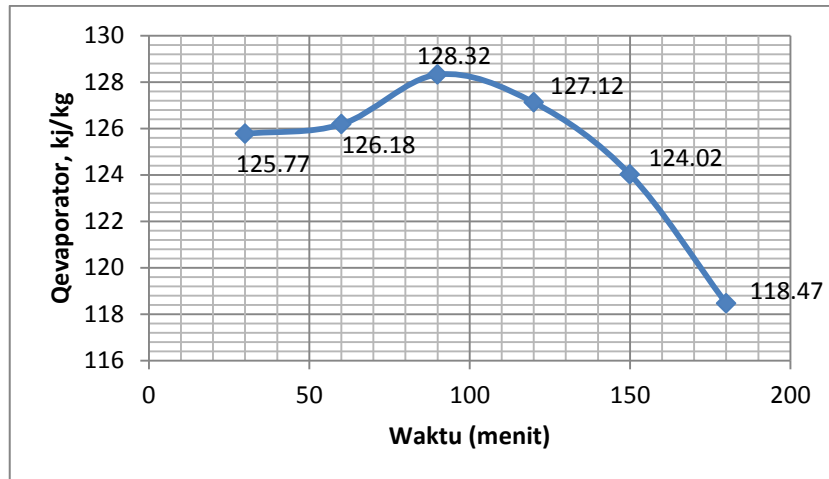
Dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.4) yaitu: $COP = (Q_{in}/W_{in})$.

Tabel 4.33 COP

No	Waktu (menit)	Q_{in} Kj/kg	W_{in} Kj/kg	COP
1	30	125,77	14,17	8,87
2	60	126,18	14,48	8,71
3	90	128,32	14,30	8,97
4	120	127,12	14,60	8,70
5	150	124,02	16,56	7,48
6	180	118,47	17,89	6,62

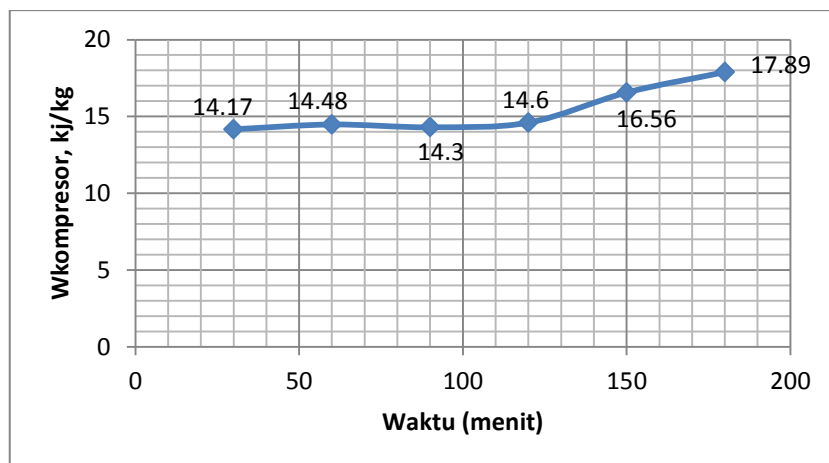
4.5 Pembahasan

Dari hasil analisa data cetakan vertical (air mengalir) yang telah diselesaikan maka dibuatlah grafik perbandingan waktu dan energi yang diserap evaporator, yang dimana pada menit 30 sampai 180 terjadi kenaikan dan penurunan hasil tersebut. Tercatat hasil energi yang diserap evaporator tertinggi adalah pada menit 90 yaitu sekitar 128,32 kj/kg dan yang hasil paling terendah tercatat pada menit 180 yaitu sekitar 118,47.



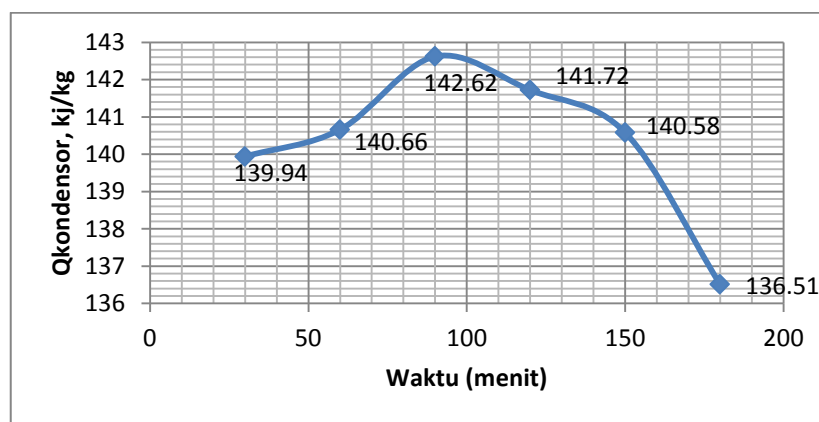
Gambar 4.15 grafik energi yang diserap evaporator

Dari hasil analisa data cetakan vertical (air mengalir) yang telah diselesaikan maka dibuatlah grafik perbandingan waktu dan kerja kompresor, yang dimana pada menit 30 sampai 180 terjadi kenaikan dan penurunan hasil kerja kompresor tersebut. Tercatat hasil kerja kompresor yang tertinggi adalah pada menit 180 yaitu sekitar 17,89 kJ/kg dan yang hasil paling terendah tercatat pada menit 90 yaitu sekitar 14,3 kJ/kg.



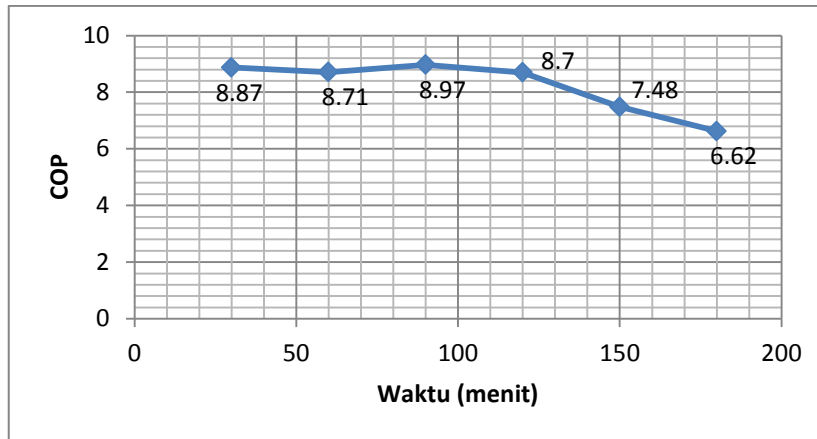
Gambar 4.16 grafik kerja kompresor

Dari hasil analisa data cetakan vertical (air mengalir) yang telah diselesaikan maka dibuatlah grafik perbandingan waktu dan kerja kondensor, yang dimana pada menit 30 sampai 180 terjadi kenaikan dan penurunan hasil kerja kondensor tersebut. Tercatat hasil kerja kondensor yang tertinggi adalah pada menit 90 yaitu sekitar 142,62 kj/kg dan yang hasil paling terendah tercatat pada menit 180 yaitu sekitar 136,51 kj/kg.



Gambar 4.17 kerja kondensor

Dari hasil analisa data cetakan vertical (air mengalir) yang telah diselesaikan maka dibuatlah grafik perbandingan waktu dan COP, yang dimana pada menit 30 sampai 180 terjadi kenaikan dan penurunan hasil COP tersebut. Tercatat hasil COP yang tertinggi adalah pada menit 90 yaitu sekitar 8,97 dan yang hasil paling terendah tercatat pada menit 180 yaitu sekitar 6,62.



Gambar 4.18 grafik Nilai COP

4.6 Percobaan kedua (air diam)

Tabel 4.34 Percobaan dengan cetakan horizontal (air diam)

Waktu (menit)	Evaporator ($^{\circ}\text{C}$)	Kondensor ($^{\circ}\text{C}$)
30	- 0,9	34,9
60	- 1,1	36,2
90	- 2,9	37,2
120	- 5,3	38
150	- 9,8	35,3
180	- 10,0	37,3

1. Diketahui - Waktu = 30 Menit

- T1 (evaporator) = $-0,9^{\circ}\text{C}$

- T2 (kondensor) = $34,9^{\circ}\text{C}$



Gambar 4.19 Cetakan Horizontal dengan $T_e -0,9^{\circ}\text{C}$ dan $T_c 34,9^{\circ}\text{C}$

Tabel 4.35 tabel saturasi R404A

Pres- sure, MPa	Temperature, $^{\circ}\text{C}$		Density, Volume, kg/m^3 m^3/kg		Enthalpy, kJ/kg		Entropy, $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$	
	Bubble	Dew	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor
0.55	-3.24	-2.72	1162.3	0.03584	195.51	364.45	0.9837	1.6091
0.6	-0.53	-0.02	1152.0	0.03284	199.26	365.81	0.9973	1.6078
1.6	34.51	34.87	995.7	0.01146	251.19	379.42	1.1730	1.5896
1.7	36.97	37.32	982.1	0.01066	255.17	379.95	1.1856	1.5878

Tabel ini digunakan untuk mencari nilai dari temperatur, tekanan, enthalpy, entropy, dan volume spesifik pada titik 1, titik 3, dan titik 4.

Tabel 4.36 superheated R404A

TEMP. $^{\circ}\text{C}$	ABSOLUTE PRESSURE, kPa											
	1500.0			1600.0			1700.0			1800.0		
	(32.29 $^{\circ}\text{C}$)			(34.86 $^{\circ}\text{C}$)			(37.31 $^{\circ}\text{C}$)			(39.66 $^{\circ}\text{C}$)		
	V	H	S	V	H	S	V	H	S	V	H	S
	(0.0126)	(383.0)	(1.6054)	(0.0117)	(383.8)	(1.6039)	(0.0109)	(384.4)	(1.6024)	(0.0101)	(385.0)	(1.6008)
35	0.0129	386.0	1.6151	0.0117	383.9	1.6044	—	—	—	—	—	—
40	0.0134	391.4	1.6326	0.0122	389.5	1.6225	0.0111	387.5	1.6124	0.0102	385.4	1.6021
45	0.0139	396.8	1.6496	0.0127	395.0	1.6400	0.0116	393.2	1.6304	0.0107	391.3	1.6208

Tabel ini digunakan untuk mencari nilai dari temperatur, tekanan, dan volume spesifik pada titik 2.

Tabel 4.37 Volume spesifik fluida (v_f)

Temperatur $^{\circ}\text{C}$	volume m^3/kg
	Liquid (v_f)
-1	0,0009
-0,9	?
0	0,0009

Tabel ini digunakan untuk interpolasi nilai dari volume spesifik fluida.

Untuk mendapatkan nilai dari v_3 dan s_3 maka di buat lah perhitungan sebagai berikut dengan mengguakan tabel saturasi R404A dan tabel volume spesifik fluida (v_f).

$$x_3 = \frac{h_3 - h_f}{h_g - h_f} = \frac{242,86 \text{ kJ/kg} - 198,03 \text{ kJ/kg}}{386,19 \text{ kJ/kg} - 198,03 \text{ kJ/kg}} = 0,2382$$

$$v_3 = v_f + x_3 (v_g - v_f) = 0,0009 \text{ m}^3 / \text{kg} + 0,2382 (0,0110 \text{ m}^3 / \text{kg} - 0,0009 \text{ m}^3 / \text{kg}) \\ = 0,0033 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

$$s_3 = s_f + x_3 (s_g - s_f) = 0,9928 \text{ kJ}/(\text{kg.K}) + 0,2382 (1,6082 \text{ kJ}/(\text{kg.K}) - 0,9928 \text{ kJ}/(\text{kg.K})) \\ = 1,1393 \text{ kJ}/(\text{kg.k})$$

Untuk mendapatkan nilai dari v_4 dan s_4 maka di buat lah perhitungan sebagai berikut dengan mengguakan tabel saturasi R404A dan tabel volume spesifik fluida (v_f).

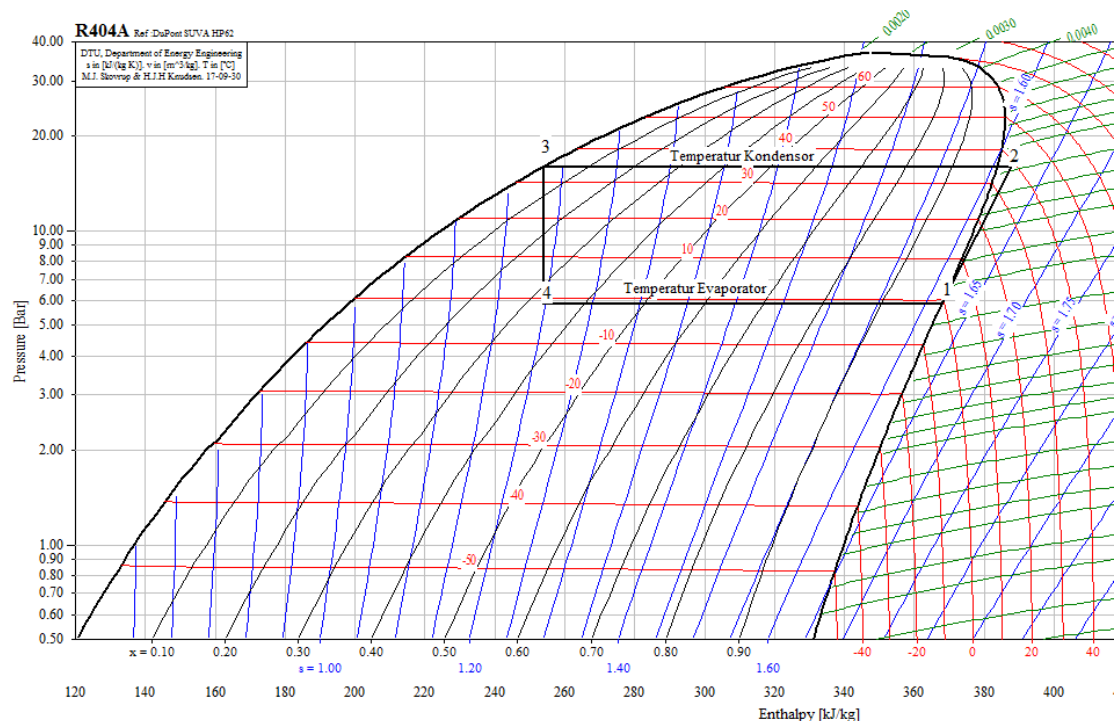
$$x_4 = \frac{h_4 - h_f}{h_g - h_f} = \frac{242,86 \text{ kJ/kg} - 198,03 \text{ kJ/kg}}{365,36 \text{ kJ/kg} - 198,03 \text{ kJ/kg}} = 0,2679$$

$$v_4 = v_f + x_4 (v_g - v_f) = 0,0009 \text{ m}^3 / \text{kg} + 0,2679 (0,03381 \text{ m}^3 / \text{kg} - 0,0009 \text{ m}^3 / \text{kg})$$

$$= 0,0097 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

$$s_4 = s_f + x_4 (s_g - s_f) = 0,9928 \text{ kJ}/(\text{kg.K}) + 0,2679 (1,6082 \text{ kJ}/(\text{kg.K}) - 0,9928 \text{ kJ}/(\text{kg.K}))$$

$$= 1,1576 \text{ kJ}/(\text{kg.k})$$



Gambar 4.20 diagram p-h T evaporator $-0,9^{\circ}\text{C}$ dan kondensor $34,9^{\circ}\text{C}$

Maka didapatkan hasil dari perhitungan dan interpolasi dengan menggunakan tabel saturasi dan tabel uap superheated, dan hasil data tersebut dapat dijelaskan pada tabel 4.38.

Tabel 4.38 hasil dari interpolasi T evaporator $-0,9^{\circ}\text{C}$ dan kondensor $34,9^{\circ}\text{C}$

No	T, $^{\circ}\text{C}$	P, kpa	v, m^3/kg	h, kJ/kg	s, kJ/(kg.K)
1	-0,9	583,70	0,03381	365,36	1,6082
2	38,87	1766,38	0,0110	386,19	1,6082
3	34,9	1601,22	0,0033	242,86	1,1393
4	-0,9	583,70	0,0097	242,86	1,1576

2. Diketahui - Waktu = 60 Menit

- T1 (evaporator) = $-1,1^{\circ}\text{C}$

- T2 (kondensor) = $36,2^{\circ}\text{C}$



Gambar 4.21 Cetakan Horizontal dengan $T_e -1,1^{\circ}\text{C}$ dan $T_c 36,2^{\circ}\text{C}$

Tabel 4.39 tabel saturasi R404A

Pres- sure, MPa	Temperature, °C		Density, Volume, kg/m ³ m ³ /kg		Enthalpy, kJ/kg		Entropy, kJ/(kg·K)	
	Bubble	Dew	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor
0.55	-3.24	-2.72	1162.3	0.03584	195.51	364.45	0.9837	1.6091
0.6	-0.53	-0.02	1152.0	0.03284	199.26	365.81	0.9973	1.6078
1.6	34.51	34.87	995.7	0.01146	251.19	379.42	1.1730	1.5896
1.7	36.97	37.32	982.1	0.01066	255.17	379.95	1.1856	1.5878

Tabel ini digunakan untuk mencari nilai dari temperatur, tekanan, enthalpy, entropy, dan volume spesifik pada titik 1, titik 3, dan titik 4.

Tabel 4.40 superheated R404A

TEMP. °C	ABSOLUTE PRESSURE, kPa											
	1500.0 (32.29°C)			1600.0 (34.86°C)			1700.0 (37.31°C)			1800.0 (39.66°C)		
	V	H	S	V	H	S	V	H	S	V	H	S
	(0.0126)	(383.0)	(1.6054)	(0.0117)	(383.8)	(1.6039)	(0.0109)	(384.4)	(1.6024)	(0.0101)	(385.0)	(1.6008)
35	0.0129	386.0	1.6151	0.0117	383.9	1.6044	—	—	—	0.0102	385.4	1.6021
40	0.0134	391.4	1.6326	0.0122	389.5	1.6226	0.0111	387.5	1.6124	0.0107	391.3	1.6208
45	0.0139	396.8	1.6496	0.0127	395.0	1.6400	0.0116	393.2	1.6304	0.0107	391.3	1.6208

Tabel ini digunakan untuk mencari nilai dari temperatur, tekanan, dan volume spesifik pada titik 2.

Tabel 4.41 Volume spesifik fluida (Vf)

Temperatur °C	volume m ³ /kg
	Liquid (Vf)
-2	0,0009
-1,1	?
-1	0,0009

Tabel ini digunakan untuk interpolasi nilai dari volume spesifik fluida.

Untuk mendapatkan nilai dari v_3 dan s_3 maka di buat lah perhitungan sebagai berikut dengan mengguakan tabel saturasi R404A dan tabel volume spesifik fluida (v_f).

$$x_3 = \frac{h_3 - h_f}{h_g - h_f} = \frac{253,35 \text{ kJ/kg} - 197,76 \text{ kJ/kg}}{386,22 \text{ kJ/kg} - 197,76 \text{ kJ/kg}} = 0,2949$$

$$v_3 = v_f + x_3 (v_g - v_f) = 0,0009 \text{ m}^3 / \text{kg} + 0,2949 \cdot (0,0110 \text{ m}^3 / \text{kg} - 0,0009 \text{ m}^3 / \text{kg}) \\ = 0,0038 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

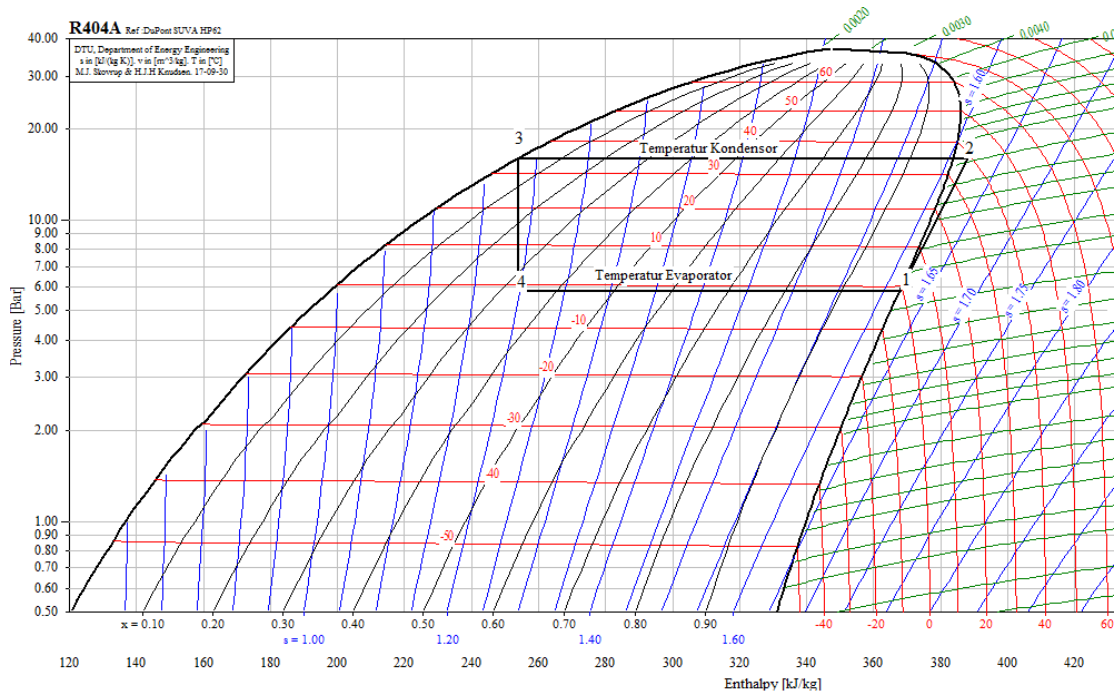
$$s_3 = s_f + x_3 (s_g - s_f) = 0,9918 \text{ kJ/(kg.K)} + 0,2949 (1,6083 \text{ kJ/(kg.K)} - 0,9918 \text{ kJ/(kg.K)}) \\ = 1,1736 \text{ kJ/(kg.K)}$$

Untuk mendapatkan nilai dari v_4 dan s_4 maka di buat lah perhitungan sebagai berikut dengan mengguakan tabel saturasi R404A dan tabel volume spesifik fluida (v_f).

$$x_4 = \frac{h_4 - h_f}{h_g - h_f} = \frac{253,35 \text{ kJ/kg} - 197,76 \text{ kJ/kg}}{365,26 \text{ kJ/kg} - 197,76 \text{ kJ/kg}} = 0,3318$$

$$v_4 = v_f + x_4 (v_g - v_f) = 0,0009 \text{ m}^3 / \text{kg} + 0,3318 \cdot (0,03404 \text{ m}^3 / \text{kg} - 0,0009 \text{ m}^3 / \text{kg}) \\ = 0,01189 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

$$s_4 = s_f + x_4 (s_g - s_f) = 0,9918 \text{ kJ/(kg.K)} + 0,3318 (1,6083 \text{ kJ/(kg.K)} - 0,9918 \text{ kJ/(kg.K)}) \\ = 1,1993 \text{ kJ/(kg.K)}$$



Gambar 4.22 diagram p-h T evaporator $-1,1^{\circ}\text{C}$ dan kondensor $36,2^{\circ}\text{C}$

Maka didapatkan hasil dari perhitungan dan interpolasi dengan menggunakan tabel saturasi dan tabel uap superheated, dan hasil data tersebut dapat dijelaskan pada tabel 4.42.

Tabel 4.42 hasil dari interpolasi T evaporator $-1,1^{\circ}\text{C}$ dan kondensor $36,2^{\circ}\text{C}$

No	T, $^{\circ}\text{C}$	P, kpa	v, m^3/kg	h, kJ/kg	s, kJ/(kg.K)
1	-1,1	580	0,03404	365,26	1,6083
2	38,89	1767,23	0,0110	386,22	1,6083
3	36,2	1654,28	0,0036	253,35	1,1736
4	-1,1	580	0,0118	253,35	1,1993

3. Diketahui - Waktu = 90 Menit

- T1 (evaporator) = $-2,9^{\circ}\text{C}$

- T2 (kondensor) = $37,2^{\circ}\text{C}$



Gambar 4.23 Cetakan Horizontal dengan $T_e -2,9^{\circ}\text{C}$ dan $T_c 37,2^{\circ}\text{C}$

Tabel 4.43 tabel saturasi R404A

Pressure, MPa	Temperature, $^{\circ}\text{C}$		Density, Volume, kg/m^3 m^3/kg		Enthalpy, kJ/kg		Entropy, $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$	
	Bubble	Dew	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor
0.5	-6.15	-5.61	1173.0	0.03940	191.53	362.96	0.9690	1.6105
0.55	-3.24	-2.72	1162.3	0.03584	195.51	364.45	0.9837	1.6091
1.6	34.51	34.87	995.7	0.01146	251.19	379.42	1.1730	1.5896
1.7	36.97	37.32	982.1	0.01066	255.17	379.95	1.1856	1.5878

Tabel ini digunakan untuk mencari nilai dari temperatur, tekanan, enthalpy, entropy, dan volume spesifik pada titik 1, titik 3, dan titik 4.

Tabel 4.44 superheated R404A

TEMP. $^{\circ}\text{C}$	ABSOLUTE PRESSURE, kPa											
	1500.0			1600.0			1700.0			1800.0		
	(32.29 $^{\circ}\text{C}$)			(34.86 $^{\circ}\text{C}$)			(37.31 $^{\circ}\text{C}$)			(39.66 $^{\circ}\text{C}$)		
	V	H	S	V	H	S	V	H	S	V	H	S
	(0.0126)	(383.0)	(1.6054)	(0.0117)	(383.8)	(1.6039)	(0.0109)	(384.4)	(1.6024)	(0.0101)	(385.0)	(1.6008)
35	0.0129	386.0	1.6151	0.0117	383.9	1.6044	—	—	—	—	—	—
40	0.0134	391.4	1.6326	0.0122	389.5	1.6225	0.0111	387.5	1.6124	0.0102	385.4	1.6021
45	0.0139	396.8	1.6496	0.0127	395.0	1.6400	0.0116	393.2	1.6304	0.0107	391.3	1.6208

Tabel ini digunakan untuk mencari nilai dari temperatur, tekanan, dan volume spesifik pada titik 2.

Tabel 4.45 Volume spesifik fluida (v_f)

Temperatur $^{\circ}\text{C}$	volume m^3/kg
	Liquid (v_f)
-3	0,0009
-2,9	?
-2	0,0009

Tabel ini digunakan untuk interpolasi nilai dari volume spesifik fluida.

Untuk mendapatkan nilai dari v_3 dan s_3 maka di buat lah perhitungan sebagai berikut dengan mengguakan tabel saturasi R404A dan tabel volume spesifik fluida (v_f).

$$x_3 = \frac{h_3 - h_f}{h_g - h_f} = \frac{254,97 \text{ kJ/kg} - 195,26 \text{ kJ/kg}}{386,47 \text{ kJ/kg} - 195,26 \text{ kJ/kg}} = 0,3122$$

$$v_3 = v_f + x_3 (v_g - v_f) = 0,0009 \text{ m}^3 / \text{kg} + 0,3122 (0,0110 \text{ m}^3 / \text{kg} - 0,0009 \text{ m}^3 / \text{kg}) \\ = 0,0040 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

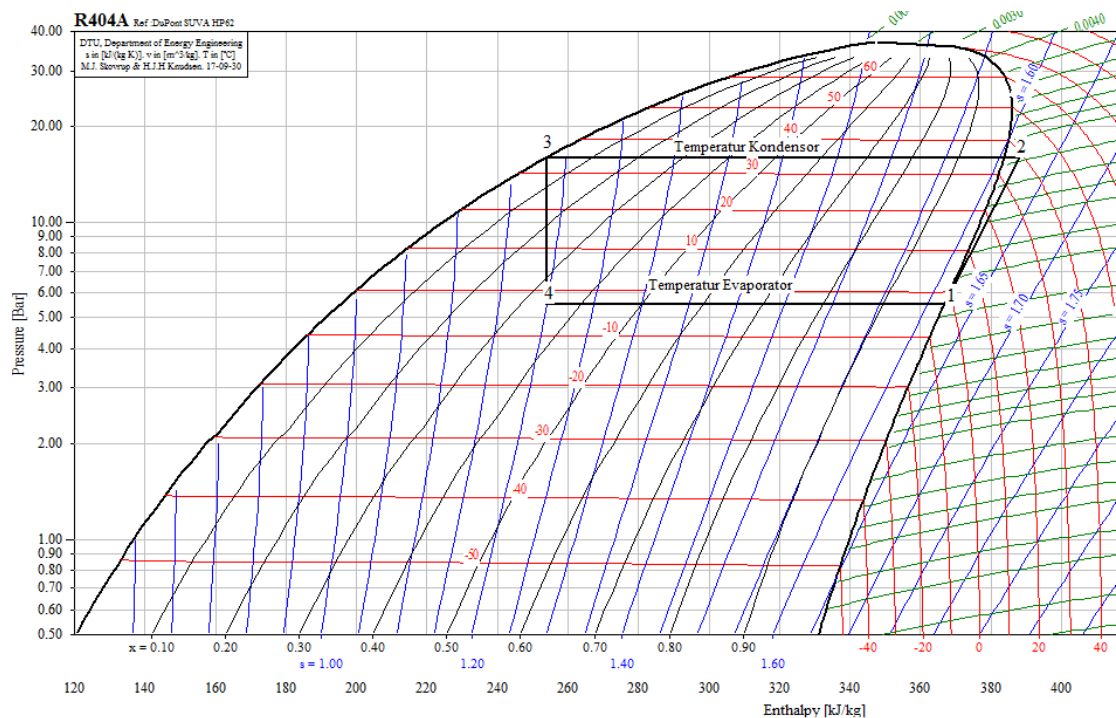
$$s_3 = s_f + x_3 (s_g - s_f) = 0,9827 \text{ kJ}/(\text{kg.K}) + 0,3122 (1,6091 \text{ kJ}/(\text{kg.K}) - 0,9827 \text{ kJ}/(\text{kg.K})) \\ = 1,1784 \text{ kJ}/(\text{kg.k})$$

Untuk mendapatkan nilai dari v_4 dan s_4 maka di buat lah perhitungan sebagai berikut dengan mengguakan tabel saturasi R404A dan tabel volume spesifik fluida (v_f).

$$x_4 = \frac{h_4 - h_f}{h_g - h_f} = \frac{254,97 \text{ kJ/kg} - 195,26 \text{ kJ/kg}}{364,35 \text{ kJ/kg} - 195,26 \text{ kJ/kg}} = 0,3531$$

$$v_4 = v_f + x_4 (v_g - v_f) = 0,0009 \text{ m}^3 / \text{kg} + 0,3531 (0,0360 \text{ m}^3 / \text{kg} - 0,0009 \text{ m}^3 / \text{kg}) = 0,0132 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

$$s_4 = s_f + x_4 (s_g - s_f) = 0,9827 \text{ kJ/(kg.K)} + 0,3531 (1,6091 \text{ kJ/(kg.K)} - 0,9827 \text{ kJ/(kg.K)}) = 1,2038 \text{ kJ/(kg.k)}$$



Gambar 4.24 diagram p-h T evaporator $-2,9^{\circ}\text{C}$ dan kondensor $37,2^{\circ}\text{C}$

Maka didapatkan hasil dari perhitungan dan interpolasi dengan menggunakan tabel saturasi dan tabel uap superheated, dan hasil data tersebut dapat dijelaskan pada tabel 4.46.

Tabel 4.46 hasil dari interpolasi T evaporator $-2,9^{\circ}\text{C}$ dan kondensor $37,2^{\circ}\text{C}$

No	T, $^{\circ}\text{C}$	P, kpa	v, m^3/kg	h, kJ/kg	s, $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
1	-2,9	546,88	0,0360	364,35	1,6091
2	39,11	1776,59	0,0110	386,47	1,6091
3	37,2	1693,77	0,0040	254,97	1,1784
4	-2,9	546,88	0,0132	254,97	1,2038

4. Diketahui - Waktu = 120 Menit

- T1 (evaporator) = $-5,3^{\circ}\text{C}$

- T2 (kondensor) = 38°C



Gambar 4.25 Cetakan Horizontal $T_e -5,3^{\circ}\text{C}$ dan $T_c 38^{\circ}\text{C}$

Tabel 4.47 tabel saturasi R404A

Pressure, MPa	Temperature, °C		Density, Volume, kg/m ³ m ³ /kg		Enthalpy, kJ/kg		Entropy, kJ/(kg·K)	
	Bubble	Dew	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor
0.5	-6.15	-5.61	1173.0	0.03940	191.53	362.96	0.9690	1.6105
0.55	-3.24	-2.72	1162.3	0.03584	195.51	364.45	0.9837	1.6091
1.7	36.97	37.32	982.1	0.01066	255.17	379.95	1.1856	1.5878
1.8	39.33	39.67	968.6	0.00994	259.05	380.38	1.1977	1.5858

Tabel ini digunakan untuk mencari nilai dari temperatur, tekanan, enthalpy, entropy, dan volume spesifik pada titik 1, titik 3, dan titik 4.

Tabel 4.48 superheated R404A

TEMP. °C	ABSOLUTE PRESSURE, kPa											
	1500.0			1600.0			1700.0			1800.0		
	(32.29°C)			(34.86°C)			(37.31°C)			(39.66°C)		
	V	H	S	V	H	S	V	H	S	V	H	S
	(0.0126)	(383.0)	(1.6054)	(0.0117)	(383.8)	(1.6039)	(0.0109)	(384.4)	(1.6024)	(0.0101)	(385.0)	(1.6008)
35	0.0129	386.0	1.6151	0.0117	383.9	1.6044	0.0111	387.5	1.6124	0.0102	385.4	1.6021
40	0.0134	391.4	1.6326	0.0122	389.5	1.6225	0.0116	393.2	1.6304	0.0107	391.3	1.6208
45	0.0139	396.8	1.6496	0.0127	395.0	1.6400						

Tabel ini digunakan untuk mencari nilai dari temperatur, tekanan, dan volume spesifik pada titik 2.

Tabel 4.49 Volume spesifik fluida (Vf)

Temperatur °C	volume m ³ /kg
	Liquid (Vf)
-6	0,0009
-5,3	?
-5	0,0009

Tabel ini digunakan untuk interpolasi nilai dari volume spesifik fluida.

Untuk mendapatkan nilai dari v_3 dan s_3 maka di buat lah perhitungan sebagai berikut dengan mengguakan tabel saturasi R404A dan tabel volume spesifik fluida (v_f).

$$x_3 = \frac{h_3 - h_f}{h_g - h_f} = \frac{256,29 \text{ kJ/kg} - 191,95 \text{ kJ/kg}}{384,4 \text{ kJ/kg} - 191,95 \text{ kJ/kg}} = 0,3343$$

$$v_3 = v_f + x_3 (v_g - v_f) = 0,0009 \text{ m}^3 / \text{kg} + 0,3343 (0,0109 \text{ m}^3 / \text{kg} - 0,0009 \text{ m}^3 / \text{kg}) \\ = 0,0042 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

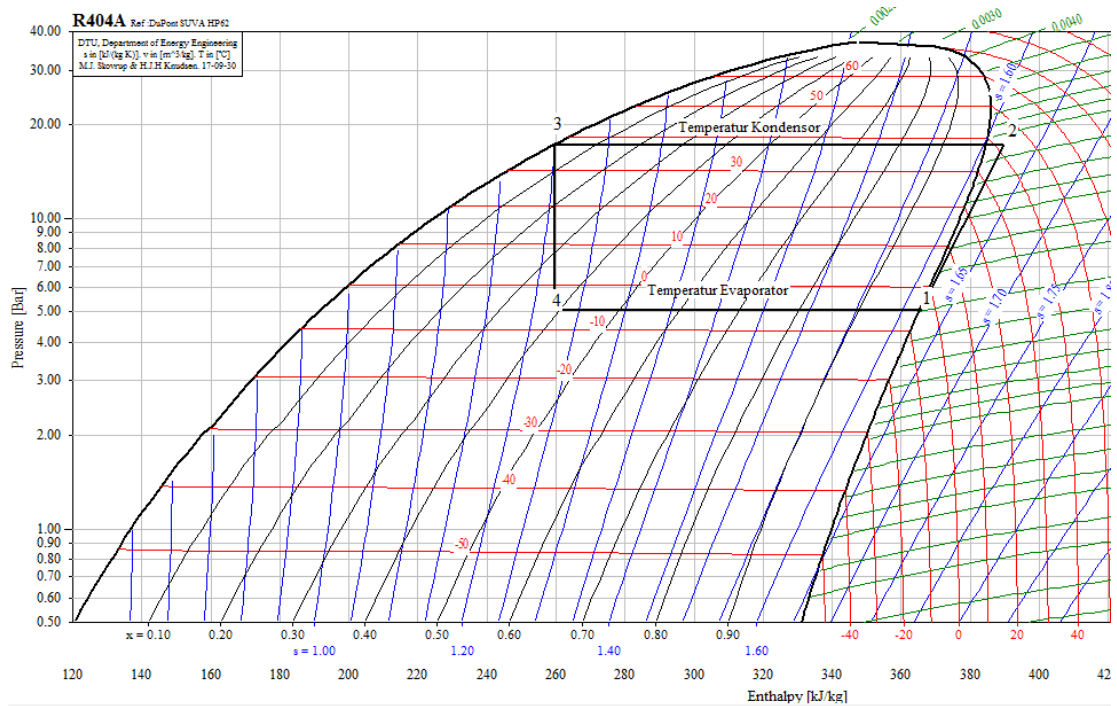
$$s_3 = s_f + x_3 (s_g - s_f) = 0,9705 \text{ kJ/(kg.K)} + 0,3343 (1,6103 \text{ kJ/(kg.K)} - 0,9705 \text{ kJ/(kg.K)}) \\ = 1,1843 \text{ kJ/(kg.k)}$$

Untuk mendapatkan nilai dari v_4 dan s_4 maka di buat lah perhitungan sebagai berikut dengan mengguakan tabel saturasi R404A dan tabel volume spesifik fluida (v_f).

$$x_4 = \frac{h_4 - h_f}{h_g - h_f} = \frac{256,29 \text{ kJ/kg} - 191,95 \text{ kJ/kg}}{363,26 \text{ kJ/kg} - 191,95 \text{ kJ/kg}} = 0,3755$$

$$v_4 = v_f + x_4 (v_g - v_f) = 0,0009 \text{ m}^3 / \text{kg} + 0,3755 (0,0390 \text{ m}^3 / \text{kg} - 0,0009 \text{ m}^3 / \text{kg}) \\ = 0,0152 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

$$s_4 = s_f + x_4 (s_g - s_f) = 0,9705 \text{ kJ/(kg.K)} + 0,3755 (1,6103 \text{ kJ/(kg.K)} - 0,9705 \text{ kJ/(kg.K)}) \\ = 1,2107 \text{ kJ/(kg.k)}$$



Gambar 4.26 diagram p-h T evaporator $-5,3^{\circ}\text{C}$ dan kondensor 38°C

Maka didapatkan hasil dari perhitungan dan interpolasi dengan menggunakan tabel saturasi dan tabel uap superheated, dan hasil data tersebut dapat dijelaskan pada tabel 4.50.

Tabel 4.50 hasil dari interpolasi T evaporator $-5,3^{\circ}\text{C}$ dan kondensor 38°C

No	T, $^{\circ}\text{C}$	P, kpa	v, m^3/kg	h, kJ/kg	s, kJ/(kg.K)
1	-5,3	505,36	0,0390	363,26	1,6103
2	37,31	1700	0,0109	384,4	1,6103
3	38	1728,93	0,0042	256,29	1,1843
4	-5,3	505,36	0,0152	256,29	1,2107

5. Diketahui - Waktu = 150 Menit

- T1 (evaporator) = $-9,8^{\circ}\text{C}$

- T2 (kondensor) = $35,3^{\circ}\text{C}$



Gambar 4.27 Cetakan Horizontal dengan $T_e -9,8^{\circ}\text{C}$ dan $T_c 35,3^{\circ}\text{C}$

Tabel 4.51 tabel saturasi R404A

Pressure, MPa	Temperature, $^{\circ}\text{C}$		Density, Volume, kg/m^3 m^3/kg		Enthalpy, kJ/kg		Entropy, $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$	
	Bubble	Dew	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor
0.42	-11.29	-10.73	1191.6	0.04680	184.56	360.26	0.9429	1.6133
0.44	-9.94	-9.39	1186.7	0.04471	186.38	360.98	0.9498	1.6125
1.6	34.51	34.87	995.7	0.01146	251.19	379.42	1.1730	1.5896
1.7	36.97	37.32	982.1	0.01066	255.17	379.95	1.1856	1.5878

Tabel ini digunakan untuk mencari nilai dari temperatur, tekanan, enthalpy, entropy, dan volume spesifik pada titik 1, titik 3, dan titik 4.

Tabel 4.52 superheated R404A

ABSOLUTE PRESSURE, kPa												
TEMP. °C	1500.0			1600.0			1700.0			1800.0		
	(32.29°C)			(34.86°C)			(37.31°C)			(39.66°C)		
	V	H	S	V	H	S	V	H	S	V	H	S
	(0.0126)	(383.0)	(1.6054)	(0.0117)	(383.8)	(1.6039)	(0.0109)	(384.4)	(1.6024)	(0.0101)	(385.0)	(1.6008)
35	0.0129	386.0	1.6151	0.0117	383.9	1.6044	—	—	—	—	—	—
40	0.0134	391.4	1.6326	0.0122	389.5	1.6225	0.0111	387.5	1.6124	0.0102	385.4	1.6021
45	0.0139	396.8	1.6496	0.0127	395.0	1.6400	0.0116	393.2	1.6304	0.0107	391.3	1.6208

Tabel ini digunakan untuk mencari nilai dari temperatur, tekanan, dan volume spesifik pada titik 2.

Tabel 4.53 Volume spesifik fluida (V_f)

Temperatur °C	volume m^3/kg
	Liquid (V_f)
-10	0,0008
-9,8	?
-9	0,0008

Tabel ini digunakan untuk interpolasi nilai dari volume spesifik fluida.

Untuk mendapatkan nilai dari v_3 dan s_3 maka di buat lah perhitungan sebagai berikut dengan menggunakan tabel saturasi R404A dan tabel volume spesifik fluida (V_f).

$$x_3 = \frac{h_3 - h_f}{h_g - h_f} = \frac{251,88 \text{ kJ/kg} - 185,82 \text{ kJ/kg}}{388,10 \text{ kJ/kg} - 185,82 \text{ kJ/kg}} = 0,3265$$

$$v_3 = v_f + x_3 (v_g - v_f) = 0,0008 \text{ m}^3 / \text{kg} + 0,3265 (0,0120 \text{ m}^3 / \text{kg} - 0,0008 \text{ m}^3 / \text{kg}) = 0,0044 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

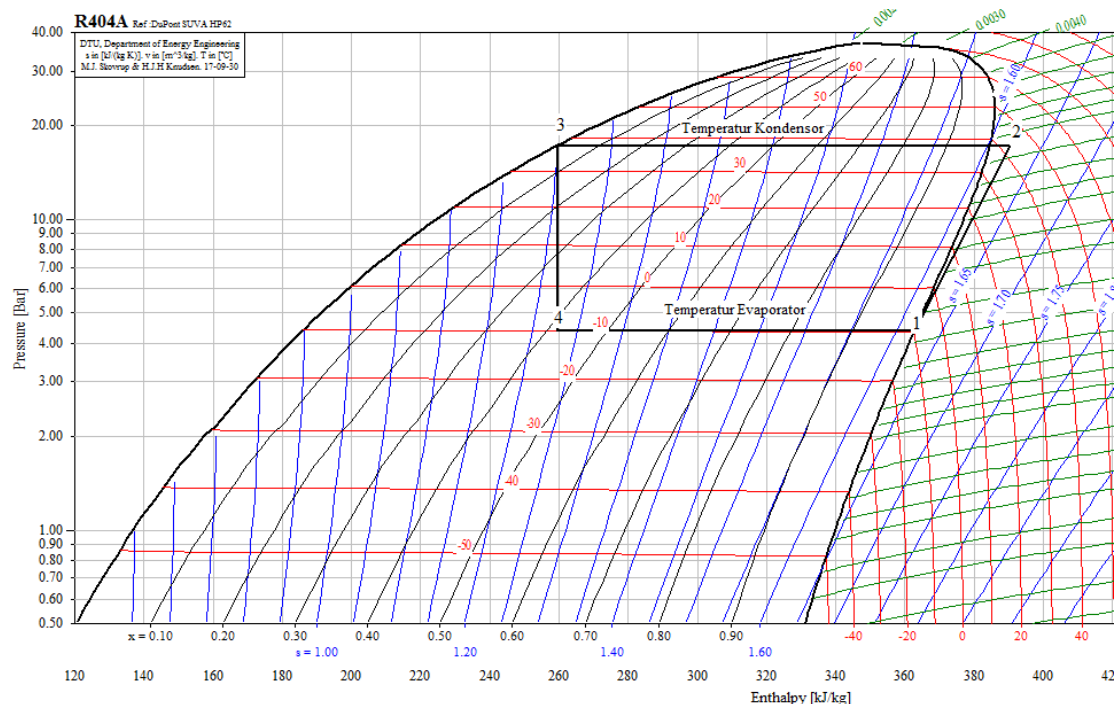
$$s_3 = s_f + x_3 (s_g - s_f) = 0,9476 \text{ kJ/(kg.K)} + 0,3265 (1,6180 \text{ kJ/(kg.K)} - 0,9476 \text{ kJ/(kg.K)}) = 1,1664 \text{ kJ/(kg.k)}$$

Untuk mendapatkan nilai dari v_4 dan s_4 maka di buat lah perhitungan sebagai berikut dengan mengguakan tabel saturasi R404A dan tabel volume spesifik fluida (v_f).

$$x_4 = \frac{h_4 - h_f}{h_g - h_f} = \frac{251,88 \text{ kJ/kg} - 185,82 \text{ kJ/kg}}{361,45 \text{ kJ/kg} - 185,82 \text{ kJ/kg}} = 0,3761$$

$$v_4 = v_f + x_4 (v_g - v_f) = 0,0008 \text{ m}^3 / \text{kg} + 0,3761 (0,0453 \text{ m}^3 / \text{kg} - 0,0008 \text{ m}^3 / \text{kg}) = 0,0175 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

$$s_4 = s_f + x_4 (s_g - s_f) = 0,9476 \text{ kJ}/(\text{kg.K}) + 0,3761 (1,6180 \text{ kJ}/(\text{kg.K}) - 0,9476 \text{ kJ}/(\text{kg.K})) = 1,1997 \text{ kJ}/(\text{kg.k})$$



Gambar 4.28 diagram p-h T evaporator $-9,8^{\circ}\text{C}$ dan kondensor $35,3^{\circ}\text{C}$

Maka didapatkan hasil dari perhitungan dan interpolasi dengan menggunakan tabel saturasi dan tabel uap superheated, dan hasil data tersebut dapat dijelaskan pada tabel 4.54.

Tabel 4.54 hasil dari interpolasi T evaporator $-9,8^{\circ}\text{C}$ dan kondensor $35,3^{\circ}\text{C}$

No	T, $^{\circ}\text{C}$	P, kpa	v, m^3/kg	h, kJ/kg	s, kJ/(kg.K)
1	-9,8	433,88	0,0453	361,45	1,6180
2	38,75	1761,27	0,0120	388,10	1,6180
3	35,3	1627,55	0,0133	251,88	1,1752
4	-9,8	433,88	0,0175	251,88	1,1997

6. Diketahui - Waktu = 180 Menit

- T1 (evaporator) = -10°C

- T2 (kondensor) = $37,3^{\circ}\text{C}$



Gambar 4.29 Cetakan Horizontal dengan $T_e -10^{\circ}\text{C}$ dan $T_c 37,3^{\circ}\text{C}$

Tabel 4.55 tabel saturasi R404A

Pressure, MPa	Temperature, °C		Density, Volume, kg/m ³ m ³ /kg		Enthalpy, kJ/kg		Entropy, kJ/(kg·K)	
	Bubble	Dew	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor
0.42	-11.29	-10.73	1191.6	0.04680	184.56	360.26	0.9429	1.6133
0.44	-9.94	-9.39	1186.7	0.04471	186.38	360.98	0.9498	1.6125
1.6	34.51	34.87	995.7	0.01146	251.19	379.42	1.1730	1.5896
1.7	36.97	37.32	982.1	0.01066	255.17	379.95	1.1856	1.5878

Tabel ini digunakan untuk mencari nilai dari temperatur, tekanan, enthalpy, entropy, dan volume spesifik pada titik 1, titik 3, dan titik 4.

Tabel 4.56 superheated R404A

TEMP. °C	ABSOLUTE PRESSURE, kPa											
	1500.0 (32.29°C)			1600.0 (34.86°C)			1700.0 (37.31°C)			1800.0 (39.66°C)		
	V	H	S	V	H	S	V	H	S	V	H	S
	(0.0126)	(383.0)	(1.6054)	(0.0117)	(383.8)	(1.6039)	(0.0109)	(384.4)	(1.6024)	(0.0101)	(385.0)	(1.6008)
35	0.0129	386.0	1.6151	0.0117	383.9	1.6044	—	—	—	—	—	—
40	0.0134	391.4	1.6326	0.0122	389.5	1.6225	0.0111	387.5	1.6124	0.0102	385.4	1.6021
45	0.0139	396.8	1.6496	0.0127	395.0	1.6400	0.0116	393.2	1.6304	0.0107	391.3	1.6208

Tabel ini digunakan untuk mencari nilai dari temperatur, tekanan, dan volume spesifik pada titik 2.

Tabel 4.57 Volume spesifik fluida (V_f)

Temperatur °C	volume m ³ /kg
	Liquid (V_f)
-10	0,0008

Tabel ini digunakan untuk nilai dari volume spesifik fluida.

Untuk mendapatkan nilai dari v_3 dan s_3 maka di buat lah perhitungan sebagai berikut dengan mengguakan tabel saturasi R404A dan tabel volume spesifik fluida (V_f).

$$x_3 = \frac{h_3 - h_f}{h_g - h_f} = \frac{255,13 \text{ kJ/kg} - 184,62 \text{ kJ/kg}}{386,49 \text{ kJ/kg} - 184,62 \text{ kJ/kg}} = 0,3492$$

$$v_3 = v_f + x_3 (v_g - v_f) = 0,0008 \text{ m}^3 / \text{kg} + 0,3492 (0,0119 \text{ m}^3 / \text{kg} - 0,0008 \text{ m}^3 / \text{kg}) \\ = 0,0046 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

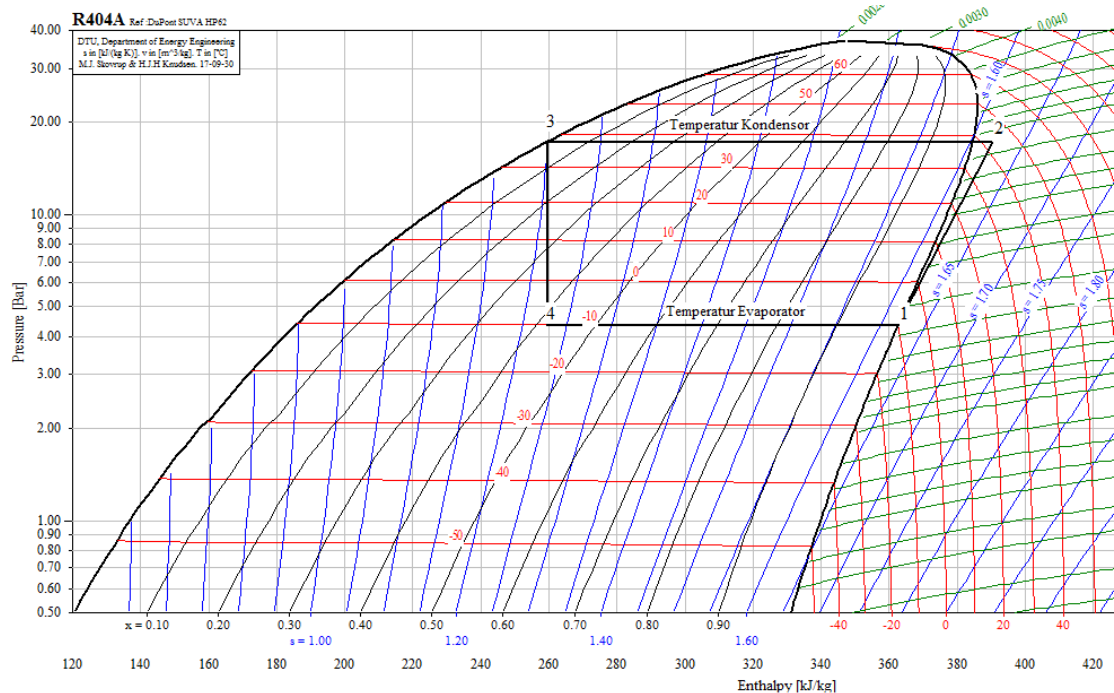
$$s_3 = s_f + x_3 (s_g - s_f) = 0,9466 \text{ kJ/(kg.K)} + 0,3492 (1,6128 \text{ kJ/(kg.K)} - 0,9466 \text{ kJ/(kg.K)}) \\ = 1,1792 \text{ kJ/(kg.k)}$$

Untuk mendapatkan nilai dari v_4 dan s_4 maka di buat lah perhitungan sebagai berikut dengan mengguakan tabel saturasi R404A dan tabel volume spesifik fluida (v_f).

$$x_4 = \frac{h_4 - h_f}{h_g - h_f} = \frac{255,13 \text{ kJ/kg} - 184,62 \text{ kJ/kg}}{360,64 \text{ kJ/kg} - 184,62 \text{ kJ/kg}} = 0,4005$$

$$v_4 = v_f + x_4 (v_g - v_f) = 0,0008 \text{ m}^3 / \text{kg} + 0,4005 (0,0456 \text{ m}^3 / \text{kg} - 0,0008 \text{ m}^3 / \text{kg}) \\ = 0,0187 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

$$s_4 = s_f + x_4 (s_g - s_f) = 0,9466 \text{ kJ/(kg.K)} + 0,4005 (1,6128 \text{ kJ/(kg.K)} - 0,9466 \text{ kJ/(kg.K)}) \\ = 1,2134 \text{ kJ/(kg.k)}$$



Gambar 4.30 diagram p-h T evaporator -10°C dan kondensor $37,3^{\circ}\text{C}$

Maka didapatkan hasil dari perhitungan dan interpolasi dengan menggunakan tabel saturasi dan tabel uap superheated, dan hasil data tersebut dapat dijelaskan pada tabel 4.58.

Tabel 4.58 hasil dari interpolasi T evaporator -10°C dan kondensor $37,3^{\circ}\text{C}$

No	T, $^{\circ}\text{C}$	P, kpa	v, m^3/kg	h, kJ/kg	s, $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
1	-10	430,85	0,0456	360,64	1,6128
2	37,32	1700,42	0,0119	386,49	1,6128
3	37,3	1699,18	0,0046	255,13	1,1792
4	-10	430,85	0,0187	255,13	1,2134

4.7. Hasil penelitian

1. nilai tekanan masuk dan keluar kompresor ditunjukkan pada tabel 4.59

Tabel 4.59 Tekanan masuk (P1) dan keluar kompresor (P2)

No	Waktu (Menit)	P1	P2
		Bar	
1	30	0,583	1,76
2	60	0,580	1,76
3	90	0,546	1,77
4	120	0,500	1,70
5	150	0,433	1,76
6	180	0,430	1,70

2. Nilai temperature masuk dan keluar kompresor

Tabel 4.60 temperature masuk (T1) dan keluar kompresor (T2)

No	Waktu (Menit)	T1	T2
		⁰ C	
1	30	-0,9	38,87
2	60	-1,1	38,89
3	90	-2,9	39,11
4	120	-5,3	37,31
5	150	-9,8	38,75
6	180	-10	37,32

3. Nilai temperatur masuk dan keluar kondensor

Tabel 4.61 temperature masuk (T2) dan keluar kondensor (T3)

No	Waktu (Menit)	T2	T3
		⁰ C	
1	30	38,87	34,9
2	60	38,89	36,2
3	90	39,11	37,2
4	120	37,31	38
5	150	38,75	35,3
6	180	37,32	37,3

4. Nilai enthalpy

Tabel 4.62 Nilai enthalpy

No	Waktu (Menit)	Enthalpy			
		h1	h 2	h 3	h4
1	30	365,36	386,19	242,86	242,86
2	60	365,26	386,22	253,35	253,35
3	90	364,35	386,47	259,97	259,97
4	120	363,26	384,40	256,29	256,29
5	150	361,45	388,10	251,88	251,88
6	180	360,84	388,49	255,13	255,13

4.8 Perhitungan

1. Energi yang diserap evaporator

Perhitungan energy yang diserap evaporator dapat menggunakan persamaan (2.1) yaitu $Q_{in} = (h_1 - h_4) = (h_1 - h_3)$

Tabel 4.63 Energi yang diserap evaporator

No	Waktu (menit)	h1	h4	Qin (kj/kg)
		Kj/kg		
1	30	365,36	242,86	122,50
2	60	365,26	253,35	111,91
3	90	364,35	259,97	104,38
4	120	363,26	256,29	106,97
5	150	361,45	251,88	112,87
6	180	360,84	255,13	105,71

2. Kerja Kompresor

Dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.2.) yaitu $W_{in} = (h_2 - h_1)$.

Tabel 4.64 kerja kompresor

No	Waktu (menit)	h2	h1	Win (kj/kg)
		Kj/kg		
1	30	386,19	365,36	20,83
2	60	386,22	365,26	20,96
3	90	386,47	364,35	22,12
4	120	384,40	363,26	21,14
5	150	388,10	361,45	26,65
6	180	388,49	360,84	27,65

3. kerja kondensor

Dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.3.) yaitu $Q_{out} = (h_2 - h_3)$.

Tabel 4.65 kerja kondensor

No	Waktu (menit)	h_2 Kj/kg	h_3 Kj/kg	Q_{out} (kj/kg)
1	30	386,19	242,86	143,33
2	60	386,22	253,35	132,87
3	90	386,47	259,97	126,50
4	120	384,40	256,29	128,11
5	150	388,10	251,88	136,22
6	180	388,49	255,13	133,36

4. Koefisien prestasi (COP)

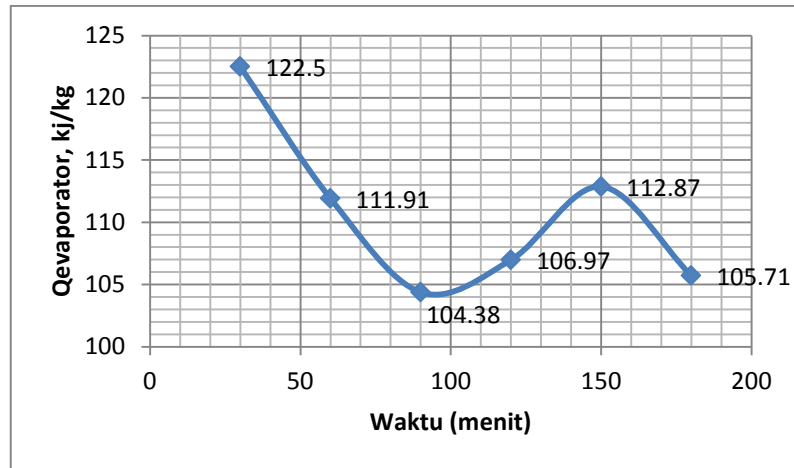
Dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.4) yaitu: $COP = (Q_{in}/W_{in})$.

Tabel 4.66 COP

No	Waktu (menit)	Q_{in} Kj/kg	W_{in} Kj/kg	COP
1	30	122,50	20,83	5,88
2	60	111,91	20,96	5,33
3	90	104,38	22,12	4,71
4	120	106,97	21,14	5,06
5	150	112,87	26,65	4,23
6	180	105,71	27,65	3,82

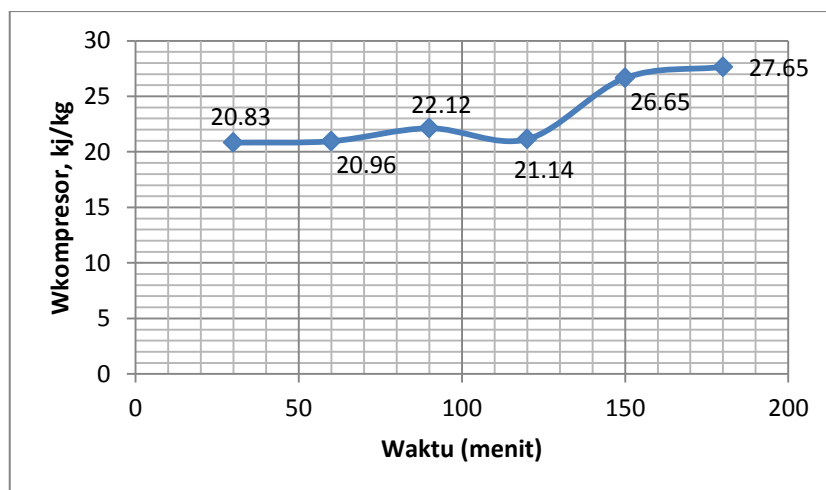
4.9 Pembahasan

Dari hasil analisa data cetakan horizontal (air diam) yang telah diselesaikan maka dibuatlah grafik perbandingan waktu dan energi yang diserap evaporator, yang dimana pada menit 30 sampai 180 terjadi kenaikan dan penurunan hasil tersebut. Tercatat hasil energi yang diserap evaporator tertinggi adalah pada menit 30 yaitu sekitar 122,5 kj/kg dan yang hasil paling terendah tercatat pada menit 90 yaitu sekitar 104,38 kj/kg.



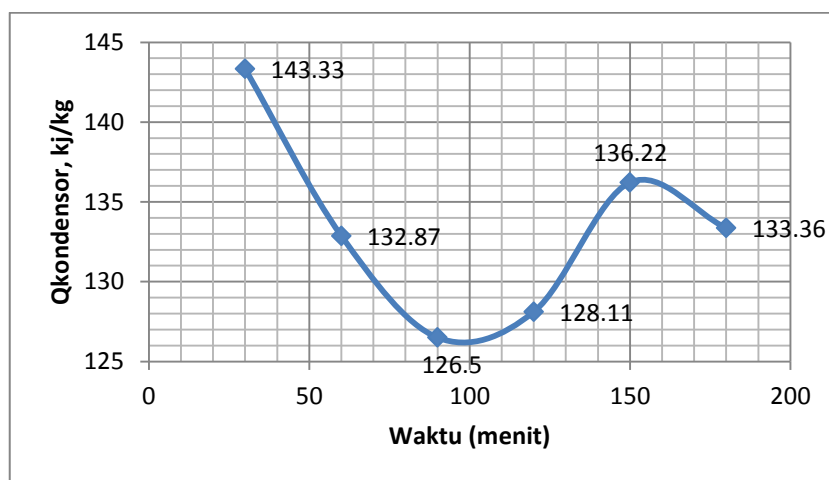
Gambar 4.31 grafik energi yang diserap evaporator

Dari hasil analisa data cetakan horizontal (air diam) yang telah diselesaikan maka dibuatlah grafik perbandingan waktu dan kerja kompresor, yang dimana pada menit 30 sampai 180 terjadi kenaikan dan penurunan hasil kerja kompresor tersebut. Tercatat hasil kerja kompresor yang tertinggi adalah pada menit 180 yaitu sekitar 27,65 kJ/kg dan yang hasil paling terendah tercatat pada menit 30 yaitu sekitar 20,83 kJ/kg



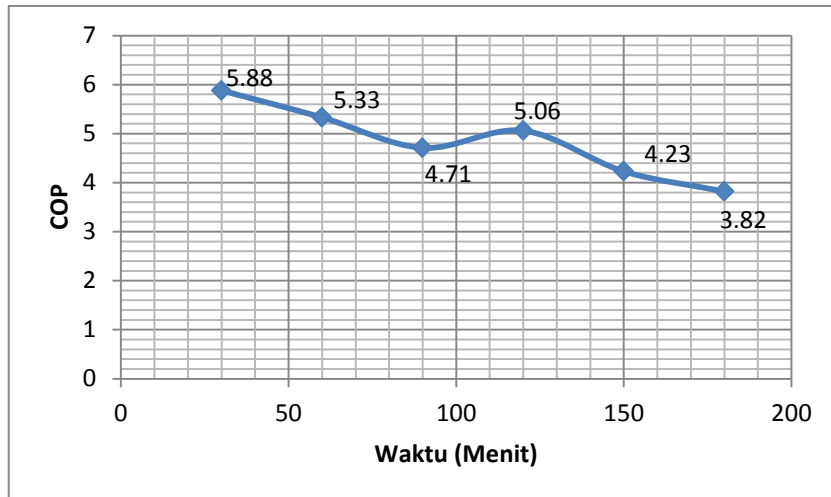
Gambar 4.32 grafik kerja kompresor

Dari hasil analisa data cetakan horizontal (air diam) yang telah diselesaikan maka dibuatlah grafik perbandingan waktu dan kerja kondensor, yang dimana pada menit 30 sampai 180 terjadi kenaikan dan penurunan hasil kerja kondensor tersebut. Tercatat hasil kerja kondensor yang tertinggi adalah pada menit 30 yaitu sekitar 143,33 kj/kg dan yang hasil paling terendah tercatat pada menit 90 yaitu sekitar 126,5 kj/kg.



Gambar 4.33 grafik kerja kondensor

Dari hasil analisa data cetakan vertical (air mengalir) yang telah diselesaikan maka dibuatlah grafik perbandingan waktu dan COP, yang dimana pada menit 30 sampai 180 terjadi kenaikan dan penurunan hasil COP tersebut. Tercatat hasil COP yang tertinggi adalah pada menit 30 yaitu sekitar 5,88 dan yang hasil paling terendah tercatat pada menit 180 yaitu sekitar 3,82.



Gambar 4.34 Grafik Nilai COP

4.10 Pemilihan Konsep

Dari hasil percobaan dengan cetakan posisi vertical dan cetakan posisi horizontal maka didapatkan konsep yang terbaik yang mana pada percobaan ini proses pembekuan terjadi pada cetakan posisi horizontal dilihat pada gambar 4.35 dan 4.36 ini adalah hasil dari akhir percobaan.



gambar 4.35 hasil dari posisi cetakan vertical



Gambar4.36 hasil dari posisi cetakan horizontal

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

- Dari hasil percobaan dengan cetakan vertical atau dengan air mengalir ini kurangnya maksimal karena tidak adanya pembekuan pada air, temperatur evaporator pun tercatat pada titik terendah pada menit 30 yaitu sekitar $3,7^{\circ}\text{C}$ pada menit 180 dan pada temperatur kondensor terjadi kenaikan dan penurunan temperatur hingga puncaknya terjadi pada menit 180 yaitu sekitar $33,6^{\circ}\text{C}$.
- Dari hasil analisa data cetakan vertical (air mengalir) yang telah diselesaikan maka dibuatlah grafik perbandingan waktu dan COP, yang dimana pada menit 30 sampai 180 terjadi kenaikan dan penurunan hasil COP tersebut. Tercatat hasil COP yang tertinggi adalah pada menit 90 yaitu sekitar 8,97 dan yang hasil paling terendah tercatat pada menit 180 yaitu sekitar 6,62.
- Dari hasil percobaan yang telah dilakukan dengan cetakan posisi horizontal temperatur evaporator terus menurun hingga mencapai -10°C , penurunan temperatur tertinggi terjadi pada menit 120 ke 150 tercatat penurunan dari $-5,3^{\circ}\text{C}$ hingga $-9,8^{\circ}\text{C}$ dan temperatur kondensor yang cenderung tidak stabil terjadi kenaikan dan penurunan temperatur, hingga

puncaknya terjadi kenaikan temperatur kondensor mencapai 38°C pada menit 120.

- Dari hasil analisa data cetakan vertical (air mengalir) yang telah diselesaikan maka dibuatlah grafik perbandingan waktu dan COP, yang dimana pada menit 30 sampai 180 terjadi kenaikan dan penurunan hasil COP tersebut. Tercatat hasil COP yang tertinggi adalah pada menit 30 yaitu sekitar 5,88 dan yang hasil paling terendah tercatat pada menit 180 yaitu sekitar 3,82.

5.2. Saran

- Perbaiki Pada pipa Evaporator sehingga menghasilkan proses pembekuan yang lebih baik lagi.
- Tebal cetakan harus diperbaiki lagi sehingga dapat mempercepat pembekuan, yang dimana saat ini tebal plat cetakan sekitar 0.61 mm maka lebih baik selanjutnya memakai plat yang lebih tipis lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- Arora C.P., 1981, Refrigeration and Air Conditioning, Tata McGraw-Hill Publishing Company, New Delhi
- Ilyas, S. 1983 *Teknologi Refrigerasi Hasil Perikanan Jilid I*, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. CV. Paripurna, Jakarta.
- Jordan, Richard C & Priester, Gayle B. (1971). Refrigerasi and Air Conditioning. New Delhi
- Karyanto E., Paringga E., 2003, Teknik Mesin Pendingin, CV. Restu Agung, Jakarta
- Stoecker W.F., Jones J.W., 1982, Refrigerasi dan Pengkondisian Udara, Airlangga, Jakarta
- Sumanto. 2001. *Dasar - dasar Mesin Pendingin*. Andi, Yogyakarta.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Nama : Tri Refi Rinaldo
NPM : 1307230006
Tempat/ Tanggal Lahir : Medan, 7 juni 1995
Jenis Kelamin : Laki-laki
Agama : Islam
Status : Belum Menikah
Alamat : Teluk Nayang
 Kel/Desa : Teluk Nayang
 Kecamatan : Pujud
 Kabupaten : Rokan Hilir
 Provinsi : Riau
Nomor HP : 0823 8594 1492
Nama Orang Tua
 Ayah : Biono
 Ibu : Dimah

PENDIDIKAN FORMAL

2002-2007 : SD Negri 005 Teluk Nayang
2007-2010 : SMP Negri 1 Pujud
2010-2013 : SMA Negri 1 Pujud
2013-2017 : Mengikuti Pendidikan S1 Program Studi Teknik Mesin Fakultas
Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara