

RANCANG BANGUN PEMANAS AIR DENGAN PROSES  
PEMANFAATAN PANAS *REFRIGERAN AC* MENGGUNAKAN  
*HORIZONTAL TUBE*



LAPORAN TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan  
pendidikan diploma tiga (D-3) Program Studi Teknik Konversi Energi  
Jurusan Teknik Mesin  
Politeknik Negeri Ujung Pandang

MUHAMMAD FATHUL RABBANI      342 18 015  
MUSDHOLIFAH HABIBUDDIN      342 18 018

PROGRAM STUDI D-3 TEKNIK KONVERSI ENERGI  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG  
MAKASSAR  
2021

## HALAMAN PENGESAHAN

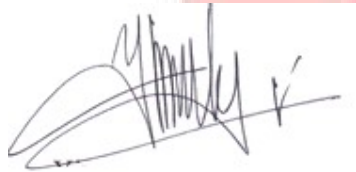
Laporan tugas akhir dengan judul “Rancang Bangun Pemanas Air Dengan Proses Pemanfaatan Panas *Refrigeran AC* Menggunakan *Horizontal Tube*” oleh Muhammad Fathul Rabbani NIM 342 18 015 dan Musdholifah Habibuddin NIM 342 18 018 telah diterima dan disahkan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Diploma Tiga (D-3) pada Program studi Teknik Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang .

Makassar, 15 November 2021

Mengesahkan,

Pembimbing I

Pembimbing II



Yiyin Klistafani, S.T., M.T.  
NIP. 19900517 201504 2 001



Sri Suwasti, S.ST., M.T.  
NIP. 19741123 200112 2 001

Mengetahui,

a.n. Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang,

Ketua Jurusan Teknik Mesin,



Rusdi Nur, S.ST.,M.T.,Ph.D.  
NIP. 19741106 200212 1 002

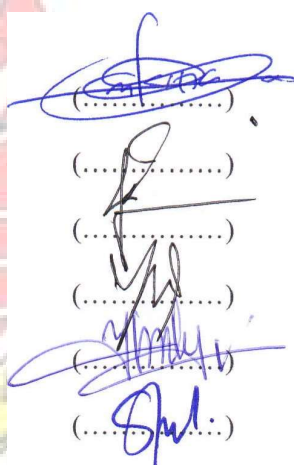

## HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini senin, tanggal 27 September 2021, tim penguji ujian sidang laporan tugas akhir telah menerima hasil ujian sidang laporan tugas akhir oleh mahasiswa Muhammad Fathul Rabbani NIM 342 18 015 dan Musdholifah Habibuddin NIM 342 18 018 dengan judul “Rancang Bangun Pemanas Air Dengan Proses Pemanfaatan Panas *Refrigeran AC* Menggunakan *Horizontal Tube*”.

Makassar, September 2020

Tim Penguji Ujian Sidang Laporan Tugas Akhir:

1. Sukma Abadi, S.T., M.T. (Ketua)
2. Sonong, S.T., MIT. (Sekretaris)
3. Ir.Chandra Bhuana, M. T. (Anggota)
4. Muh.yusuf Yunus, s.ST, M.T. (Anggota)
5. Yiyin Klistafani, S.T.,M.T. (Anggota)
6. Sri Suwasti, S.ST.,M.T. (Anggota)



(.....)  
(.....)  
(.....)  
(.....)  
(.....)  
(.....)

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT. karena berkat rahmat dan karunia-Nya, penulisan Laporan Tugas Akhir ini yang berjudul ” Rancang Bangun Pemanas Air Dengan Proses Pemanfaatan Panas *Refrigeran AC* Menggunakan *Horizontal Tube*” dapat diselesaikan dengan baik.

Dalam penulisan Laporan Tugas Akhir ini tidak sedikit hambatan yang penulis alami, namun berkat bantuan berbagai pihak terutama pembimbing, hambatan tersebut dapat teratasi. Sehubungan dengan itu, pada kesempatan ini dan melalui lembaran ini penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan kepada:

1. Kedua orang tua penulis yang tak henti-hentinya mendoakan dan memberikan dukungan kepada kami.
2. Bapak Prof. Ir. Muhammad Anshar, M.Si., Ph.D. Selaku Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang;
3. Bapak Rusdi Nur, S.ST., M.T, Ph.D. Selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang yang telah mencurahkan waktu dan kesempatannya untuk mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini;
4. Ibu Sri Suwasti, S.ST., M.T. Selaku Koordinator Program Studi D-3 Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang;
5. Ibu Yiyin Klistafani, S.T., M.T. Sebagai Pembimbing I yang telah mencurahkan waktu dan kesempatannya untuk mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Laporan Tugas akhir ini;



6. Ibu Sri Suwasti, S.ST., M.T. Sebagai Pembimbing II yang telah mencurahkan waktu dan kesempatannya untuk mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini;
7. Para dosen penguji yang telah banyak memberikan masukan dan saran dalam penyempurnaan Laporan Tugas Akhir ini;
8. Segenap Dosen pada Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang, khususnya Dosen pada Program Studi D-3 Teknik Konversi Energi;
9. Seluruh staf pengajar dan instruktur pada Program Studi D-3 Teknik Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang;
10. Teman-teman Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang, khususnya teman-teman seperjuangan pada Program Studi D-3 Teknik Konversi Energi angkatan 2018 yang telah membantu dan memberinya dukungannya;
11. Seluruh pihak-pihak yang telah membantu selesainya Laporan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa Laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya konstruktif demi kesempurnaan Laporan Tugas Akhir ini. Semoga Laporan Tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Semoga Allah SWT senantiasa meridhoi segala usaha dan kerja keras kita semua. Aamiin.

Makassar, September 2021

Penulis

## DAFTAR ISI

	hlm.
HALAMAN SAMPUL .....	i
HALAMAN PERSETUJUAN .....	ii
HALAMAN PENERIMAAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
DAFTAR ISI .....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL .....	x
DAFTAR SIMBOL .....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
SURAT PERNYATAAN.....	xiii
RINGKASAN.....	xv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Ruang Lingkup Kegiatan.....	3
1.4 Tujuan dan Manfaat Kegiatan .....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Pengertian <i>Air Conditioner Water Heater (ACWH)</i> .....	5
2.2 Perpindahan Panas.....	5
2.3 Alat Penukar Kalor (Heat Exchanger).....	12
2.4 Jenis-Jenis Alat Pemanas Air (Water Heater).....	14

2.5 Siklus Refrigerasi .....	17
2.6 Pengaplikasian Dan Pemanfaatan Panas Refrigeran AC.....	25
2.7 Penelitian Terdahulu.....	26
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>30</b>
3.1 Tempat dan Waktu Kegiatan .....	30
3.2 Alat dan Bahan .....	30
3.3 Prosedur Kerja .....	32
3.4 Prosedur Pengujian .....	36
3.5 Pengumpulan Data .....	37
3.6 Persamaan yang Digunakan.....	39
<b>BAB IV HASIL DAN DESKRIPSI KEGIATAN .....</b>	<b>42</b>
4.1 Hasil Perancangan Alat Pemanas Air dengan Proses Pemanfaatan Panas Refrigeran AC Menggunakan Horizontal Tube.....	42
4.2 Tabel hasil Pengujian .....	44
4.3 Analisis Data.....	46
4.3.1 Menghitung Performa AC Setelah Dikombinasikan dengan Pemanas Air Menggunakan Horizontal Tube.....	46
4.3.2 Menghitung Efisiensi Pemanas Air dengan Pemanfaatan Panas Refrigeran AC Menggunakan Horizontal Tube.....	48
4.4 Kinerja AC Setelah Dikombinasikan Dengan Pemanas Air Menggunakan Horizontal Tube .....	50
4.5 Efisiensi Pemanas Air dengan Pemanfaatan Panas Refrigeran AC .....	54

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan .....	57
5.2 Saran.....	57

## DAFTAR PUSTAKA

## LAMPIRAN

- Lampiran A (Data-Data Hasil Perhitungan)
- Lampiran B (Tabel Uap)
- Lampiran C (Dokumentasi)



## DAFTAR GAMBAR

	hlm.
Gambar 2.1 Pemanas Air Listrik .....	14
Gambar 2.2 Pemanas Air Berbahan Bakar Gas.....	15
Gambar 2.3 Pemanas Air Tenaga Surya .....	16
Gambar 2.4 Skema Sistem Pendingin.....	17
Gambar 2.5 Diagram T-s dari Siklus Kompresi Uap Ideal.....	22
Gambar 3.1 Rancangan Alat Pemanas Air dengan Pemanfaatan Panas Refrigeran AC Tampak Samping .....	33
Gambar 3.2 Rancangan Alat Pemanas Air dengan Pemanfaatan Panas Refrigeran AC Tampak Depan .....	34
Gambar 3.3 Rancangan Alat Pemanas Air dengan Pemanfaatan Panas Refrigeran AC Tampak Atas .....	34
Gambar 3.4 Siklus dan Diagram Refrigerasi.....	39
Gambar 4.1 Hasil Rancang Bangun Alat Pemanas Air dengan Proses Pemanfaatan Panas Refrigeran AC menggunakan <i>Horizontal Tube</i> .....	41

## DAFTAR TABEL

	hlm.
Tabel 2.1 Konduktivitas panas, $k[W/(m \cdot ^\circ C)]$ bahan pada suhu $0^\circ$ .....	12
Tabel 3.1 Waktu Pelaksanaan Tugas Akhir .....	30
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Pada Suhu Indoor AC $16^\circ C$ .....	44
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Pada Suhu Indoor AC $18^\circ C$ .....	45
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Pada Suhu Indoor AC $20^\circ C$ .....	45



## DAFTAR SIMBOL

Simbol	Satuan	Keterangan
q	(W)	laju perpindahan kalor
k	(W/m.C)	konduktivitas termal
A	(m <sup>2</sup> )	Luas penampang
q	( watt / m <sup>2</sup> )	fluks panas
h	( watt / m <sup>2</sup> . °C )	koefisien perpindahan panas konveksi
T <sub>w</sub>	( °C )	temperatur permukaan pelat
T <sub>f</sub>	( °C )	temperatur fluida yang mengalir
T <sub>s</sub> <sup>4</sup>	(K)	Suhu daerah sekeliling permukaan
ṁ	(Kg/s)	laju aliran massa refrigeran
h	(kJ/Kg)	Entalpi
h <sub>1</sub>	(kJ/Kg)	Entalpi refrigeran saat keluar evaporator
h <sub>2</sub>	(kJ/Kg)	Entalpi refrigeran saat masuk waterheater
h <sub>3</sub>	(kJ/Kg)	Entalpi refrigeran saat keluar waterheater
h <sub>5</sub>	(kJ/Kg)	Entalpi refrigeran saat masuk evaporator

## DAFTAR LAMPIRAN

No	Teks	Halaman
Lampiran 1	Data-data Hasil Perhitungan	77
Lampiran 2	Tabel Uap	81
Lampiran 3	Dokumentasi	





## SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Muhammad Fathul Rabbani

NIM : 342 18 015

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam laporan tugas akhir ini, yang berjudul “Rancang Bangun Pemanas Air Dengan Proses Pemanfaatan Panas *Refrigeran AC* Menggunakan *Horizontal Tube*” merupakan gagasan, hasil karya sendiri dengan arahan pembimbing, dan belum pernah diajukan dalam bentuk apa pun pada perguruan tinggi dan instansi mana pun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya, sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan oleh penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam daftar pustaka laporan tugas akhir ini.

Jika pernyataan saya tersebut di atas tidak benar, kami siap menanggung resiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, September 2021

Muhammad Fathul Rabbani  
342 18 015

## SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Musdholifah Habibuddin

NIM : 342 18 018

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam laporan tugas akhir ini, yang berjudul “Rancang Bangun Pemanas Air Dengan Proses Pemanfaatan Panas *Refrigeran AC* Menggunakan *Horizontal Tube*” merupakan gagasan, hasil karya sendiri dengan arahan pembimbing, dan belum pernah diajukan dalam bentuk apa pun pada perguruan tinggi dan instansi mana pun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya, sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan oleh penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam daftar pustaka laporan tugas akhir ini.

Jika pernyataan saya tersebut di atas tidak benar, kami siap menanggung resiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, September 2021

Musdholifah Habibuddin  
342 18 018

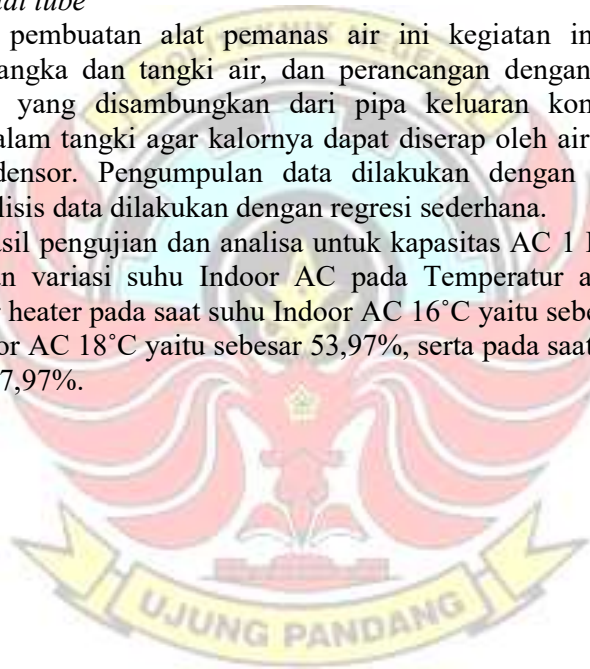
## RANCANG BANGUN PEMANAS AIR DENGAN PROSES PEMANFAATAN PANAS *REFRIGERAN AC* MENGGUNAKAN *HORIZONTAL TUBE*

### RINGKASAN

AC merupakan perangkat utama untuk mendinginkan ruangan. Penggunaan AC Di Indonesia yang cukup tinggi menimbulkan efek yang cukup besar pula terhadap lingkungan yang disebabkan panas buang kondensor AC. Padahal energi panas yang dihasilkan dari hasil kerja kompresi kompresor dapat dimanfaatkan untuk memanaskan air. namun masih perlu dilakukan pengujian dengan menggunakan tangki air *horizontal tube*. Sehubungan dengan itu penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja AC serta efisiensi pemanas air menggunakan tangki *horizontal tube*

Dalam pembuatan alat pemanas air ini kegiatan ini diawali dengan perancangan rangka dan tangki air, dan perancangan dengan penambahan alat penukar kalor yang disambungkan dari pipa keluaran kompresor diarahkan langsung ke dalam tangki agar kalornya dapat diserap oleh air sebelum akhirnya masuk ke kondensor. Pengumpulan data dilakukan dengan teknik pengujian, sedangkan analisis data dilakukan dengan regresi sederhana.

Dari hasil pengujian dan analisa untuk kapasitas AC 1 PK ,volume tangki 30 liter dengan variasi suhu Indoor AC pada Temperatur air 45°C diperoleh Efisiensi water heater pada saat suhu Indoor AC 16°C yaitu sebesar 55,60% , pada saat suhu Indoor AC 18°C yaitu sebesar 53,97%, serta pada saat suhu Indoor 20°C yaitu sebesar 27,97%.



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

*Air Conditioner (AC)* lebih dikenal dengan pendingin ruangan di Indonesia. Penggunaannya merupakan hal yang biasa dalam kehidupan sehari-hari, tidak hanya di rumah-rumah, tetapi juga di kantor dan terutama di gedung yang kebutuhan akan udara sejuk sangat diperlukan akibat dari tidak adanya sirkulasi udara didalam ruangan. Ditambah lagi Indonesia beriklim tropis dimana udara panas tidak terhindarkan lagi terutama di kota-kota besar. Prinsip kerja dari *AC* itu sendiri adalah evaporator menyerap panas dari ruangan dan membuang energi panasnya melalui kondensor sehingga energi yang dikeluarkan inilah yang ditampung di lingkungan sekitar dan menyebabkan panas mikro disekitar mesin *AC*. Efek lingkungan dari *AC* ini salah satunya yaitu pemanasan global. Pemakaian *AC* yang terlampau banyak itu kita pun menjadi salah satu penyebab dari pemanasan global. Menurut data Direktorat Konservasi Energi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral tahun 2018, pasar *AC* di Indonesia per tahun mencapai 2,5 juta unit dan akan terus meningkat seiring membaiknya ekonomi.

Panas yang dihasilkan dari mesin pengkondisian udara pada ruang tertentu yang tidak dimanfaatkan lebih lanjut, merupakan pembuangan energi yang sia-sia. Hal tersebut yang mendasari betapa pentingnya memanfaatkan sumber panas yang dikeluarkan oleh hasil kerja pengkompresian kompresor dari pengkondisian udara menuju kondensor pada rangkaian siklus refrigerasi.

Pada umumnya pemanasan air masih menggunakan *solar water heater* untuk keperluan sehari-hari. Peralatan pemanas air yang masih menggunakan listrik

maupun bahan bakar fosil terbilang sangat kompetitif, bila dilihat dari segi kepraktisan dan nilai ekonomis. Kendala utamanya pemanas air tenaga surya adalah biaya pengadaan awal. Sebagai contoh pemanas air berkapasitas 280 liter berharga berkisar Rp.12.000.000, untuk tipe yang menggunakan penutup kaca biasa, dan Rp.15.000.000, untuk tipe menggunakan penutup kaca jenis temper light.

Menurut Aziz dkk (2015) pada penelitian tentang potensi pemanfaatan energi panas terbuang pada kondensor AC untuk pemanas air hemat energi yaitu temperatur buang kompressor maksimum yang dapat dimanfaatkan sebagai pemanasan air adalah sebesar 57,78 °C karena kalor buang kondensor yang cukup besar maka pemanfaatan energi panas buang kondensor AC tersebut cukup efektif untuk memanaskan air.

Menurut Hendradinata dkk (2018) pada penelitian tentang alat penukar kalor dengan tipe helix menggunakan volume air 30 ltr yaitu AC dapat dirancang dan diaplikasikan sebagai *water heater* dengan suhu air yang dicapai 40 °C dalam jangka waktu 150 menit. Hal tersebut mendasari penelitian pemanfaatan energi panas keluaran dari kompresor dengan judul **“Rancang bangun pemanas air dengan proses pemanfaatan panas *refrigeran AC* menggunakan *horizontal tube*”**.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang di peroleh berdasarkan uraian pada latar belakang, ialah:

1. Bagaimana Performa *AC* setelah dikombinasikan dengan pemanas air menggunakan tangki *horizontal tube*?
2. Bagaimana efisiensi pemanas air dengan pemanfaatan panas *refrigeran AC* menggunakan *horizontal tube*?

## 1.3 Ruang Lingkup Kegiatan

Ruang lingkup kegiatan meliputi:

1. Mendesain pemanas air dengan pemanfaatan panas *refrigeran AC* menggunakan *horizontal tube*.
2. Fluida uji yang digunakan ialah air.

## 1.4 Tujuan dan Manfaat Kegiatan

### 1.4.1 Tujuan Kegiatan

1. Mengetahui kinerja *AC* setelah dikombinasikan dengan pemanas air menggunakan tangki *horizontal tube*
2. Menghitung efisiensi pemanas air dengan pemanfaatan panas *refrigeran AC* menggunakan tangki *horizontal tube*



#### 1.4.2 Manfaat Kegiatan

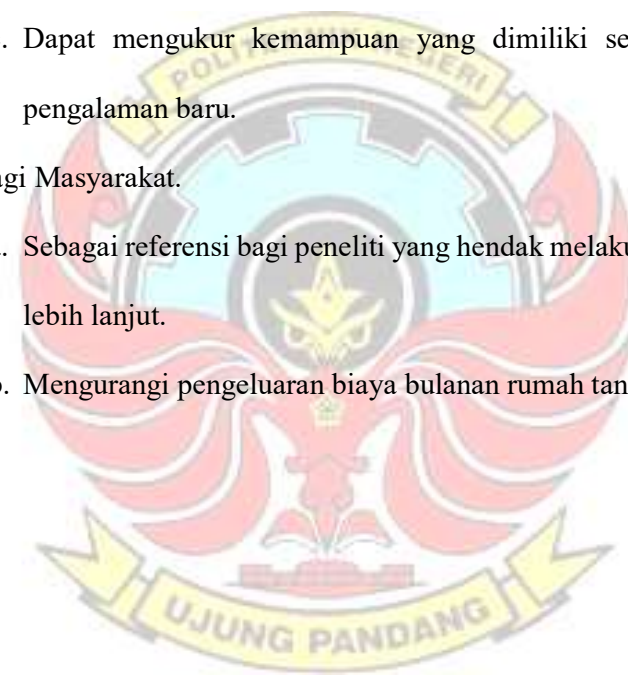
Dalam pemanfaatan AC ini diharapkan dapat memberi manfaat, yaitu:

##### 1. Bagi Mahasiswa.

- a. Untuk Menambah wawasan dan keterampilan dalam pemanfaatan energi yang inovatif.
- b. Sebagai penerapan teori yang didapatkan mahasiswa di bangku kuliah.
- c. Dapat mengukur kemampuan yang dimiliki serta mendapatkan pengalaman baru.

##### 2. Bagi Masyarakat.

- a. Sebagai referensi bagi peneliti yang hendak melakukan perancangan lebih lanjut.
- b. Mengurangi pengeluaran biaya bulanan rumah tangga.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pengertian *Air Conditioner Water Heater (ACWH)*

*ACWH* adalah sistem yang memanfaatkan panas buang dari sistem pendinginan untuk memanaskan air. Sebagian kalor dari refrigeran yang sudah dikompresi oleh kompresor digunakan untuk memanaskan air dengan bantuan alat penukar kalor. Penukar kalor inilah yang sangat menentukan kinerja dari *ACWH*, dibutuhkan penukar kalor yang dapat memindahkan kalor semaksimal mungkin dari refrigeran tanpa menyebabkan *pressure drop* berlebihan yang dapat mempengaruhi kinerja sistem pendinginan (Nurhalim, 2011).

### 2.2 Perpindahan Panas

Perpindahan kalor adalah ilmu yang mempelajari berpindahnya suatu energi (berupa kalor) dari suatu sistem ke sistem lain karena adanya perbedaan temperatur. Perpindahan kalor tidak akan terjadi pada sistem yang memiliki temperatur sama. Perbedaan temperatur menjadi daya penggerak untuk terjadinya perpindahan kalor. Sama dengan perbedaan tegangan sebagai penggerak arus listrik. Proses perpindahan kalor terjadi dari suatu sistem yang memiliki temperatur lebih tinggi ke temperatur yang lebih rendah. Keseimbangan pada masing – masing sistem terjadi ketika sistem memiliki temperatur yang sama. Perpindahan kalor dapat berlangsung dengan 3 (tiga) cara, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi (Holman, 1994).



## 2.2.1 Perpindahan Kalor Konduksi

Konduksi adalah proses perpindahan kalor dari suatu bagian benda padat atau material ke bagian lainnya. Pada perpindahan kalor secara konduksi tidak ada bahan dari logam yang berpindah. Yang terjadi adalah molekul-molekul logam yang diletakkan di atas nyala api membentur molekul-molekul yang berada di dekatnya dan memberikan sebagian panasnya. Molekul-molekul terdekat kembali membentur molekul molekul terdekat lainnya dan memberikan sebagian panasnya, dan begitu seterusnya di sepanjang bahan sehingga suhu logam naik. Jika padatan adalah logam, maka perpindahan energi kalor dibantu oleh elektron-elektron bebas, yang bergerak diseluruh logam, sambil menerima dan memberi energi kalor ketika bertumbukan dengan atom-atom logam. Dalam gas, kalor dikonduksikan oleh tumbukan langsung molekul-molekul gas. Molekul di bagian yang lebih panas dari gas mempunyai energi rata-rata yang lebih tinggi bertumbukan dengan molekul berenergi rendah, maka sebagian energi molekul berenergi tinggi ditransfer ke molekul berenergi rendah.

Dalam proses perpindahan kalor secara konduksi terdapat laju hantaran kalor. Laju hantaran kalor menyatakan seberapa cepat kalor dihantarkan melalui medium itu. Terdapat besaran-besaran yang mempengaruhi dalam laju hantaran kalor yaitu luas permukaan benda, panjang atau tebal benda, perbedaan suhu antar ujung benda dan juga dipengaruhi oleh suatu besaran ( $k$ ) yang disebut konduktivitas termal (Holman, 1994). Laju perpindahan panas yang terjadi pada perpindahan panas konduksi adalah berbanding dengan gradien suhu normal sesuai dengan persamaan berikut ini yang disebut dengan hukum Fourier dan merupakan

persamaan dasar konduksi. Persamaan dasar konduksi (Holman, 1994) sebagai berikut :

$$q = -kA \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots(1.1)$$

dimana:

q = laju perpindahan kalor (W)

k = konduktivitas termal, merupakan sifat material (W/m.C)

A = luas penampang yang tegak lurus dengan arah laju perpindahan kalor (m<sup>2</sup>)

dT/dx = laju perubahan suhu pada penampang terhadap jarak dalam arah aliran panas.

Tanda “ - “ (negatif) adalah untuk memenuhi hukum termodinamika pertama yang menyatakan bahwa panas merupakan energi dalam transit yang mengalir dari temperatur tinggi ke tempat temperatur rendah (holman, 2006).

### 2.2.2 Perpindahan Kalor Konveksi

Bila fluida mengalir pada suatu benda padat atau mengalir di dalam suatu saluran sedangkan temperatur fluida dan permukaan benda padat berbeda , maka akan terjadi perpindahan panas antara fluida dan permukaan benda padat, sebagai akibat dari gesekan fluida relatif terhadap permukaan. Mekanisme perpindahan panas seperti ini disebut perpindahan panas secara konveksi. Apabila pergerakan fluida dilakukan dengan bantuan alat lain maka dinamakan perpindahan panas secara konveksi paksa. Jika pergerakan fluida terjadi akibat efek mengambang (*buoyancy effect*) akibat perbedaan temperatur dalam fluida , perpindahan panas

seperti ini dinamakan dengan perpindahan panas secara konveksi bebas. Perpindahan panas secara konveksi antara batas benda padat dan fluida terjadi dengan adanya suatu gabungan dari konduksi dan angkutan (*transport*) massa. Jika batas tersebut bertemperatur lebih tinggi dari fluida, maka panas terlebih dahulu mengalir secara konduksi dari benda padat ke partikel-partikel fluida di dekat dinding. Energi yang di pindahkan secara konduksi ini meningkatkan energi di dalam fluida dan terangkut oleh gerakan fluida. Bila partikel-partikel fluida yang terpanaskan itu mencapai daerah yang temperaturnya lebih rendah, maka panas berpindah lagi secara konduksi dari fluida yang lebih panas ke fluida yang lebih dingin karena kecepatan fluida pada permukaan pelat adalah nol maka perpindahan panas pada bagian permukaan pelat ini terjadi secara konduksi. Dalam aliran laminar fluida bergerak dalam bentuk lapisan-lapisan, masing-masing partikel fluida mengalir mengikuti lintasan dengan lancar dan kontinu. Partikel-partikel fluida berada dalam urutan yang teratur pada setiap lapisan. Perpindahan panas antara pelat dan fluida terjadi secara konduksi molekuler dalam fluida. Pada aliran turbulen fluida bergerak secara acak serta tidak teratur, menghasilkan pencampuran silang atau pusaran (*eddy*) yang membawa gumpalan-gumpalan fluida melintasi garis-garis aliran. Partikel-partikel ini berperan sebagai pembawa energi dan pemindah energi dengan cara bercampur dengan partikel-partikel lain dari fluida tersebut. Oleh karena itu kenaikan laju pencampuran akan menaikkan laju aliran panas dengan cara konveksi. Untuk mempermudah perhitungan perpindahan panas antara permukaan yang lebih panas dengan temperatur  $T_w$  dan fluida yang mengalir

dengan temperatur  $T_f$  , laju aliraran panas didefinisikan (Holman, 1994) sebagai berikut :

$$q = h.A ( T_w - T_f ) \dots \dots \dots (1.2)$$

dimana :

$q$  = fluks panas ( watt /  $m^2$  )

$h$  = koefisien perpindahan panas konveksi ( watt /  $m^2 \cdot ^\circ C$  )

$A$  = Luas permukaan Konveksi ( $m^2$ )

$T_w$  = temperatur permukaan pelat (  $^\circ C$  )

$T_f$  = temperatur fluida yang mengalir (  $^\circ C$  )

Terdapat dua jenis konveksi, yaitu :

1. Konveksi alamiah/ natural/ *free convection*, merupakan pergerakan atau aliran energi fluida yang terjadi akibat perbedaan massa jenis fluida tersebut, serta tidak ada tenaga luar yang mendorongnya. Bila suhu fluida tinggi, ia akan menjadi lebih ringan dan mulai bergerak ke atas. Contoh konveksi alamiah yang terjadi dalam kehidupan sehari-hari adalah sistem ventilasi rumah, serta aliran asap pada cerobong asap.
2. Konveksi paksa/*forced convection*, merupakan suatu kejadian dimana fluida dipaksa mengalir ke tempat tertentu oleh tenaga dari luar, misalnya kipas angin.

### 2.2.3 Perpindahan Panas Radiasi

Radiasi adalah perpindahan panas tanpa zat perantara. Perpindahan panas radiasi adalah proses di mana panas mengalir dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah bila benda-benda itu terpisah di dalam ruang, bahkan

jika terdapat ruang hampa di antara benda - benda tersebut. Contoh paling mudah dari perpindahan panas secara radiasi adalah pancaran sinar matahari. Matahari memancarkan panasnya sehingga sampai ke permukaan bumi melalui ruang hampa. Di ruang hampa tidak ada zat yang dapat dilalui dan juga tidak ada zat yang dapat mengalir. Panas matahari tersebut sampai ke bumi secara langsung atau secara pancaran tanpa melalui zat perantara.

Persamaan umum radiasi hukum Stefan Botzmann (Holman, 1994).

$$q = y.E.A(T_w^4 - T_s^4) \dots \dots \dots (1.3)$$

dimana:

y = konstanta Stefan Botzmann

E = Emisifitas permukaan

A = Luas Permukaan

$T_w^4$  = Suhu permukaan

$T_s^4$  = Suhu daerah sekeliling permukaan (K)

#### 2.2.4 Konduktivitas Termal

Daya hantar panas atau konduktivitas termal adalah sifat bahan yang menunjukkan berap cepat bahan itu dapat menghantarkan panas konduksi. Koefisien konduksi (k) adalah jumlah panas yang mengalir tiap satuan waktu. Daya hantar panas dapat diukur berdasarkan hokum Fourier. Pada umumnya daya hantar panas suatu bahan harus diukur denagn mengadakan percobaan. Daya hantar panas biasa dipengaruhi oleh suhu. Koefisien konduktivitas termal (k) didefinisikan sebagai laju panas pada suatu benda dengan suatu gradien temperature. Dengan kata lain konduktivitas termal menyatakan kemampuan bahan menghantarkan

kalor. Koefisien konduktivitas termal ( $k$ ) merupakan formulasi laju panas pada suatu benda dengan suatu gradien temperature. Nilai konduktivitas termal sangat berperan penting untuk menentukan jenis dari penghantar yaitu konduksi yang baik atau buruk.

Bahan yang mempunyai konduktivitas yang baik disebut dengan konduktor, misalnya logam. Sedangkan bahan yang mempunyai konduktivitas jelek disebut isolator, misalnya asbes, wol, dsb. Suatu bahan dikatakan konduktor apabila bahan tersebut mempunyai nilai  $k$  yang besar yaitu  $> 4.15 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ , biasanya bahan tersebut terbuat dari logam. Sedangkan untuk isolator mempunyai nilai  $k < 4.01 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ , biasanya bahan tersebut terbuat dari bahan bukan logam. Nilai konduktivitas termal penting untuk menentukan jenis dari penghantar yaitu konduksi panas yang baik (*good conductor*) untuk nilai koefisien konduktivitas termal yang besar dan penghantar panas yang tidak baik (*good isolator*) untuk nilai koefisien panas yang kecil. Konduktivitas termal dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya adalah suhu, kepadatan dan porositas dan kandungan uap air. Suhu memiliki pengaruh yang sangat kecil, namun tetap saja dikatakan bahwa suhu memiliki pengaruh terhadap konduktivitas. Karena semakin bertambahnya suhu, konduktivitas bahan tertentu juga akan meningkat. Kepadatan dan porositas suatu benda berpengaruh pada konduktivitas suatu benda, semakin banyak rongga pada benda tersebut maka semakin besar persentasinya dan semakin besar porositas menyebabkan nilai konduktivitas semakin menurun.. Kandungan uap air juga mempengaruhi konduktivitas thermal. Konduksi termal akan meningkat seiring meningkatnya kandungan kelembaman suatu benda.

Tabel 2.1 Konduktivitas panas,  $k[W/(m \cdot ^\circ C)]$  bahan pada suhu  $0^\circ$

Bahan logam	k
Perak (murni)	410
Tembaga (murni)	385
Aluminium (murni)	202
Nikel (murni)	93
Besi (murni)	73
Baja Karbon, 1% C	43
Timbal (murni)	35
Baja Karbon-Nikel (18%cr, 8% ni)	16,3

(Sumber: Holman, 1994)

### 2.3 Alat Penukar Kalor (*Heat Exchanger*)

Alat penukar kalor atau Heat exchanger adalah alat yang digunakan untuk menukar dan mengubah temperatur fluida atau mengubah fasa fluida dengan cara mempertukarkan kalornya dengan fluida lain. Arti dari mempertukarkan disini adalah memberikan atau mengambil kalor. Alat penukar kalor memiliki tujuan untuk mengontrol suatu sistem (temperatur) dengan menambahkan atau menghilangkan energi termal dari suatu fluida ke fluida lainnya. Walaupun ada banyak perbedaan ukuran, tingkat kesempurnaan, dan perbedaan jenis alat penukar kalor, semua alat penukar kalor menggunakan elemen– elemen konduksi termal yang pada umumnya berupa tabung atau plat untuk memisahkan dua fluida. Salah satu dari elemen tersebut, memindahkan energi kalor ke elemen yang lainnya (Bizzy, Setiadi, 2013).

Perpindahan panas tersebut baik secara langsung maupun secara tidak langsung. Pada kebanyakan sistem kedua fluida ini tidak mengalami kontak langsung. Kontak langsung alat penukar kalor terjadi sebagai contoh pada gas kalor yang terfluidisasi dalam cairan dingin untuk meningkatkan temperatur cairan atau



mendinginkan gas. Alat penukar panas banyak digunakan pada berbagai instalasi industri, antara lain pada *boiler, condensor, cooler, cooling tower*.

Proses perpindahan panas tersebut dapat terjadi secara langsung maupun tidak langsung. Maksudnya adalah :

1) Pada alat penukar kalor yang langsung, fluida yang panas akan bercampur secara langsung dengan fluida dingin (tanpa adanya pemisah) dalam suatu bejana atau ruangan tertentu. Contohnya adalah *clinker cooler* dimana antara *clinker* yang panas dengan udara pendingin berkontak langsung. Contoh yang lain adalah *cooling tower* untuk mendinginkan air pendingin kondenser pada instalasi mesin pendingin sentral atau PLTU, dimana antara air hangat yang didinginkan oleh udara sekitar saling berkontak seperti layaknya air mancur.

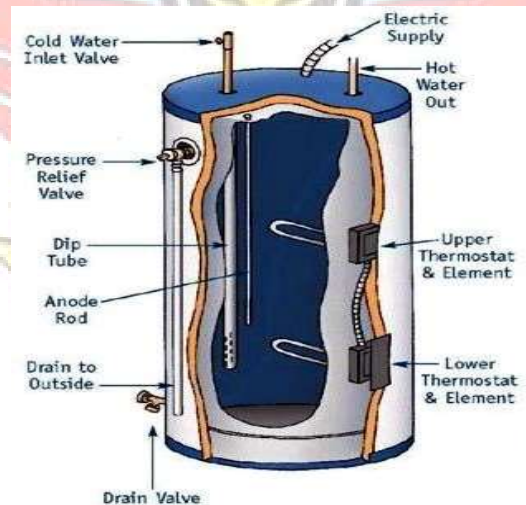
2) Pada alat penukar kalor yang tidak langsung, fluida panas tidak berhubungan langsung dengan fluida dingin. Jadi proses perpindahan panas itu mempunyai media perantara, seperti pipa, pelat atau peralatan jenis lainnya. Untuk meningkatkan efektivitas pertukaran energi, biasanya bahan permukaan pemisah dipilih dari bahan-bahan yang memiliki konduktivitas termal yang tinggi seperti tembaga dan aluminium. Contoh dari penukar kalor seperti ini sering kita jumpai antara lain radiator mobil, evaporator AC.



## 2.4 Jenis – Jenis Alat Pemanas Air / *Water Heater*

### 1. Pemanas Air Listrik

Tipe ini merupakan tipe pemanas air yang paling umum digunakan. Prinsip kerja pemanas air listrik adalah dengan cara mengalirkan air dalam sebuah tangki berisolasi yang dilengkapi dengan elemen pemanas yang akan memanaskan air karena adanya arus listrik. Pemanas air listrik dilengkapi dengan adanya *thermostat* sehingga sistem dapat mati/hidup secara otomatis. Ketika air panas digunakan, *supply* air akan masuk ke dalam tangki yang menyebabkan turunnya temperatur air di tangki. Penurunan temperatur akan mengaktifkan sistem pemanas sampai temperatur air panas tertentu tercapai. Kekurangannya adalah dibutuhkan energi listrik yang besar untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan (Nurhalim, 2011).

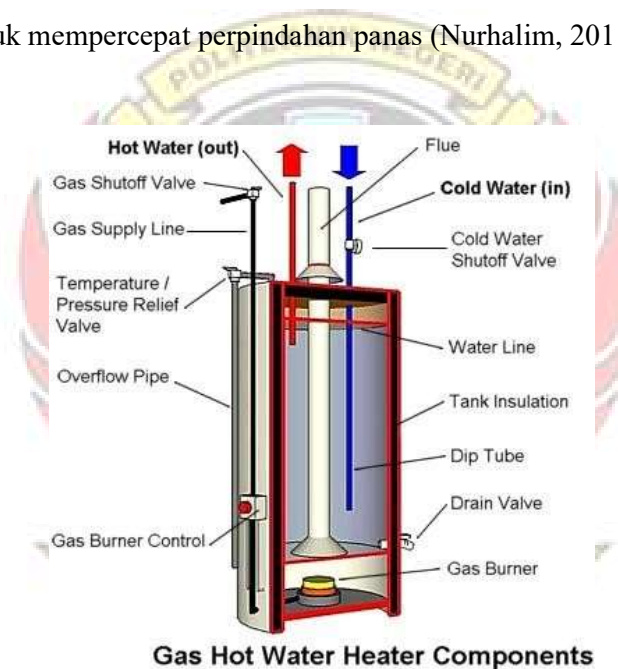


Gambar 2.1 Pemanas Air Listrik

Sumber: Nurhalim, 2011

## 2. Pemanas Air Berbahan Bakar Gas

Prinsip kerjanya adalah dengan melewati air melalui pipa-pipa kedalam sebuah tangki yang diisolasi sekelilingnya, kemudian pada bagian bawah tangki tersebut dibakar dengan menggunakan gas, untuk menghasilkan air panas. Untuk memperluas bidang perpindahan panas biasanya ditambahkan sirip-sirip. Perluasan bidang perpindahan panas diperlukan agar input energi lebih besar sehingga temperatur yang diperoleh lebih tinggi. Selain itu digunakan pula pipa-pipa tembaga untuk mempercepat perpindahan panas (Nurhalim, 2011).



Gambar 2.2 Pemanas Air Berbahan Bakar Gas

Sumber : Nurhalim, 2011

## 3. Pemanas Air Berbahan Bakar Surya

Tipe ini merupakan tipe yang ramah lingkungan karena menggunakan radiasi panas matahari sebagai sumber energinya, tetapi untuk harga alat ini jauh lebih mahal. Prinsip kerjanya adalah dengan memanfaatkan energi radiasi matahari yang

diserap oleh *absorber*, kemudian air panas ditampung di dalam tangki yang diisolasi. Fluida mengalir dengan cara memanfaatkan perbedaan massa jenis air di dalam tangki. Beberapa sistem pemanas telah dilengkapi dengan heater tambahan sehingga dapat memanaskan air walaupun tidak ada sinar matahari. Pemanas air tenaga surya yang paling umum adalah jenis pemanas air tenaga surya plat datar. Kekurangannya adalah pemasangan yang lebih rumit (diletakkan di atas atap rumah) dan panas yang dihasilkan akan tergantung dari panas matahari yang ada. Apabila panas matahari yang dibutuhkan tidak cukup untuk memanaskan air yang ada, maka pemanas listrik yang ada bekerja untuk memanaskan air. Jadi dibutuhkan energi listrik tambahan lagi (Nurhalim, 2011).

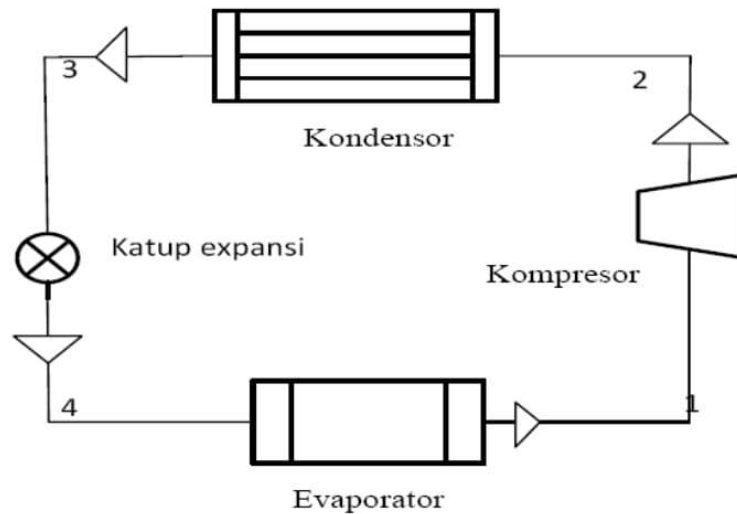


Gambar 2.3 Pemanas Air Tenaga Surya

Sumber: Wika Industri Energi, 2010

## 2.5 Siklus Refrigerasi

### 2.5.1 Komponen Utama Sistem Pendingin



Gambar 2.4 Skema Sistem Pendingin

Sumber: Ambarita, 2010

#### 1. Kompresor

Kompresor adalah jantung dari sistem kompresi uap, karena kompresor adalah pemompa bahan pendingin keseluruhan sistem. Pada sistem refrigerasi kompresor bekerja membuat perbedaan tekanan, sehingga bahan pendingin dapat mengalir dari satu bagian ke bagian yang lain dalam sistem. Karena ada perbedaan tekanan antara sisi tekanan tinggi dan sisi tekanan rendah, maka bahan pendingin dapat mengalir melalui alat pengatur bahan pendingin ke evaporator (Siagian, 2015) kompresor dalam system refrigerasi berfungsi untuk :

- Menurunkan tekanan di dalam evaporator, sehingga bahan pendingin cair di evaporator dapat mendidih atau menguap pada suhu yang lebih rendah dan menyerap panas lebih banyak dari ruang di dekat evaporator.
- Menghisap bahan pendingin gas dari evaporator dengan suhu rendah dan tekanan rendah lalu memampatkan gas tersebut sehingga menjadi gas suhu tinggi dan tekanan tinggi. Kemudian mengalirkan ke kondensor, sehingga gas tersebut dapat memberikan panasnya kepada zat yang mendinginkan kondensor lalu mengembun.

## 2. Kondensor

Kondensor berfungsi untuk membuang kalor dan mengubah wujud bahan pendingin dari gas menjadi cair. Selain itu kondensor juga digunakan untuk membuat kondensasi bahan pendingin gas dari kompresor dengan suhu tinggi dan tekanan tinggi. Laju perpindahan kalor yang dibutuhkan di dalam kondensor merupakan fungsi dari kapasitas refrigerasi, suhu penguapan serta suhu pengembunan. Uap refrigerant yang bertekanan dan bertemperatur tinggi pada akhir kompresi dapat dengan mudah dicairkan dengan mendinginkannya dengan air pendingin (atau dengan udara pendingin pada system dengan pendinginan udara) yang ada pada temperature normal. Dengan kata lain, uap refrigerant menyerahkan panasnya (kalor laten pengembunan) kepada air pendingin (atau udara pendingin) di dalam kondensor, sehingga mengembun dan menjadi cair. Jadi, karena air (udara) pendingin menyerap panas dari refrigerant, maka ia akan menjadi panas pada waktu keluar dari kondensor. Selama refrigerant mengalami perubahan dari fase uap ke fase cair, di mana terdapat campuran refrigerant dalam fase uap dan

cair, tekanan (tekanan pengembunan) dan temperaturnya (temperature pengembunan) konstan. Oleh karena itu temperaturnya dapat dicari dengan mengukur tekanannya. Kalor yang dikeluarkan di dalam kondensor adalah jumlah kalor yang diperoleh dari udara yang mengalir melalui evaporator (kapasitas pendinginan), dan kerja (energi) yang diberikan oleh kompresor kepada fluida kerja. Dalam hal penyegaran udara, jumlah kalor tersebut kira-kira sama dengan 1,2 kali kapasitas pendinginannya. Uap refrigerant menjadi cair sempurna di dalam kondensor, kemudian dialirkan ke dalam pipa evaporator melalui katup ekspansi. Dalam hal ini, temperature refrigerant cair biasanya 2 –3°C lebih rendah dari pada temperature refrigerant cair jenuh pada tekanan kondensasinya. Temperature tersebut menyatakan besarnya derajat pendinginan lanjut (*degree of subcooling*) (Siagian, 2015).

### 3. Evaporator

Evaporator berfungsi untuk menyerap panas dari udara atau benda di dalam lemari es dan mendinginkannya. Kemudian membuang kalor tersebut melalui kondensor diruang yang tidak didinginkan. Kompresor yang sedang bekerja menghisap bahan pendingin gas dari evaporator, sehingga tekanan didalam evaporator menjadi rendah dan vakum. Evaporator fungsinya kebalikan dari kondensor, yaitu membuang panas kepada udara sekitar tetapi untuk mengambil panas dari udara didekatnya. Perencanaan evaporator harus mencakup penguapan yang efektif dari bahan pendingin dengan penurunan tekanan yang minimum dan pengambilan panas dari zat yang didinginkan secara efisien. Perencanaan evaporator tergantung dalam penem- patannya dan zat yang akan langsung didinginkan apakah

berwujud gas, cair atau padat. Pada semua keadaan beban, bahan pendingin akan penguap waktu mengalir sepanjang pipa evaporator atau permukaan evaporator dan diusahakan agar cairan tetap membasai semua bagian dari evaporator. Evaporator (penguap) yang dipakai berbentuk pipa bersirip pelat. Tekanan cairan refrigerant yang diturunkan pada katup ekspansi, didistribusikan secara merata ke dalam pipa evaporator, oleh distributor refrigerant. Dalam hal tersebut refrigerant akan menguap dan menyerap kalor dari udara ruangan yang bdialirkan melalui permukaan luar dari pipa evaporator. Apabila udara didinginkan (di bawah titik embun), maka air yang ada dalam udara akan mengembun pada permukaan evaporator, kemudian ditampung dan dialirkan keluar. Jadi, cairan refrigerant diuapkan secara berangsur – angsur karena menerima kalor sebanyak kalor laten penguapan, selama mengalir di dalam setiap pipa dari koil evaporator. Selama proses penguapan itu, di dalam pipa akan terdapat campuran refrigerant dalam fase cair dan gas. Dalam keadaan tersebut, tekanan (tekanan penguapan) dan temperaturnya (temperature penguapan) konstan. Oleh karena itu temperaturnya dapat dicari dengan mengukur tekanan refrigerant di dalam evaporator. Uap refrigerant (uap jenuh kering) yang terjadi karena penguapan sempurna di dalam pipa, dikumpulkan di dalam sebuah penampung uap (*header*).Selanjutnya, uap tersebut diisap oleh kompresor (Siagian, 2015).

#### 4. Ekspansi

Alat ekspansi mempunyai dua fungsi yaitu menurunkan tekanan refrigeran cair dan mengatur aliran refrigeran ke evaporator. Adapun Jenis alat-alat ekspansi, yaitu:



a. Pipa kapiler

Pipa kapiler dibuat dari pipa tembaga dengan lubang dalam yang sangat kecil. Panjang dan lubang kapiler dapat mengontrol jumlah bahan pendingin yang mengalir ke evaporator.

b. Katup ekspansi tekanan konstan

Katup ekspansi tekanan konstan berfungsi mempertahankan tekanan yang konstan pada sisi keluarannya, yang merupakan masukan evaporator. Katup tersebut mengindera tekanan evaporator, dan bila tekanan tersebut turun kebawah sampai batas kendali, maka katub membuka lebih besar. Bila tekananevaporator naik keatas batas kendali, katup tersebut menutup sebagian.

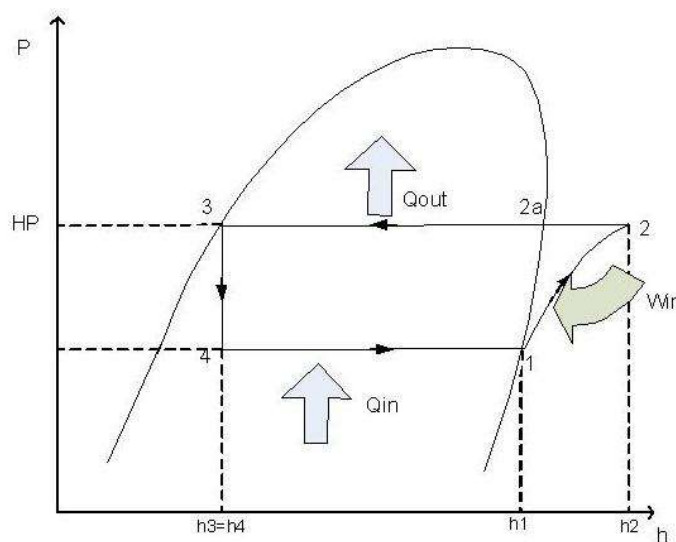
c. Katup apung (*float valve*)

Katup apung adalah suatu jenis katup ekspansi yang mempertahankan cairan berada pada level yang konstan didalam suatu wadah atau evaporator. Dengan mempertahankan level cairan didalam evaporator, katup apung selalu menciptakan kondisi aliran yang seimbang antara kompresor dan katup itu sendiri. Setiap alat tersebut terakhir dirancang untuk suatu penurunan tekanan tertentu. Katup ekspansi yang biasa dipergunakan adalah katup ekspansi termostatik yang dapat mengatur laju aliran refrigerant, yaitu agar derajat super panas uap refrigerant di dalam evaporator dapat diusahakan konstan. Dalam penyegar udara yang kecil, dipergunakan pipa kapilar sebagai pengganti katup ekspansi. Diameter dalam dan panjang dari pipa kapilar tersebut ditentukan berdasarkan besarnya perbedaan tekanan yang diinginkan, antara bagian yang bertekanan tinggi dan bagian yang



bertekanan rendah, dan jumlah refrigerant yang bersirkulasi. Cairan refrigerant mengalir ke dalam evaporator, tekanannya turun dan menerima kalor penguapan dari udara, sehingga menguap secara berangsur –angsur. Selanjutnya proses siklus tersebut di atas terjadi berulang-ulang (Siagian, 2015).

### 2.5.2 Siklus Kompresi Uap Standar



Gambar 2.5 diagram P-h dari Siklus Kompresi Uap Ideal

Menurut Stoecker dan Jones (1982), siklus refrigerasi kompresi uap ideal terdiri dari empat proses sebagai berikut :

#### 1. Proses Kompresi

Proses kompresi berlangsung dari titik 1 ke titik 2. Pada siklus sederhana diasumsikan refrigeran tidak mengalami perubahan kondisi selama mengalir di jalur hisap. Proses kompresi diasumsikan isentropik sehingga pada diagram tekanan dan entalpi berada pada satu garis entropi konstan, dan titik 2 berada pada kondisi super

panas. Proses kompresi memerlukan kerja dari luar dan entalpi uap naik dari  $h_1$  ke  $h_2$ , besarnya kenaikan ini sama dengan besarnya kerja kompresi yang dilakukan pada uap refrigeran.

$$Q_{\text{kom}} = \dot{m} (h_2 - h_1) \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana:

$Q_{\text{kom}}$  = besarnya kerja kompresi (kw)

$\dot{m}$  = laju aliran massa refrigeran (kg/s)

$h_1$  = entalpi refrigeran saat keluar evaporator (kJ/kg)

$h_2$  = entalpi refrigeran saat masuk kondensor (kJ/kg)

## 2. Proses Kondensasi

Proses 2-3 merupakan proses kondensasi yang terjadi pada kondensor, uap panas refrigeran dari kompresor didinginkan oleh fluida sampai pada temperatur kondensasi, kemudian uap tersebut dikondensasikan. Pada titik 2 refrigeran pada kondisi uap jenuh pada tekanan dan temperatur kondensasi. Proses 2-3 terjadi pada tekanan konstan, dan jumlah panas yang dipindahkan selama proses ini adalah bedaentalpi antara titik 2 dan 3.

$$Q_{\text{kom}} = \dot{m} (h_2 - h_3) \dots \dots \dots (2.2)$$

dimana :

$Q_{\text{kom}}$  = besarnya kapasitas kondensor ( kw )

$\dot{m}$  = laju aliran massa refrigeran (kg/s)

$h_2$  = entalpi refrigeran saat masuk kondensor ( kJ/kg )

$h_3$  =entalpi refrigerant saat keluar kondensor ( kJ/kg )

### 3. Proses Ekspansi

Proses ekspansi berlangsung dari titik 3 ke titik 4. Pada proses ini terjadi proses penurunan tekanan refrigeran dari tekanan kondensasi (titik 3) menjadi tekanan evaporasi (titik 4). Pada waktu cairan di ekspansi melalui katup ekspansi atau pipa kapiler ke evaporator, temperatur refrigeran juga turun dari temperatur kondensat ke temperatur evaporasi. Proses 3-4 merupakan proses ekspansi adiabatik dimana entalpi fluida tidak berubah disepanjang proses. Refrigeran pada titik 4 berada pada kondisi campuran-uap.

$$h_3 = h_4 \dots\dots\dots(2.3)$$

### 4. Proses Evaporasi

Proses 4-1 adalah proses penguapan yang terjadi pada evaporator dan berlangsung pada tekanan konstan. Pada titik 1 seluruh refrigeran berada pada kondisi uap jenuh. Selama proses 4-1 entalpi refrigeran naik akibat penyerapan kalori dari ruang refrigerasi. Besarnya kalor yang diserap adalah bedaentalpi titik 1 dan titik 4 biasa disebut dengan efek pendinginan.

$$Q_{\text{evap}} = \dot{m} (h_1 - h_4) \dots\dots\dots(2.4)$$

dimana :

$Q_{\text{evap}}$  = besarnya kapasitas evaporator ( kw )

$\dot{m}$  = laju aliran massa refrigeran (kg/s)

$h_1$  = entalpi refrigeran saat keluar evaporator ( kJ/kg )

$h_4$  = entalpi refrigeran saat masuk evaporator ( kJ/kg )

## 2.6 Pengaplikasian dan pemanfaatan panas refrigeran AC

Pengkondisi udara umumnya mengkonsumsi energi listrik untuk beroperasi yang besarnya tergantung dari kapasitas pendinginannya, sedangkan pemanas air memiliki sumber energi yang lebih bervariasi yaitu gas, listrik, dan surya (Santoso, Setiaji, 2013).

Sistem pemanas air yang memanfaatkan panas buang dari sistem pendinginan. suhu freon diturunkan lagi (dibuang) pada kondensor dengan cara ditiup dengan kipas. Sebelum masuk kondensor, aliran freon panas tersebut dibelokkan kedalam tangki yang berisi air dingin. Di dalam tangki ada pipa spiral yang disebut *Heat Exchanger*. Sehingga terjadi kontak antara freon panas dan air dingin pada *Heat Exchanger*. Air yang semula dingin perlahan akan memanas sesuai dengan suhu freon, sebaliknya freon yang semula sangat panas akan sedikit menurun temperaturnya sebagai hasil kontak dengan air dingin tersebut. Sebagian kalor dari refrigeran yang sudah dikompresi oleh kompresor digunakan untuk memanaskan air dengan bantuan alat penukar kalor yang dapat memindahkan kalor semaksimal mungkin dari refrigeran tanpa menyebabkan pressure drop berlebihan yang dapat mempengaruhi kinerja sistem pendingin (Nurhalim, 2011).

Mesin pendingin yang digunakan baik untuk tujuan pendinginan dan untuk tujuan pemanasan secara bersamaan dinamakan mesin refrigerasi hibrida (*Hybrid Refrigeration Machine*) untuk menjaga keseimbangan termodinamika agar proses pendinginan dan pemanasan berlangsung dengan baik pada mesin refrigerasi hibrida, maka sebagian panas tersebut harus dibuang ke lingkungan sekitar (Aziz, 2015).

## 2.7 Penelitian Terdahulu

Pramacakrayuda dkk (2010) melakukan penelitian dengan judul Analisis Performansi Sistem Pendingin Ruangan Dikombinasikan dengan *Water Heater*. Penelitian ini Memodifikasi *AC Window* dengan penambahan tabung pemanas air bertujuan untuk memanfaatkan panas yang akan dibuang kondensor menuju lingkungan untuk memanaskan air. Tabung Pemanas dipasang pada Penelitian dilakukan dengan melihat pengaruh penambahan suatu tabung pemanas air terhadap *COP (Coefficient of Performance)*, laju pendinginan ruangan, serta laju pemanasan air dalam tabung pada *AC Window*. Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa *COP AC Window* dengan penambahan tabung pemanas mengalami penurunan sebesar 0,3369 kJ/s, serta penurunan pada laju pendinginan.

Aminanta dan Ichsani (2016) melakukan penelitian dengan judul Rancang Bangun dan Studi Eksperimen Alat Penukar Panas untuk Memanfaatkan Energi *Refrigerant* Keluar Kompresor AC sebagai Pemanas Air pada ST/D=6 dengan Variasi Volume Air. Penelitian ini memanfaatkan panas yang dihasilkan oleh fluida kerja dalam hal ini refrigerant dari sistem pendingin adalah teknologi *heat recovery water heater*, dimana sebelum panas dibuang ke lingkungan melalui kondensor, refrigeran panas yang keluar dari kompresor dilewatkan melalui water heater untuk diambil panasnya oleh air sebelum masuk ke komponen kondenser. Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa pengaruh variasi volume air terhadap karakteristik perpindahan panas adalah waktu pemanasan berbanding

lurus terhadap besarnya volume water heater, dimana untuk memanaskan air hingga mencapai temperature 45°C pada volume air 75 liter membutuhkan waktu 210 menit, volume 85 liter membutuhkan waktu 240 menit dan volume 100 liter membutuhkan waktu 255 menit. Dan didapatkan kenaikan *Coefficient of Performance* (COP) dengan penambahan water heater pada sistem refrigerasi pada volume air 75 liter sebesar 4,44, pada volume 85 liter 4,49 dan volume 100 liter 4,54. Kemudian juga didapatkan nilai kerja kompresor pada setiap variasi volume air, dimana pada volume 75 liter kerja kompresor adalah 0,5 kW, volume 85 liter kerja kompresor sebesar 0,494 kW dan volume 100 liter sebesar 0,489 kW.

Syam dkk (2019) melakukan penelitian dengan judul Potensi Panas Terbuang Kondensor AC Sebagai Sumber Pemanas Pada *Cabinet Dryer*. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji potensi panas terbuang kondensor AC dan membandingkan potensi sesungguhnya yang dimiliki oleh panas terbuang kondensor AC sebagai sumber pemanas untuk alat pengering. Penelitian ini dilakukan dengan mengukur suhu keluaran kondensor AC pada saluran antara kondensor dan alat pengering, plenum chamber, dan rak-rak pengering, serta penurunan massa bahan yang dikeringkan, kadar air, dan kelembaban. Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa panas terbuang kondensor AC sangat potensial digunakan untuk mengeringkan bahan herbal, karena pengeringan berjalan dalam suhu yang relatif rendah. Panas keluaran dari kondensor dapat mencapai 42.4°C dan kelembaban udara 31%. Untuk herbal tanaman kunyit pengeringan dapat berlangsung selama 6 jam hingga bahan mencapai kadar air 5-6% sesuai SNI.



Konrad dkk (2015) melakukan penelitian dengan judul Pemanfaatan Energi Panas Pada Mesin Pengkondisian Udara 2 PK Sebagai Media Pemanas Air Mandi. Penelitian ini memanfaatkan energi panas yang terbuang dari AC dengan menambah pipa yang berasal dari kompressor menuju kondensor untuk memanaskan air. Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa daya aktual mengalami kenaikan dari 1,357 Kw menjadi 1,447 Kw. Kalor yang terbuang pada kondensor mengalami penurunan dari 154,546 kJ/kg menjadi 152,137 kJ/kg. Temperatur yang dihasilkan dari tangki air berkapasitas 20 liter yaitu 63,0 OC dalam waktu 120 menit.

Koswara dkk (2019) melakukan penelitian dengan judul Kaji Eksperimen Performa AC  $1/2$  PK Menggunakan *Water Heater*. Penelitian ini bertujuan memanfaatkan panas yang terbuang dari kondensor untuk memanaskan air dengan menggunakan perangkat tambahan yaitu *Water Heater*, pada penelitian ini dilakukan dua pengujian yaitu pengujian AC tanpa menggunakan *Water Heater* dan pengujian AC dengan menggunakan *Water Heater* (ACWH). Pengambilan data untuk kedua pengujian tersebut dilakukan setiap 10 menit hingga menemukan keadaan temperatur steady.



Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa kinerja *AC* tanpa *Water Heater* mendapat efek pendinginan sebesar 162,61 kJ / kg sedangkan *AC* menggunakan *Water Heater* mendapat efek pendinginan 161,84 kJ / kg, kemudian *PF AC* tanpa *Water Heater* memperoleh nilai *PF* 16,8 sedangkan *PF AC* yang menggunakan *Water Heater* hanya 11,1. Namun, dengan pendingin udara yang menggunakan *Water Heater* dapat memanaskan air hingga suhu rata-rata adalah 43,5°C dalam 190 menit.



## **BAB III METODE KEGIATAN**

### **3.1 Tempat dan Waktu Kegiatan**

Pembuatan dan pengujian alat pemanas air dengan proses pemanfaatan panas refrigeran AC menggunakan Horizontal Tube ini dilaksanakan di Laboratorium D-3 Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang. Pembuatan dan pengujian dilaksanakan selama 5 bulan mulai pada bulan Maret – Juli 2021.

### **3.2 Alat dan Bahan**

Adapun alat dan bahan yang diperlukan dalam pengerjaan dan pengujian alat pemanas air dengan pemanfaatan outdoor AC adalah sebagai berikut :

#### **3.2.1 Alat**

1. Mesin Las Listrik
2. Gurinda
3. Mesin Bor
4. Gas torch
5. Meteran
6. Termometer
7. Stopwatch
8. Power Meter
9. Pressure Gauge

#### **3.2.2 Bahan**

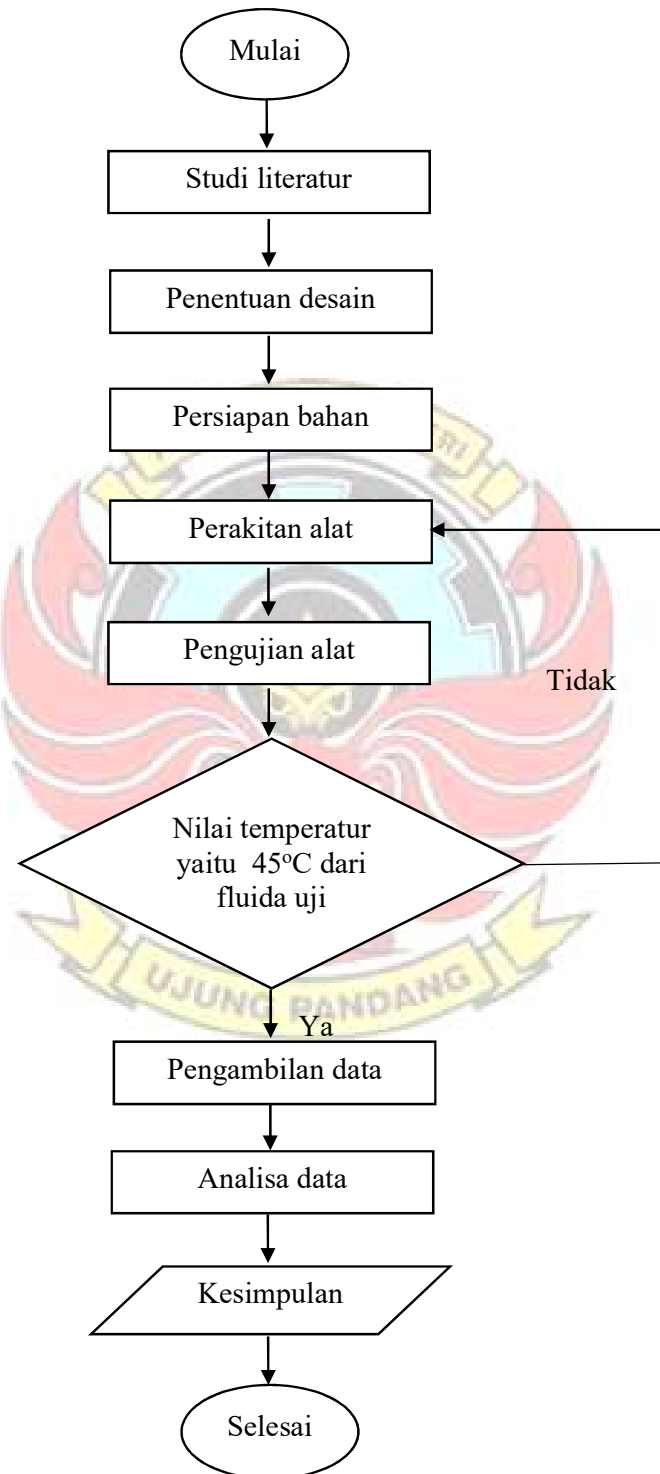
1. AC Split 1 PK
2. Tabung Penampung Air



3. Besi siku
4. Besi plat
5. Besi Hollow
6. Plat Aluminium
7. Freon AC
8. Pipa tembaga
9. Elektroda
10. Kawat las Tembaga
11. Dempul
12. Isolasi Panas

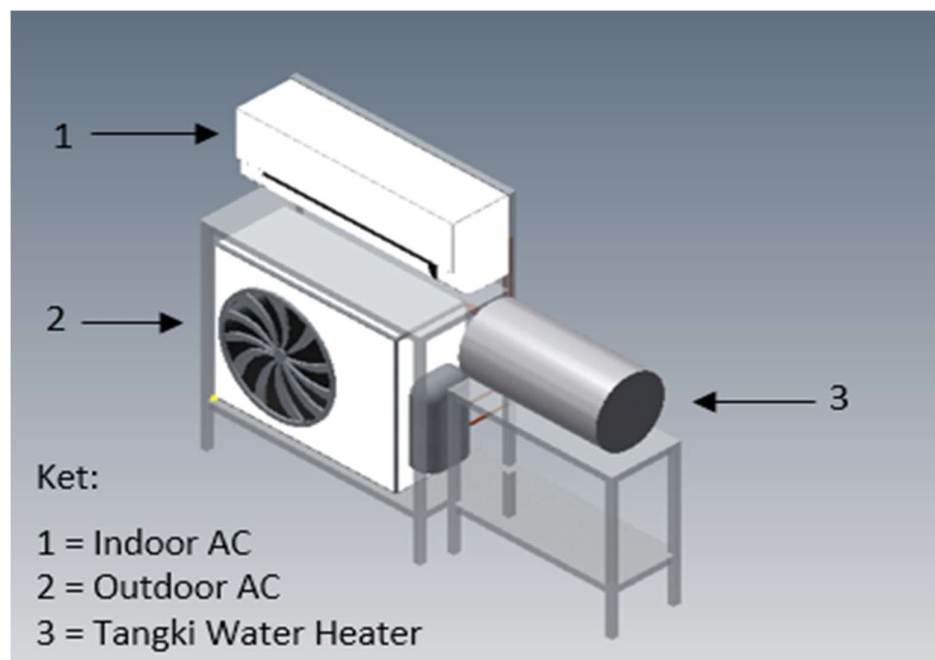


### 3.3 Prosedur Kerja

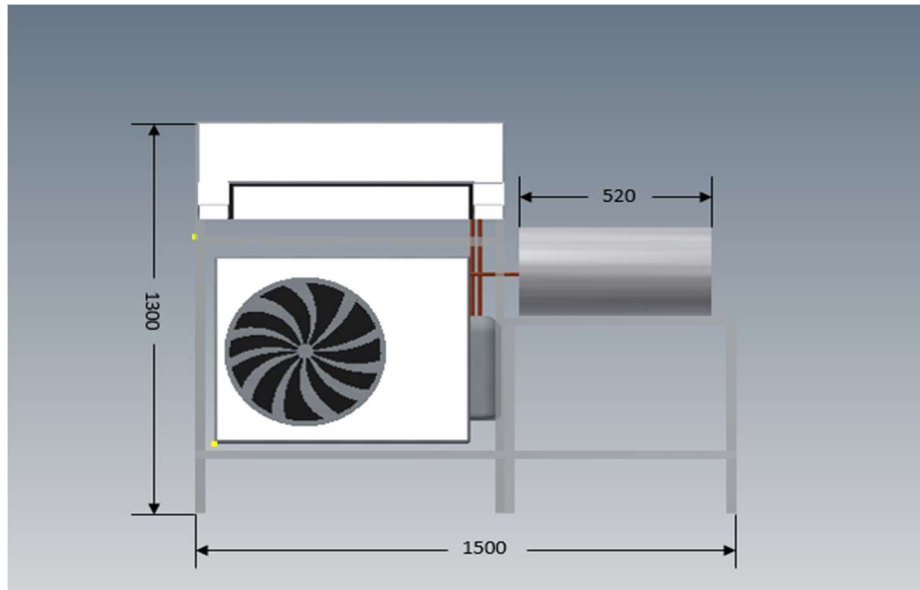


### 3.3.1 Tahap Perancangan

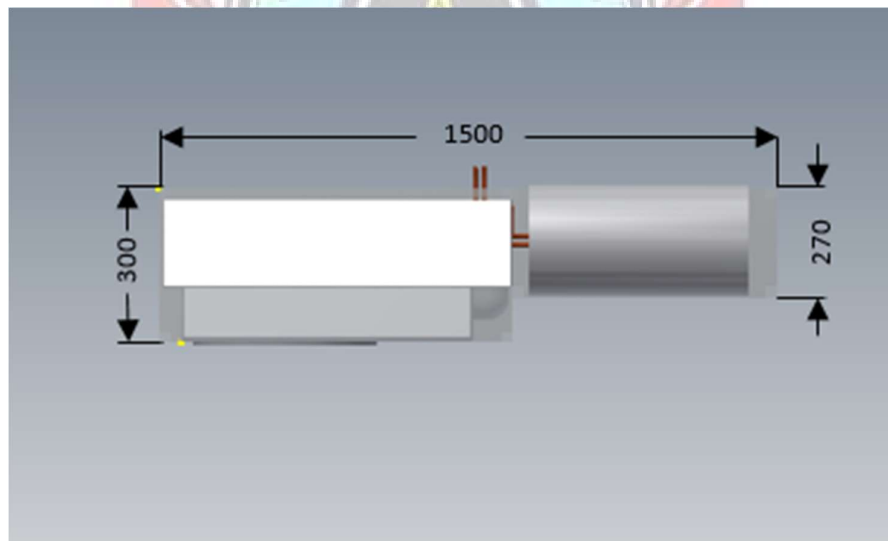
Tahap perancangan merupakan proses mendesain alat dengan kata lain membuat pola rancangan alat yang merupakan langkah awal sebelum digunakan. sehingga desain gambar dari alat pemanas air dengan pemanfaatan panas refrigeran AC dapat dilihat pada Gambar berikut:



Gambar 3.1 Rancangan Alat Pemanas Air dengan Pemanfaatan Panas Refrigeran AC Tampak Samping



Gambar 3.2 Rancangan Alat Pemanas Air dengan Pemanfaatan Panas Refrigeran AC Tampak Depan



Gambar 3.3 Rancangan Alat Pemanas Air dengan Pemanfaatan Panas Refrigeran AC Tampak Atas

Hal-hal yang akan dilakukan dalam perancangan desain alat pemanas air dengan pemanfaatan panas refrigeran AC yaitu bentuk dan penempatan bagian-

bagian dari alat pemanas tersebut. Adapun bagian-bagian terdiri dari 4 bagian utama yaitu :

#### 1. AC Split 1 PK

Sistem AC split digunakan dalam penelitian ini sebagai penghasil panas adalah AC split merk LG ukuran 1 PK. Unit *indoor* terdiri dari evaporator dan unit *outdoor* yang terdiri dari kompresor, kondensor, dan pipa kapiler.

Merek : LG

Model : SU09LTG

*Power input* : 880 W

*Running current* : 4.3 A

Refrigerant : R22

*Capacity cooling* : 9000 Btu/h

*Power source* : 220/240 V, 50 Hz

#### 2. Tangki Air

Tangki penampungan air yang digunakan terbuat dari plat aluminium karna tahan terhadap korosi dengan dilengkapi isolasi panas dengan volume 30 ltr

#### 3.3.2 Tahap perakitan

Perakitan adalah suatu proses penyusunan dalam satu bentuk yang saling mendukung sehingga bentuk mekanisme kerja yang diinginkan bisa terealisasikan.

Proses perakitan dibagi dalam beberapa tahap:

##### a. Penandaan



Penandaan merupakan langkah awal dalam proses perakitan rangka pada alat pemanas. Beberapa bahan yang perlu diukur dan ditandai seperti besi hollow sebagai rangka dari alat pemanas air, Plat Aluminium sebagai dinding dari tabung pemanas air.

b. Pemotongan

Setelah diberi tanda, besi hollow, besi plat dan besi siku dipotong dengan menggunakan gurinda potong. Pemotongan bahan harus teliti agar ukuran bentuk tetap simetris.

c. Penyusunan

Besi hollow yang telah dipotong disambung menggunakan las listrik. Setelah itu pemasangan besi plat dengan menggunakan bor.

d. Pemasangan

Proses ini merupakan tahap penggabungan antara tangki pemanas air dan kondensor AC. Pada tahap ini dipasang pipa sebagai media pemindah kalor dari kompresor ke air pada tangki.

### 3.4 Prosedur Pengujian

Pengujian dan pengambilan data meliputi beberapa bagian, diantaranya yakni :

1. Pengambilan data temperatur yang diukur yaitu temperatur pada pipa yang terletak di empat titik yakni pipa keluar evaporator ,pipa yang memasuki tangki air dan setelah keluar dari tangki air, serta pipa yang memasuki evaporator.
2. Pengambilan data fluida uji sebelum dan ketika dipanaskan.

Prosedur pengujian adalah mulai dari menyiapkan peralatan pengujian, mengisi full tangki air, mengukur temperatur awal air dalam tangki, menyalakan sistem AC.

### 3.5 Pengumpulan Data

Setelah proses pengujian dilakukan, dan alat pemanas air dengan pemanfaatan panas outdoor AC mampu bekerja, maka langkah selanjutnya adalah pengumpulan data. Beberapa parameter yang perlu dicatat antara lain.

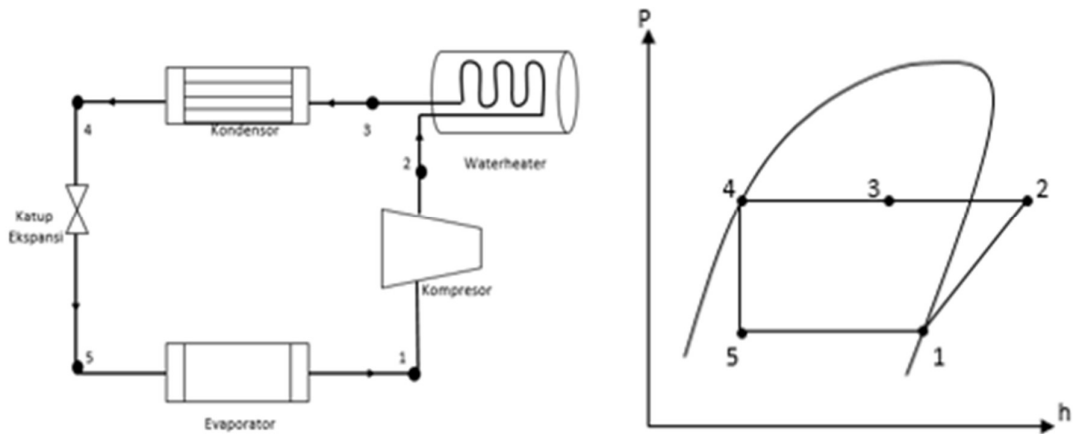
#### 1. Temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )

Temperatur yang diukur yaitu temperatur pada pipa yang terletak di empat titik yaitu temperatur pada pipa yang terletak di empat titik yakni pipa keluar evaporator, pipa yang memasuki tangki air dan setelah keluar dari tangki air, serta pipa yang memasuki evaporator.

#### 2. Waktu (s)

Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai temperatur air  $45^{\circ}\text{C}$ .

### 3.6 Persamaan yang digunakan setelah dikombinasikan dengan waterheater



Gambar 3.4 Siklus dan diagram refrigerasi

#### a. Menghitung Performa AC

- Kalor yang dihasilkan oleh kerja kompresi menggunakan persamaan :

$$q_{kom} = h_2 - h_1 \dots \dots \dots (3.1)$$

Dimana :

$q_{kom}$  = kalor yang dihasilkan oleh kerja kompresi (kj/kg)

$h_1$  = entalpi refrigeran saat masuk kompresor (kj/kg)

$h_2$  = entalpi refrigeran saat keluar kompresor (kj/kg)

- Kalor yang dilepaskan oleh kondensor menggunakan persamaan :

$$q_{kon} = h_3 - h_4 \dots \dots \dots (3.2)$$

Dimana :

$q_{kon}$  = kalor yang dilepaskan oleh kondensor (kJ/kg)

$h_3$  = entalpi refrigeran saat masuk kondensor (kJ/kg)

$h_4$  = entalpi refrigeran saat keluar kondensor (kJ/kg)

- Kalor yang diserap oleh evaporator menggunakan persamaan :

$$q_{evap} = h_1 - h_5 \dots \dots \dots (3.3)$$

Dimana :

$q_{evap}$  = kalor yang diserap oleh evaporator (kJ/kg)

$h_1$  = entalpi refrigeran saat masuk kompresor (kJ/kg)

$h_5$  = entalpi refrigeran saat masuk evaporator (kJ/kg)

- Untuk menghitung COP AC menggunakan persamaan :

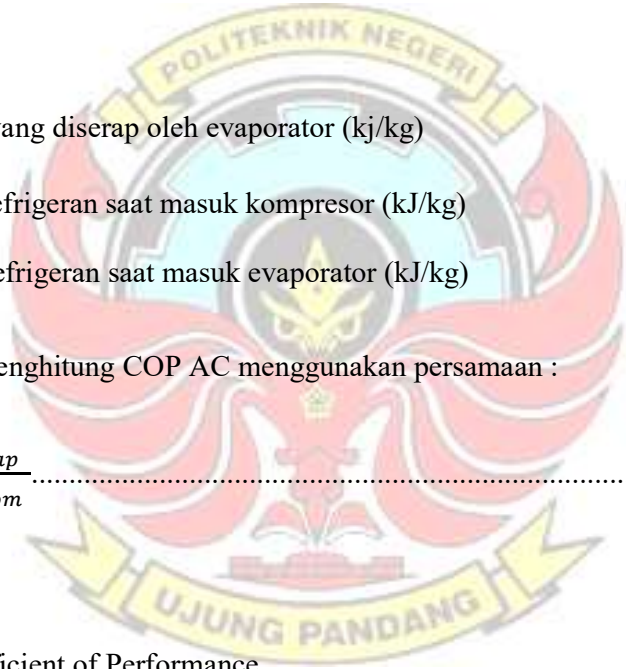
$$COP = \frac{q_{evap}}{q_{kom}} \dots \dots \dots (3.4)$$

Dimana :

COP = Coefficient of Performance

$q_{evap}$  = kalor yang diserap oleh evaporator (kJ/kg)

$q_{kom}$  = kalor yang dihasilkan oleh kerja kompresi (kJ/kg)



b. Menghitung efisiensi waterheater

- Mencari laju aliran refrigeran menggunakan persamaan :

$$\dot{m}_{ref} = \frac{V \cdot I \cdot \cos \varphi}{q_{kom}} \dots \dots \dots (3.5)$$

Dimana :

$\dot{m}_{ref}$  = laju aliran refrigeran (kg/s)

V = tegangan yang masuk kompresor (V)

I = arus yang masuk kompresor (A)

$q_{kom}$  = kalor yang dihasilkan oleh kerja kompresi (kJ/kg)

- Mencari daya kondensor menggunakan persamaan:

$$P_{kon} = \dot{m}_{ref} \cdot (h_3 - h_4) \dots \dots \dots (3.6)$$

Dimana :

$P_{kon}$  = daya kondensor (kw)

$\dot{m}_{ref}$  = laju aliran refrigeran (kg/s)

$h_3$  = entalpi refrigeran saat masuk kondensor (kJ/kg)

$h_4$  = entalpi refrigeran saat keluar kondensor (kJ/kg)

- Mencari daya waterheater menggunakan persamaan:

$$P_{wh} = m_{air} \cdot C_p \cdot \left( \frac{T_{in} - T_{out}}{t} \right) \dots \dots \dots (3.7)$$

Dimana :

$P_{wh}$  = daya water heater (kw)

$m_{air}$  = massa air dalam tangki (l)

$C_p$  = kalor jenis air (kj/kg °C)

$T_{in}$  = Temperatur awal air (°C)

$T_{out}$  = Temperatur air sesudah dipanaskan (°C)

t = waktu (s)

- Menghitung efisiensi water heater menggunakan persamaan:

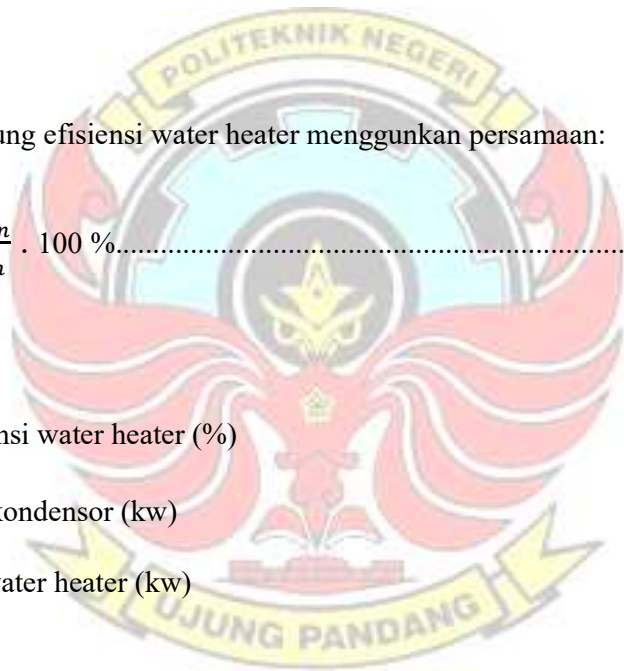
$$\eta_{wh} = \frac{P_{kon}}{P_{wh}} \cdot 100 \% \dots\dots\dots(3.8)$$

Dimana :

$\eta_{wh}$  = efisiensi water heater (%)

$P_{kon}$  = daya kondensor (kw)

$P_{wh}$  = daya water heater (kw)

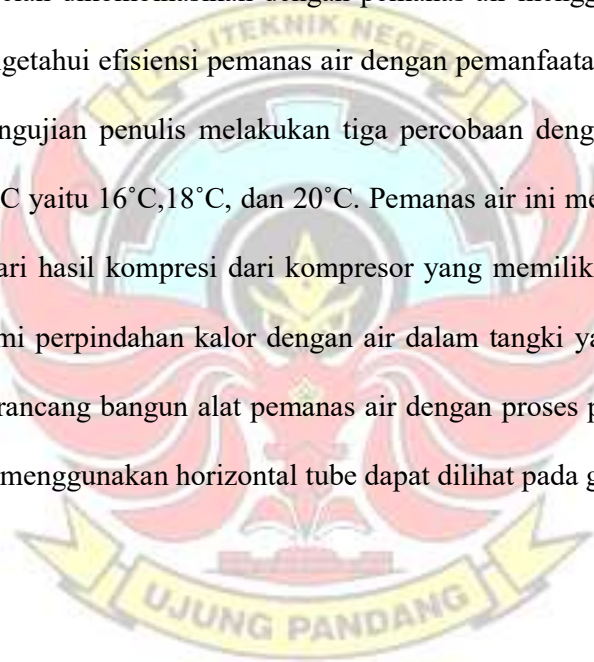


## BAB IV HASIL DAN DESKRIPSI KEGIATAN

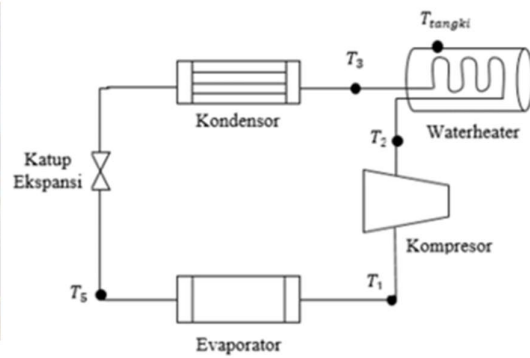
### 4.1 Hasil Perancangan Alat Pemanas Air Dengan Proses Pemanfaatan Panas

#### *Refrigeran AC Menggunakan Horizontal Tube*

Alat pemanas air dengan proses pemanfaatan panas *refrigeran AC* menggunakan *horizontal tube* ini telah berhasil dibuat sesuai dengan tujuan untuk mengetahui kinerja *AC* setelah dikombinasikan dengan pemanas air menggunakan horizontal tube serta mengetahui efisiensi pemanas air dengan pemanfaatan panas *refrigeran AC*. dalam pengujian penulis melakukan tiga percobaan dengan memvariasikan suhu Indoor *AC* yaitu 16°C, 18°C, dan 20°C. Pemanas air ini memanfaatkan panas outdoor *AC* dari hasil kompresi dari kompresor yang memiliki suhu tinggi yang akan mengalami perpindahan kalor dengan air dalam tangki yang memiliki suhu rendah. Hasil rancang bangun alat pemanas air dengan proses pemanfaatan panas *refrigeran AC* menggunakan horizontal tube dapat dilihat pada gambar 4.1.







Ket :

- $T_1$  = temperatur pipa keluar evaporator
- $T_2$  = temperatur pipa masuk water heater
- $T_3$  = temperatur pipa keluar water heater
- $T_5$  = temperatur pipa masuk evaporator
- $T_{tangki}$  = temperatur air dalam tangki

Gambar 4.1 Hasil rancang bangun alat pemanas air dengan proses pemanfaatan panas *refrigeran AC* menggunakan *horizontal tube*.



## 4.2 Tabel Hasil Pengujian

Pengujian alat pemanas air dilakukan pada berbagai variasi suhu Indoor AC, diantaranya yaitu 16°C, 18°C, dan 20° C. Tabel hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.1, 4.2, dan 4.3.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Pada Suhu Indoor AC 16°C

t (WITA)	T <sub>1</sub> (°C)	T <sub>2</sub> (°C)	T <sub>3</sub> (°C)	T <sub>5</sub> (°C)	T tangki (°C)	ket
17,04	26,70	58,70	52,10	8,20	30,40	V = 220 V I = 4,7 A Cos φ = 0,98 Suhu lingkungan = 29°C <i>m<sub>air</sub></i> = 30 ltr
17,06	28,30	71,50	53,20	9,00	32,20	
17,08	26,60	76,70	55,20	10,20	33,00	
17,10	27,10	81,20	55,90	10,30	34,20	
17,12	25,80	84,10	56,80	11,20	35,40	
17,14	24,70	87,10	57,20	11,60	36,50	
17,16	23,90	88,80	58,00	12,00	37,60	
17,18	21,70	90,10	58,70	12,20	38,80	
17,20	21,10	89,70	58,60	12,30	39,90	
17,22	20,60	90,90	59,80	12,90	41,50	
17,24	19,20	90,50	59,40	12,60	41,80	
17,26	18,80	90,70	59,80	13,20	43,10	
17,28	17,00	91,40	60,10	12,80	43,90	
17,30	16,50	91,70	60,50	13,00	45,00	
17,32	15,70	91,30	61,70	15,00	45,50	



Tabel 4.2 Hasil Pengujian Pada Suhu Indoor AC 18°C

t (WITA)	T <sub>1</sub> (°C)	T <sub>2</sub> (°C)	T <sub>3</sub> (°C)	T <sub>5</sub> (°C)	T tangki (°C)	ket
15,18	25,00	63,10	48,20	7,00	30,50	V = 228 V I = 4,3 A Cos φ = 0,97 Suhu lingkungan = 31°C m <sub>air</sub> = 30 ltr
15,20	22,70	68,30	52,30	8,80	31,00	
15,22	21,40	74,50	54,00	10,10	31,80	
15,24	22,50	77,40	54,80	11,30	33,00	
15,26	23,50	79,40	56,40	11,80	34,50	
15,28	24,10	83,40	57,60	13,60	35,80	
15,30	23,70	83,80	58,20	14,60	37,10	
15,32	22,80	87,00	59,20	14,80	38,10	
15,34	23,00	88,40	58,30	14,70	39,00	
15,36	22,90	89,50	59,50	14,60	40,30	
15,38	22,10	89,70	58,80	14,30	41,10	
15,40	21,60	89,90	59,60	14,80	42,30	
15,42	21,50	89,30	59,40	14,50	43,20	
15,44	21,10	89,70	60,50	14,90	44,00	
15,46	20,10	90,50	60,20	14,40	45,00	

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Pada Suhu Indoor AC 20°C

t (WITA)	T <sub>1</sub> (°C)	T <sub>2</sub> (°C)	T <sub>3</sub> (°C)	T <sub>5</sub> (°C)	T tangki (°C)	ket
11,04	25,60	54,60	49,20	6,30	30,40	V = 229 V I = 4,2 A Cos φ = 0,97 Suhu lingkungan = 29°C m <sub>air</sub> = 30 ltr
11,06	24,30	57,60	50,50	7,20	31,30	
11,08	23,90	61,50	51,80	7,60	32,30	
11,10	23,10	64,20	52,90	8,50	33,50	
11,12	22,70	65,10	53,50	8,70	34,40	
11,14	22,00	66,70	54,10	9,70	35,30	
11,16	21,50	68,80	55,40	9,20	36,50	
11,18	20,80	69,00	55,30	10,30	37,40	
11,20	20,10	70,40	55,80	11,00	38,60	
11,22	19,70	70,50	56,60	11,30	39,40	
11,24	19,20	72,60	56,70	10,30	40,50	
11,26	18,90	74,50	56,70	10,80	41,50	
11,28	18,20	75,20	57,40	11,60	42,30	
11,30	17,80	73,10	57,40	11,20	43,20	
11,32	17,50	72,10	57,60	11,40	44,00	
11,34	17,10	70,20	57,70	11,20	44,70	
11,36	16,80	71,30	58,40	11,40	45,10	

### 4.3 Analisis Data

#### 4.3.1 Menghitung Performa AC Setelah Dikombinasikan dengan Pemanas

##### Air Menggunakan Horizontal Tube

Pada tabel 4.1 data 14 dengan temperatur tangki 45°C

Diketahui:

Suhu AC Indoor = 16°C

Suhu lingkungan = 29°C

$T_1 = 16,50 \text{ °C}$

$T_2 = 91,70 \text{ °C}$

$T_3 = 60,50 \text{ °C}$

$T_5 = 13,00 \text{ °C}$

P masukan kompresor = 744,8 kpa

Dengan menggunakan tabel uap R22 (table 1) dan interpolasi, maka enthalpi pada tekanan dan temperatur diatas adalah

$h_1 = 410,65 \text{ kJ/kg}$

$h_3 = 278,36 \text{ kJ/kg}$

$h_5 = 194,05 \text{ kJ/kg}$

Pada tabel uap R22 (table 2) dan interpolasi didapat

$h_2$  pada tekanan 2454,4 kpa = 451,06 kJ/kg

Untuk mencari kerja kompresi digunakan persamaan 3.1 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 q_{kom} &= h_2 - h_1 \\
 &= 451,06 \text{ kJ/kg} - 410,65 \text{ kJ/kg} \\
 &= 40,41 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

Untuk mencari kalor yang dikeluarkan kondensor digunakan persamaan 3.2 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 q_{kon} &= h_3 - h_4 \\
 &= 278,36 \text{ kJ/kg} - 194,05 \text{ kJ/kg} \\
 &= 84,31 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

Untuk mencari kalor yang diserap evaporator digunakan persamaan 3.3 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 q_{evap} &= h_1 - h_5 \\
 &= 410,65 \text{ kJ/kg} - 194,05 \text{ kJ/kg} \\
 &= 216,60 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

Untuk mencari performa AC digunakan persamaan 3.4 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{COP} &= \frac{q_{evap}}{q_{kom}} \\
 &= \frac{216,60 \text{ kJ/kg}}{40,41 \text{ kJ/kg}} \\
 &= 5,36
 \end{aligned}$$

### 4.3.2 Menghitung Efisiensi Pemanas Air Dengan Pemanfaatan Panas Refrigeran AC Menggunakan Horizontal Tube

Pada tabel 4.1 data 14 untuk mencari efisiensi water heater diketahui sebagai berikut:

$$V = 220 \text{ V}$$

$$I = 4,7 \text{ A}$$

$$\text{Cos } \varphi = 0,98$$

$$m_{air} = 30 \text{ ltr}$$

$$Cp \text{ air} = 4,178 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Waktu mencapai suhu air } 45^\circ\text{C} = 26 \text{ mnt} = 1560 \text{ s}$$

Untuk mencari laju aliran refrigeran digunakan persamaan 3.5 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \dot{m}_{ref} &= \frac{V \cdot I \cdot \text{COS } \varphi}{W_{kom}} \\ &= \frac{220 \text{ V} \cdot 4,7 \text{ A} \cdot 0,98}{40,41 \text{ kJ/kg}} \\ &= 0,025 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

Untuk mencari daya kondensor digunakan persamaan 3.6 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P_{kon} &= \dot{m}_{ref} \cdot (h_3 - h_4) \\ &= 0,025 \text{ kg/s} \cdot 84,31 \text{ kJ/kg} \\ &= 2,11 \text{ kw} \end{aligned}$$

Untuk mencari daya waterheater digunakan persamaan 3.7 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P_{wh} &= m_{air} \cdot C_p \cdot \left( \frac{T_{in} - T_{out}}{t} \right) \\ &= 30 \text{ ltr} \cdot 4,178 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C} \cdot \left( \frac{45,00^\circ\text{C} - 30,40^\circ\text{C}}{1560 \text{ s}} \right) \\ &= 1,173 \text{ kw} \end{aligned}$$

Untuk mencari efisiensi waterheater digunakan persamaan 3.8 sebagai berikut:

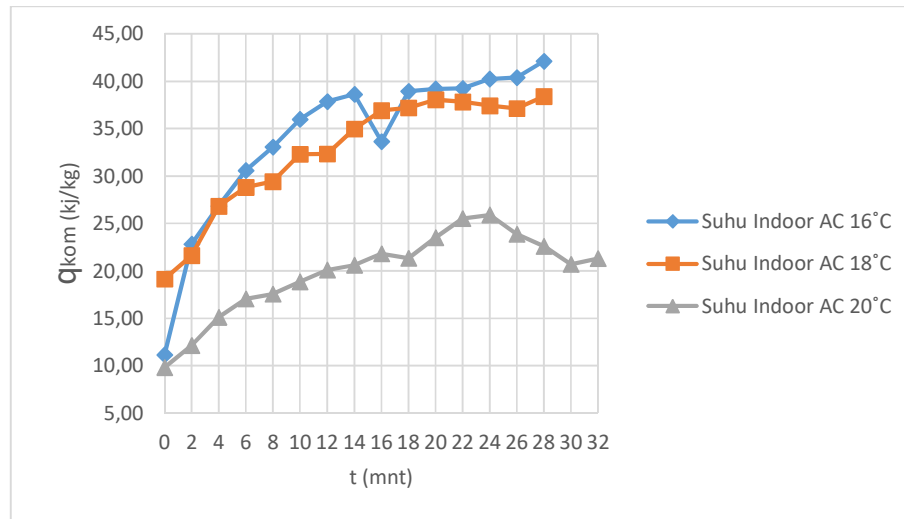
$$\begin{aligned} \eta_{wh} &= \frac{P_{kon}}{P_{wh}} \cdot 100 \% \\ &= \frac{1,173 \text{ kw}}{2,11 \text{ kw}} \cdot 100 \% \\ &= 55,60 \% \end{aligned}$$





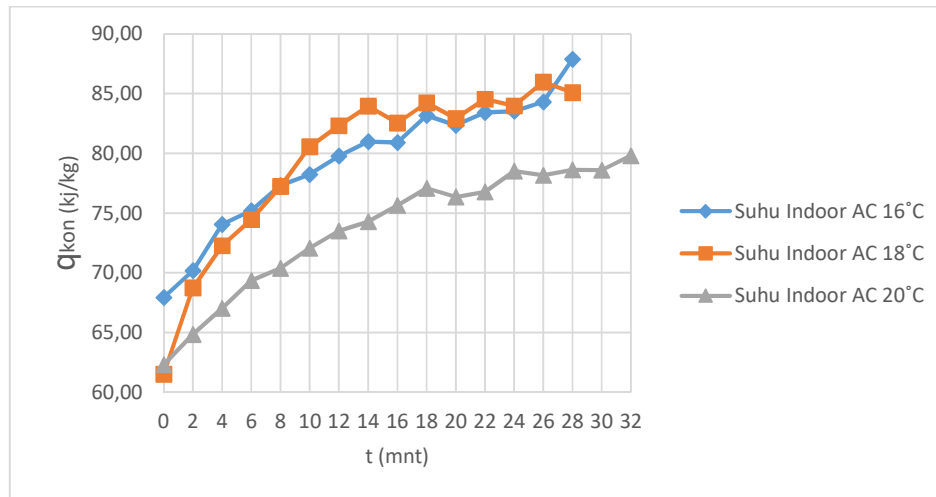
#### 4.4 Kinerja AC Setelah Dikombinasikan Dengan Pemanas Air Menggunakan

##### Horizontal Tube



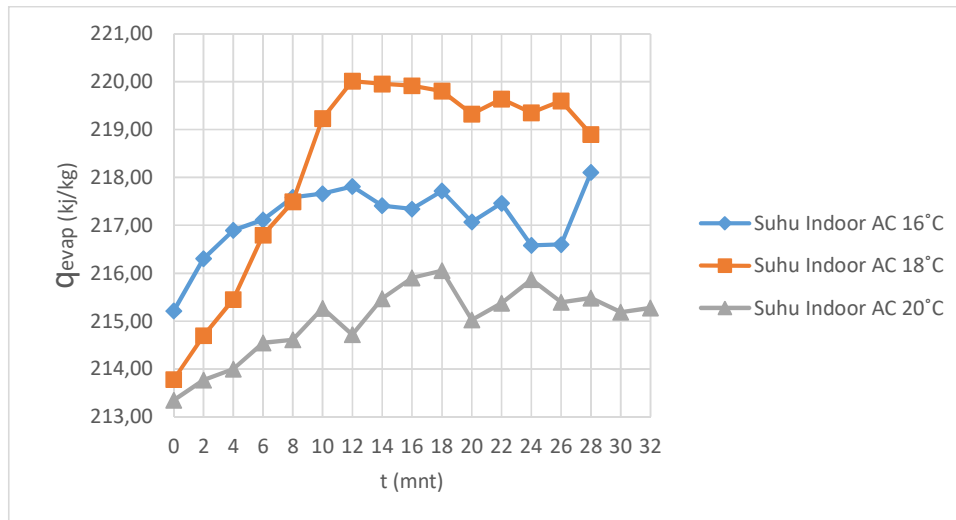
Gambar 4.2 Grafik Hubungan antara kerja kompresor ( $Q_{kom}$ ) dan waktu ( $t$ ) untuk berbagai variasi suhu *indoor AC*

Gambar 4.2 Menunjukkan hubungan kerja kompresor terhadap waktu. Pada berbagai variasi suhu *indoor AC* cenderung mengalami kenaikan kerja kompresor. Terlihat kerja kompresor pada suhu Indoor AC 16°C cenderung lebih besar dari kerja kompresor pada suhu Indoor AC 18°C dan 20°C dikarenakan pada saat suhu Indoor AC 16°C evaporator menyerap kalor yang lebih banyak.



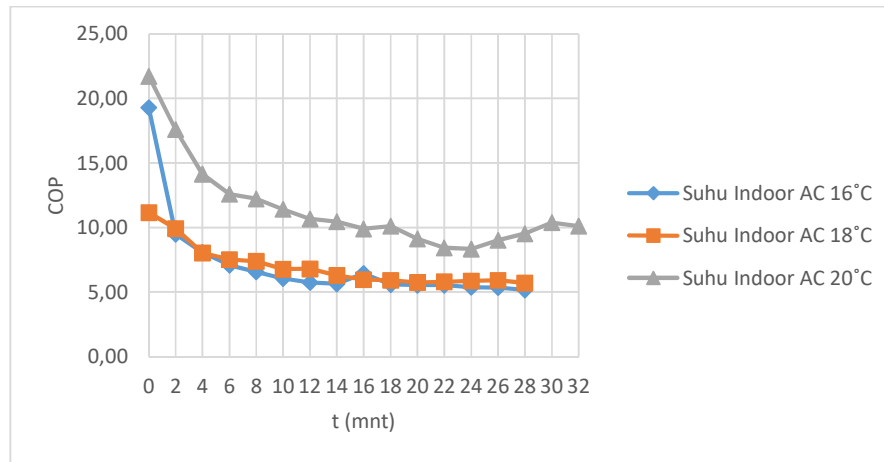
Gambar 4.3 Grafik Hubungan antara kalor kondensor ( $q_{kon}$ ) dan waktu (t) untuk berbagai variasi suhu *indoor AC*.

Gambar 4.3 Menunjukkan hubungan kalor yang dikeluarkan kondensator terhadap waktu. Pada berbagai variasi suhu *indoor AC* cenderung meningkat. Hal tersebut dikarenakan temperatur keluar waterheater yang meningkat seiring meningkatnya temperatur air. Untuk kondisi suhu indoor AC 18°C pada menit ke 10 mengalami peningkatan dikarenakan pengaruh suhu lingkungan yang lebih tinggi sehingga evaporator menyerap kalor yang lebih tinggi.



Gambar 4.4 Grafik Hubungan antara kalor evaporator ( $q_{evap}$ ) dan waktu (t) untuk berbagai variasi suhu *indoor AC*.

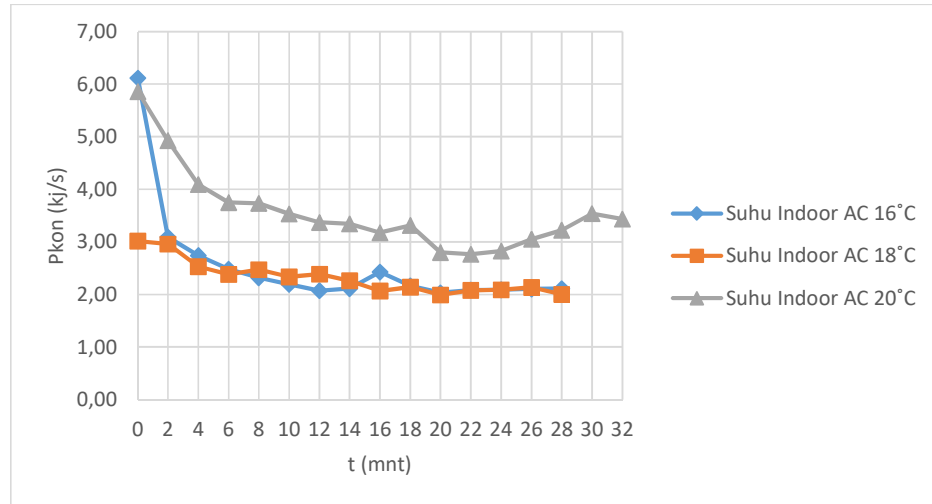
Gambar 4.4 Menunjukkan hubungan kalor yang diserap evaporator terhadap waktu. Pada berbagai variasi suhu *indoor AC* mengalami fluktuatif. Hal tersebut disebabkan kerja evaporator tidak maksimal karena evaporator berada pada ruang terbuka. Untuk kondisi suhu *indoor AC* 18°C pada menit 10 menyerap kalor lebih besar dikarenakan suhu lingkungan lebih tinggi pada saat pengambilan data.



Gambar 4.5 Grafik Hubungan antara performa (COP) dan waktu (t) untuk berbagai variasi suhu *indoor AC*.

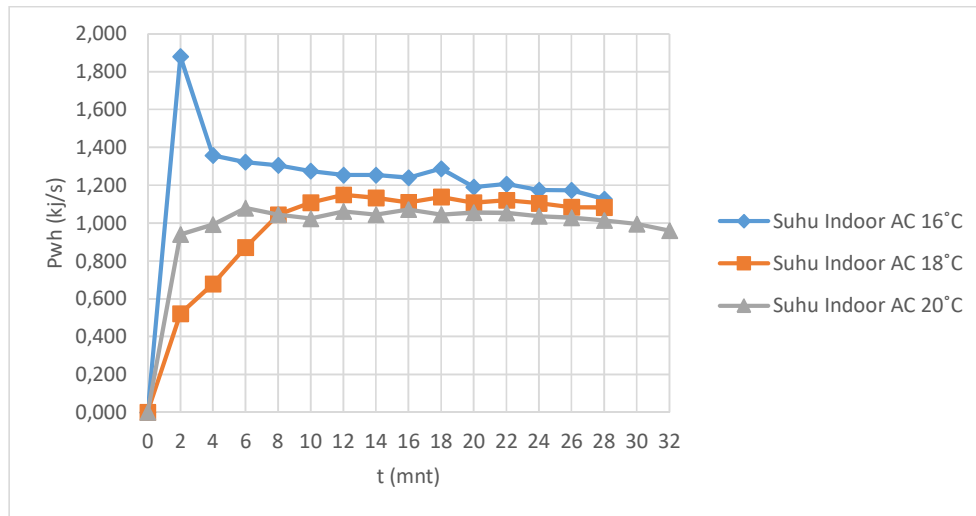
Gambar 4.5 Menunjukkan hubungan performa AC terhadap waktu. Pada berbagai suhu *indoor AC* terlihat performa AC yang lebih besar terjadi pada suhu indoor AC 20°C sedangkan yang terendah pada suhu *indoor AC* 16°C dikarenakan kerja kompresor lebih besar dibandingkan pada suhu *indoor AC* 18°C dan 20°C. untuk kondisi sampai menit ke 4 mengalami penurunan yang cepat dikarenakan pada waktu awal AC beroperasi kerja kompresor yang masih rendah.

#### 4.5 Efisiensi Pemanas Air Dengan Pemanfaatan Panas *Refrigeran AC*



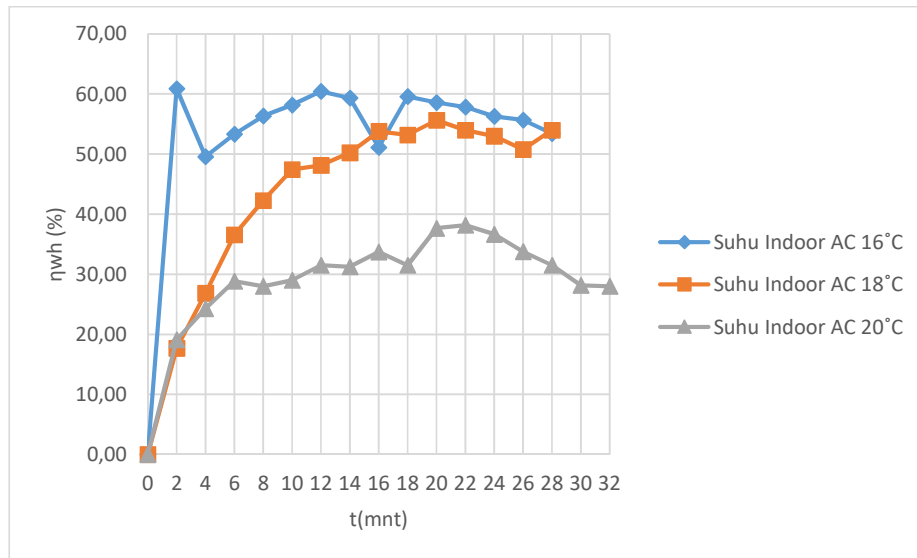
Gambar 4.6 Grafik Hubungan antara Daya kondensor ( $P_{kon}$ ) dan waktu ( $t$ ) untuk berbagai variasi suhu *indoor AC*.

Gambar 4.6 Menunjukkan hubungan Daya kondensor terhadap waktu. Pada berbagai suhu *indoor AC* terlihat daya kondensor yang lebih besar terjadi pada suhu *indoor AC* 20°C sedangkan yang terendah pada suhu *indoor AC* 16°C dikarenakan temperatur air mengalami kenaikan lebih tinggi yang menyebabkan temperatur refrigeran keluar water heater yang akan masuk kondensor mengalami penurunan.



Gambar 4.7 Grafik Hubungan antara daya waterheater (Pwh) dan waktu (t) untuk berbagai variasi suhu *indoor AC*

Gambar 4.7 Menunjukkan hubungan daya water heater terhadap waktu. Pada berbagai suhu *indoor AC* terlihat daya water heater yang lebih besar terjadi pada suhu indoor AC 16°C sedangkan yang terendah pada suhu *indoor AC* 20°C dikarenakan temperatur refrigeran yang keluar dari kompresor pada suhu *indoor AC* 20°C lebih rendah dibanding suhu *indoor AC* 18°C dan 16°C. Untuk kondisi sampai menit ke 6 mengalami kenaikan yang cepat dikarenakan pada waktu awal temperatur air masih rendah sehingga menyerap kalor yang lebih besar.



Gambar 4.8 Grafik Hubungan antara Efisiensi *waterheater* ( $\eta_{wh}$ ) dan waktu (t) untuk berbagai variasi suhu indoor AC.

Gambar 4.8 Menunjukkan efisiensi water heater terhadap waktu. Pada berbagai suhu *indoor AC* terlihat efisiensi water heater yang terendah pada suhu *indoor AC* 20°C dikarenakan daya kondensor lebih besar dan daya water heater lebih kecil. sebaliknya efisiensi terbesar pada suhu *indoor AC* 16°C daya kondensor lebih kecil dan daya water heater yang lebih besar.



## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil pembahasan pada bab sebelumnya maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Performa AC tertinggi setelah temperatur air mencapai 45°C dapat dilihat pada saat suhu indoor AC 20°C diperoleh COP yaitu sebesar 10,10, sedangkan pada saat suhu indoor AC 18°C diperoleh COP yaitu sebesar 5,70 hingga suhu indoor AC 16°C didapatkan hasil COP sebesar 5,36.
2. Diperoleh Efisiensi *waterheater* tertinggi setelah temperatur air 45°C didapatkan pada saat suhu indoor AC 16°C yaitu sebesar 55,65%, sedangkan pada saat suhu indoor AC 18°C yaitu sebesar 53,97%,serta pada saat suhu indoor AC 20°C yaitu sebesar 27,97%.

### 5.2 Saran

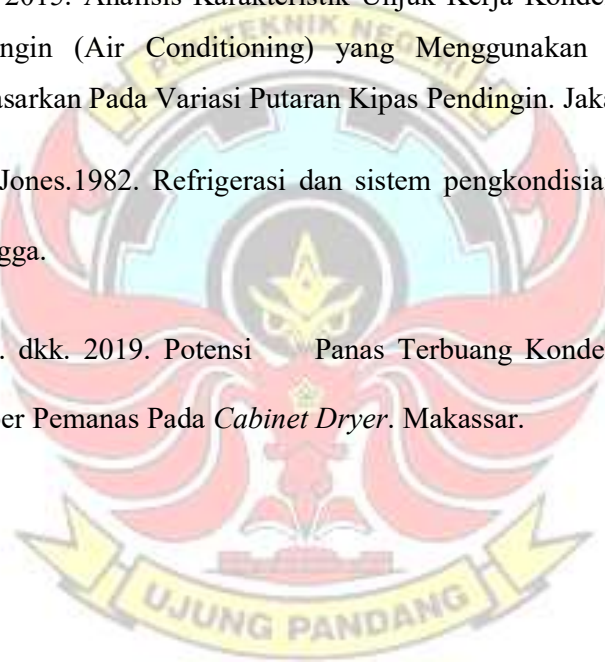
Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, ada beberapa saran yang perlu dipertimbangkan kedepannya untuk menghasilkan penelitian yang lebih baik, yaitu:

1. Sebaiknya tangki air diperbesar agar kalor yang diserap oleh air didalam tangki dari hasil kompresi kompresor AC 1 PK seimbang.
2. Pada saat pengambilan data sebaiknya temperatur lingkungan/ruangan perlu diamati karna bisa mempengaruhi beban pendinginan dievaporator.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aambarita, Himsar. 2010. Penghematan Energi Pada *Air Conditioning*. Medan.
- Aminanta, Akhmad. dkk. 2016. Rancang Bangun dan Studi Eksperimen Alat Penukar Panas untuk Memanfaatkan Energi Refrigerant Keluar Kompresor AC sebagai Pemanas Air pada ST/D=6 dengan Variasi Volume Air. Surabaya.
- Aziz, Azridjal. dkk. 2015. Potensi Pemanfaatan Energi Panas Terbuang Pada Kondensor Ac Sentral Untuk Pemanas Air Hemat Energi. Pekanbaru, Bengkulu.
- Bizzy, dan Setiadi. 2013. Studi Perhitungan Alat Penukar Kalor Tipe *Shell and Tube* dengan Program *Heat Transfer Research Inc. (HTRI)*. Palembang.
- Hendradinata. dkk. 2018. Rancang Bangun Water Heater dengan Memanfaatkan Panas Air Conditioning.
- Holman. 1994. Perpindahan Kalor, Jakarta: Erlangga.
- Konrad, Frederikus. dkk. 2015. Pemanfaatan Energi Panas pada Mesin Pengkondisian Udara 2 PK Sebagai Media Pemanas Air Mandi. Jakarta.
- Koswara, Engkos. dkk. 2019. Kaji Eksperimen Performa AC  $1/2$  PK Menggunakan *Water Heater*. Jakarta.
- Linggojati. 2010. *Pemanas Air Tenaga Matahari*. Jakarta. Seputar Wika, (Online), (<http://www.linggojati.com>), diakses pada 22 Januari 2021).
- Nurhalim, Ichwan. 2011. Rancang Bangun dan Pengujian Unjuk Kerja Alat Penukar Kalor Tipe Serpentine pada Split Air Conditionig Water Heater, Depok.

- Pramacakrayuda, Gusti Agung. dkk. 2010. Analisis Performansi Sistem Pendingin Ruang Dikombinasikan dengan *Water Heater*. Denpasar.
- Rasta, I Made. 2009. Pemanfaatan Energi Panas Terbuang pada Kondensor AC Sentral Jenis Water Chiller untuk Pemanas Air Hemat Energi. Bali.
- Santoso, Daniel, dan Setiaji Dalu. 2013. Pemanfaatan Panas Buang Pengkondisi Udara Sebagai Pemanas Air Dengan Menggunakan Penukar Panas Helikal. Jawa Tengah.
- Siagian, Saut. 2015. Analisis Karakteristik Unjuk Kerja Kondensor Pada Sistem Pendingin (Air Conditioning) yang Menggunakan Freon R-134 A Berdasarkan Pada Variasi Putaran Kipas Pendingin. Jakarta.
- Stoecker dan Jones. 1982. Refrigerasi dan sistem pengkondisian Udara. Jakarta: Erlangga.
- Syam, Husain. dkk. 2019. Potensi Panas Terbuang Kondensor AC Sebagai Sumber Pemanas Pada *Cabinet Dryer*. Makassar.



L  
A  
M  
P



I  
R  
A  
N



# **LAMPIRAN A**

**(DATA-DATA HASIL PERHITUNGAN)**

Lampiran A1

Tabel 1 Hasil Analisis Data pada Suhu Indoor AC 16°C

t	T1 (°C)	T2 (°C)	T3(°C)	T5 (°C)	T tangki (°C)	h1 (kj/kg)	h2 (kj/kg)	h3 (kj/kg)	h5 (kj/kg)	Wkom (kj/kg)	Qkon (kj/kg)	Qevap (kj/kg)	Qwh (kj/kg)	COP	Pkon (Kw)	Pwh (Kw)	Efisiensi (%)
17,04	26,70	58,70	52,10	8,20	30,40	413,44	424,6	266,18	198,23	11,16	67,95	215,21	158,42	19,29	6,12	0,000	0,00
17,06	28,30	71,50	53,20	9,00	32,20	413,86	436,68	267,74	197,55	22,82	70,19	216,31	168,94	9,48	3,09	1,880	60,87
17,08	26,60	76,70	55,20	10,20	33,00	413,42	440,26	270,59	196,52	26,84	74,07	216,90	169,66	8,08	2,74	1,358	49,54
17,10	27,10	81,20	55,90	10,30	34,20	413,55	444,15	271,61	196,43	30,61	75,18	217,12	172,54	7,09	2,48	1,323	53,33
17,12	25,80	84,10	56,80	11,20	35,40	413,21	446,29	272,93	195,62	33,08	77,31	217,59	173,36	6,58	2,32	1,306	56,30
17,14	24,70	87,10	57,20	11,60	36,50	412,92	448,90	273,51	195,26	35,97	78,25	217,66	175,38	6,05	2,19	1,274	58,16
17,16	23,90	88,80	58,00	12,00	37,60	412,71	450,57	274,68	194,90	37,85	79,78	217,81	175,89	5,75	2,07	1,253	60,43
17,18	21,70	90,10	58,70	12,20	38,80	412,14	450,76	275,70	194,73	38,62	80,97	217,41	175,06	5,63	2,11	1,253	59,33
17,20	21,10	89,70	58,60	12,30	39,90	411,99	445,62	275,56	194,65	33,63	80,91	217,34	170,06	6,46	2,43	1,240	51,10
17,22	20,60	90,90	59,80	12,90	41,50	411,86	450,78	277,31	194,14	38,93	83,17	217,72	173,47	5,59	2,16	1,288	59,57
17,24	19,20	90,50	59,40	12,60	41,80	411,46	450,67	276,72	194,39	39,21	82,33	217,07	173,94	5,54	2,03	1,191	58,56
17,26	18,80	90,70	59,80	13,20	43,10	411,34	450,59	277,31	193,88	39,25	83,43	217,46	173,28	5,54	2,09	1,206	57,82
17,28	17,00	91,40	60,10	12,80	43,90	410,80	451,06	277,75	194,22	40,26	83,53	216,58	173,30	5,38	2,09	1,175	56,27
17,30	16,50	91,70	60,50	13,00	45,00	410,65	451,06	278,36	194,05	40,41	84,31	216,60	172,70	5,36	2,11	1,173	55,60
17,32	15,70	91,30	61,70	15,00	45,50	410,41	452,52	280,18	192,30	42,11	87,88	218,11	172,34	5,18	2,11	1,127	53,41

Lampiran A2

Tabel 2 Hasil Analisis Data pada Suhu Indoor AC 18°C

t	T1 (°C)	T2 (°C)	T3(°C)	T5 (°C)	T tangki (°C)	h1 (kj/kg)	h2 (kj/kg)	h3 (kj/kg)	h5 (kj/kg)	Wkom (kj/kg)	Qkon (kj/kg)	Qevap (kj/kg)	Qwh (kj/kg)	COP	Pkon (Kw)	Pwh (Kw)	Efisiensi (%)
15,18	25,00	63,10	48,20	7,00	30,50	413,00	432,15	260,75	199,22	19,15	61,53	213,78	171,40	11,16	3,02	0,000	0,00
15,20	22,70	68,30	52,30	8,80	31,00	412,40	434,02	266,47	197,71	21,62	68,76	214,69	167,55	9,93	2,96	0,522	17,66
15,22	21,40	74,50	54,00	10,10	31,80	412,06	438,88	268,88	196,61	26,82	72,27	215,45	170,00	8,03	2,53	0,679	26,84
15,24	22,50	77,40	54,80	11,30	33,00	412,35	441,18	270,02	195,56	28,83	74,46	216,79	171,17	7,52	2,38	0,870	36,53
15,26	23,50	79,40	56,40	11,80	34,50	412,61	442,05	272,34	195,12	29,44	77,23	217,49	169,70	7,39	2,47	1,045	42,27
15,28	24,10	83,40	57,60	13,60	35,80	412,77	445,07	274,10	193,53	32,31	80,56	219,23	170,98	6,79	2,34	1,107	47,39
15,30	23,70	83,80	58,20	14,60	37,10	412,66	445,01	274,97	192,65	32,35	82,32	220,01	170,04	6,80	2,39	1,149	48,13
15,32	22,80	87,00	59,20	14,80	38,10	412,43	447,40	276,43	192,48	34,97	83,96	219,95	170,97	6,29	2,26	1,134	50,21
15,34	23,00	88,40	58,30	14,70	39,00	412,48	449,39	275,12	192,56	36,91	82,55	219,92	174,27	5,96	2,06	1,110	53,77
15,36	22,90	89,50	59,50	14,60	40,30	412,45	449,64	276,87	192,65	37,18	84,22	219,80	172,77	5,91	2,14	1,137	53,14
15,38	22,10	89,70	58,80	14,30	41,10	412,25	450,31	275,85	192,92	38,06	82,93	219,33	174,46	5,76	1,99	1,107	55,63
15,40	21,60	89,90	59,60	14,80	42,30	412,12	449,96	277,02	192,48	37,84	84,54	219,64	172,94	5,80	2,08	1,120	53,97
15,42	21,50	89,30	59,40	14,50	43,20	412,09	449,51	276,72	192,74	37,42	83,98	219,35	172,78	5,86	2,09	1,105	52,98
15,44	21,10	89,70	60,50	14,90	44,00	411,99	449,12	278,36	192,39	37,13	85,97	219,60	170,76	5,91	2,14	1,085	50,79
15,46	20,10	90,50	60,20	14,40	45,00	411,73	450,12	277,90	192,83	38,39	85,08	218,90	172,21	5,70	2,00	1,082	53,97



Lampiran A3

Tabel 3 Hasil Analisis Data pada Suhu Indoor AC 20°C

t	T1 (°C)	T2 (°C)	T3(°C)	T5 (°C)	T tangki (°C)	h1 (kj/kg)	h2 (kj/kg)	h3 (kj/kg)	h5 (kj/kg)	Wkom (kj/kg)	Qkon (kj/kg)	Qevap (kj/kg)	Qwh (kj/kg)	COP	Pkon (Kw)	Pwh (Kw)	Efisiensi (%)
11,04	25,60	54,60	49,20	6,30	30,40	413,16	422,98	262,11	199,81	9,82	62,30	213,35	160,87	21,72	5,86	0,000	0,00
11,06	24,30	57,60	50,50	7,20	31,30	412,82	424,97	263,91	199,05	12,15	64,86	213,77	161,06	17,60	4,93	0,940	19,07
11,08	23,90	61,50	51,80	7,60	32,30	412,71	427,84	265,76	198,72	15,13	67,04	214,00	162,09	14,14	4,09	0,992	24,26
11,10	23,10	64,20	52,90	8,50	33,50	412,51	429,56	267,32	197,96	17,05	69,36	214,55	162,24	12,58	3,75	1,079	28,82
11,12	22,70	65,10	53,50	8,70	34,40	412,40	429,95	268,17	197,79	17,55	70,38	214,61	161,78	12,23	3,73	1,045	28,00
11,14	22,00	66,70	54,10	9,70	35,30	412,22	431,09	269,02	196,95	18,87	72,07	215,27	162,07	11,41	3,53	1,024	28,99
11,16	21,50	68,80	55,40	9,20	36,50	412,09	432,20	270,88	197,37	20,11	73,51	214,72	161,32	10,68	3,37	1,062	31,48
11,18	20,80	69,00	55,30	10,30	37,40	411,91	432,50	270,74	196,44	20,59	74,30	215,47	161,76	10,46	3,34	1,045	31,24
11,20	20,10	70,40	55,80	11,00	38,60	411,73	433,54	271,47	195,82	21,81	75,65	215,91	162,07	9,90	3,18	1,071	33,70
11,22	19,70	70,50	56,60	11,30	39,40	411,61	432,96	272,64	195,56	21,35	77,08	216,05	160,32	10,12	3,31	1,045	31,51
11,24	19,20	72,60	56,70	10,30	40,50	411,46	434,99	272,78	196,44	23,53	76,35	215,02	162,21	9,14	2,80	1,055	37,67
11,26	18,90	74,50	56,70	10,80	41,50	411,37	436,91	272,78	196,00	25,54	76,79	215,37	164,12	8,43	2,76	1,054	38,13
11,28	18,20	75,20	57,40	11,60	42,30	411,16	437,07	273,80	195,29	25,91	78,51	215,87	163,26	8,33	2,83	1,036	36,65
11,30	17,80	73,10	57,40	11,20	43,20	411,04	434,93	273,80	195,64	23,89	78,16	215,40	161,12	9,02	3,05	1,028	33,74
11,32	17,50	72,10	57,60	11,40	44,00	410,95	433,56	274,10	195,47	22,61	78,63	215,48	159,46	9,53	3,22	1,015	31,47
11,34	17,10	70,20	57,70	11,20	44,70	410,83	431,53	274,24	195,64	20,70	78,60	215,19	157,29	10,40	3,54	0,996	28,15
11,36	16,80	71,30	58,40	11,40	45,10	410,74	432,05	275,26	195,47	21,31	79,80	215,27	156,78	10,10	3,43	0,960	27,97



**LAMPIRAN B**  
**(TABEL UAP)**

Table 1 Freon™ 22 Saturation Properties — Temperature Table

Temp °C	Pressure [kPa]	Volume [m <sup>3</sup> /kg]		Density [kg/m <sup>3</sup> ]		Enthalpy [kJ/kg]			Entropy [kJ/K·kg]		Temp °C
		Liquid v <sub>l</sub>	Vapour v <sub>g</sub>	Liquid d <sub>l</sub>	Vapour d <sub>g</sub>	Liquid H <sub>l</sub>	Latent H <sub>lg</sub>	Vapour H <sub>g</sub>	Liquid S <sub>l</sub>	Vapour S <sub>g</sub>	
-100	2.0	0.0006	8.2660	1571.0	0.121	90.7	268.3	359.0	0.505	2.054	-100
-99	2.2	0.0006	7.5770	1569.0	0.132	91.8	267.7	359.5	0.511	2.048	-99
-98	2.4	0.0006	6.9540	1566.0	0.144	92.8	267.1	359.9	0.517	2.042	-98
-97	2.6	0.0006	6.3900	1563.0	0.157	93.9	266.5	360.4	0.523	2.036	-97
-96	2.9	0.0006	5.8780	1561.0	0.170	95.0	266.0	360.9	0.529	2.031	-96
-95	3.2	0.0006	5.4130	1558.0	0.185	96.0	265.4	361.4	0.535	2.025	-95
-94	3.4	0.0006	4.9910	1555.0	0.200	97.1	264.8	361.9	0.541	2.019	-94
-93	3.7	0.0006	4.6060	1553.0	0.217	98.1	264.3	362.4	0.547	2.014	-93
-92	4.1	0.0007	4.2560	1550.0	0.235	99.2	263.7	362.9	0.553	2.009	-92
-91	4.4	0.0007	3.9370	1548.0	0.254	100.3	263.1	363.4	0.559	2.003	-91
-90	4.8	0.0007	3.6450	1545.0	0.274	101.3	262.6	363.9	0.565	1.998	-90
-89	5.2	0.0007	3.3780	1542.0	0.296	102.4	261.9	364.3	0.570	1.993	-89
-88	5.7	0.0007	3.1340	1540.0	0.319	103.4	261.4	364.8	0.576	1.988	-88
-87	6.1	0.0007	2.9100	1537.0	0.344	104.5	260.8	365.3	0.582	1.983	-87
-86	6.6	0.0007	2.7050	1534.0	0.370	105.6	260.2	365.8	0.588	1.978	-86
-85	7.2	0.0007	2.5170	1532.0	0.397	106.6	259.7	366.3	0.593	1.973	-85
-84	7.7	0.0007	2.3440	1529.0	0.427	107.7	259.1	366.8	0.599	1.969	-84
-83	8.3	0.0007	2.1840	1526.0	0.458	108.7	258.6	367.3	0.604	1.964	-83
-82	9.0	0.0007	2.0380	1524.0	0.491	109.8	258.0	367.8	0.610	1.960	-82
-81	9.6	0.0007	1.9030	1521.0	0.526	110.9	257.4	368.3	0.616	1.955	-81
-80	10.4	0.0007	1.7780	1518.0	0.562	111.9	256.9	368.8	0.621	1.951	-80
-79	11.1	0.0007	1.6630	1516.0	0.601	113.0	256.3	369.3	0.627	1.946	-79
-78	12.0	0.0007	1.5570	1513.0	0.642	114.1	255.7	369.8	0.632	1.942	-78
-77	12.8	0.0007	1.4580	1510.0	0.686	115.1	255.2	370.3	0.637	1.938	-77
-76	13.8	0.0007	1.3670	1507.0	0.731	116.2	254.5	370.7	0.643	1.934	-76
-75	14.7	0.0007	1.2830	1505.0	0.780	117.3	253.9	371.2	0.648	1.930	-75
-74	15.8	0.0007	1.2050	1502.0	0.830	118.3	253.4	371.7	0.654	1.926	-74
-73	16.8	0.0007	1.1320	1499.0	0.883	119.4	252.8	372.2	0.659	1.922	-73
-72	18.0	0.0007	1.0650	1497.0	0.939	120.4	252.3	372.7	0.664	1.918	-72
-71	19.2	0.0007	1.0020	1494.0	0.998	121.5	251.7	373.2	0.670	1.915	-71
-70	20.5	0.0007	0.9434	1491.0	1.060	122.6	251.1	373.7	0.675	1.911	-70
-69	21.8	0.0007	0.8891	1488.0	1.125	123.6	250.6	374.2	0.680	1.907	-69
-68	23.2	0.0007	0.8384	1486.0	1.193	124.7	250.0	374.7	0.685	1.904	-68
-67	24.7	0.0007	0.7912	1483.0	1.264	125.8	249.4	375.2	0.690	1.900	-67
-66	26.3	0.0007	0.7471	1480.0	1.338	126.8	248.9	375.7	0.696	1.897	-66
-65	27.9	0.0007	0.7060	1477.0	1.416	127.9	248.3	376.2	0.701	1.893	-65
-64	29.7	0.0007	0.6675	1475.0	1.498	129.0	247.6	376.6	0.706	1.890	-64
-63	31.5	0.0007	0.6315	1472.0	1.583	130.1	247.0	377.1	0.711	1.887	-63
-62	33.4	0.0007	0.5979	1469.0	1.673	131.1	246.5	377.6	0.716	1.883	-62
-61	35.4	0.0007	0.5664	1466.0	1.766	132.2	245.9	378.1	0.721	1.880	-61
-60	37.5	0.0007	0.5368	1464.0	1.863	133.3	245.3	378.6	0.726	1.877	-60
-59	39.7	0.0007	0.5091	1461.0	1.964	134.3	244.8	379.1	0.731	1.874	-59
-58	42.0	0.0007	0.4831	1458.0	2.070	135.4	244.2	379.6	0.736	1.871	-58
-57	44.4	0.0007	0.4587	1455.0	2.180	136.5	243.5	380.0	0.741	1.868	-57
-56	46.9	0.0007	0.4357	1453.0	2.295	137.6	242.9	380.5	0.746	1.865	-56
-55	49.6	0.0007	0.4142	1450.0	2.414	138.6	242.4	381.0	0.751	1.862	-55
-54	52.3	0.0007	0.3939	1447.0	2.539	139.7	241.8	381.5	0.756	1.859	-54
-53	55.2	0.0007	0.3748	1444.0	2.668	140.8	241.2	382.0	0.761	1.856	-53
-52	58.2	0.0007	0.3568	1441.0	2.803	141.9	240.6	382.5	0.766	1.853	-52
-51	61.3	0.0007	0.3398	1438.0	2.943	142.9	240.0	382.9	0.770	1.851	-51
-50	64.5	0.0007	0.3238	1436.0	3.088	144.0	239.4	383.4	0.775	1.848	-50
-49	67.9	0.0007	0.3088	1433.0	3.239	145.1	238.8	383.9	0.780	1.845	-49
-48	71.5	0.0007	0.2945	1430.0	3.395	146.2	238.2	384.4	0.785	1.843	-48
-47	75.1	0.0007	0.2811	1427.0	3.558	147.3	237.5	384.8	0.790	1.840	-47

Table 1 (continued) Freon™ 22 Saturation Properties—Temperature Table

Temp °C	Pressure [kPa]	Volume [m <sup>3</sup> /kg]		Density [kg/m <sup>3</sup> ]		Enthalpy [kJ/kg]			Entropy [kJ/K-kg]		Temp °C
		Liquid v <sub>f</sub>	Vapour v <sub>g</sub>	Liquid d <sub>f</sub>	Vapour d <sub>g</sub>	Liquid H <sub>f</sub>	Latent H <sub>fg</sub>	Vapour H <sub>g</sub>	Liquid S <sub>f</sub>	Vapour S <sub>g</sub>	
-46	78.9	0.0007	0.2684	1424.0	3.726	148.4	236.9	385.3	0.794	1.838	-46
-45	82.9	0.0007	0.2563	1421.0	3.901	149.4	236.4	385.8	0.799	1.835	-45
-44	87.1	0.0007	0.2450	1418.0	4.082	150.5	235.8	386.3	0.804	1.833	-44
-43	91.3	0.0007	0.2342	1416.0	4.270	151.6	235.1	386.7	0.809	1.830	-43
-42	95.8	0.0007	0.2240	1413.0	4.464	152.7	234.5	387.2	0.813	1.828	-42
-41	100.4	0.0007	0.2144	1410.0	4.665	153.8	233.9	387.7	0.818	1.825	-41
-40	105.2	0.0007	0.2052	1407.0	4.873	154.9	233.2	388.1	0.823	1.823	-40
-39	110.2	0.0007	0.1965	1404.0	5.088	156.0	232.6	388.6	0.827	1.821	-39
-38	115.4	0.0007	0.1883	1401.0	5.311	157.1	232.0	389.1	0.832	1.819	-38
-37	120.7	0.0007	0.1805	1398.0	5.541	158.2	231.3	389.5	0.837	1.816	-37
-36	126.3	0.0007	0.1730	1395.0	5.779	159.3	230.7	390.0	0.841	1.814	-36
-35	132.0	0.0007	0.1660	1392.0	6.025	160.4	230.0	390.4	0.846	1.812	-35
-34	138.0	0.0007	0.1593	1389.0	6.279	161.5	229.4	390.9	0.851	1.810	-34
-33	144.1	0.0007	0.1529	1386.0	6.541	162.6	228.7	391.3	0.855	1.808	-33
-32	150.5	0.0007	0.1468	1383.0	6.811	163.7	228.1	391.8	0.860	1.806	-32
-31	157.1	0.0007	0.1410	1380.0	7.090	164.8	227.4	392.2	0.864	1.804	-31
-30	163.9	0.0007	0.1355	1377.0	7.379	165.9	226.8	392.7	0.869	1.802	-30
-29	170.9	0.0007	0.1303	1374.0	7.676	167.0	226.1	393.1	0.873	1.800	-29
-28	178.2	0.0007	0.1253	1371.0	7.982	168.1	225.5	393.6	0.878	1.798	-28
-27	185.7	0.0007	0.1205	1368.0	8.298	169.2	224.8	394.0	0.882	1.796	-27
-26	193.4	0.0007	0.1160	1365.0	8.623	170.3	224.2	394.5	0.887	1.794	-26
-25	201.4	0.0007	0.1116	1362.0	8.958	171.4	223.5	394.9	0.891	1.792	-25
-24	209.7	0.0007	0.1075	1359.0	9.304	172.6	222.7	395.3	0.896	1.790	-24
-23	218.2	0.0007	0.1035	1356.0	9.659	173.7	222.1	395.8	0.900	1.788	-23
-22	227.0	0.0007	0.0998	1353.0	10.030	174.8	221.4	396.2	0.905	1.786	-22
-21	236.0	0.0007	0.0961	1350.0	10.400	175.9	220.7	396.6	0.909	1.784	-21
-20	245.3	0.0007	0.0927	1347.0	10.790	177.0	220.1	397.1	0.914	1.783	-20
-19	254.9	0.0007	0.0894	1343.0	11.190	178.2	219.3	397.5	0.918	1.781	-19
-18	264.8	0.0008	0.0862	1340.0	11.600	179.3	218.6	397.9	0.922	1.779	-18
-17	275.0	0.0008	0.0832	1337.0	12.020	180.4	217.9	398.3	0.927	1.777	-17
-16	285.4	0.0008	0.0803	1334.0	12.450	181.6	217.1	398.7	0.931	1.776	-16
-15	296.2	0.0008	0.0775	1331.0	12.900	182.7	216.5	399.2	0.935	1.774	-15
-14	307.3	0.0008	0.0749	1328.0	13.360	183.8	215.8	399.6	0.940	1.772	-14
-13	318.7	0.0008	0.0723	1324.0	13.830	185.0	215.0	400.0	0.944	1.771	-13
-12	330.4	0.0008	0.0699	1321.0	14.310	186.1	214.3	400.4	0.949	1.769	-12
-11	342.4	0.0008	0.0675	1318.0	14.810	187.3	213.5	400.8	0.953	1.767	-11
-10	354.8	0.0008	0.0653	1315.0	15.320	188.4	212.8	401.2	0.957	1.766	-10
-9	367.5	0.0008	0.0631	1311.0	15.850	189.6	212.0	401.6	0.962	1.764	-9
-8	380.5	0.0008	0.0610	1308.0	16.380	190.7	211.3	402.0	0.966	1.763	-8
-7	393.9	0.0008	0.0590	1305.0	16.940	191.9	210.5	402.4	0.970	1.761	-7
-6	407.7	0.0008	0.0571	1302.0	17.500	193.0	209.8	402.8	0.974	1.760	-6
-5	421.8	0.0008	0.0553	1298.0	18.090	194.2	209.0	403.2	0.979	1.758	-5
-4	436.3	0.0008	0.0535	1295.0	18.680	195.3	208.2	403.5	0.983	1.757	-4
-3	451.1	0.0008	0.0518	1292.0	19.300	196.5	207.4	403.9	0.987	1.755	-3
-2	466.4	0.0008	0.0502	1288.0	19.920	197.7	206.6	404.3	0.992	1.754	-2
-1	482.0	0.0008	0.0486	1285.0	20.570	198.8	205.9	404.7	0.996	1.752	-1
0	498.0	0.0008	0.0471	1282.0	21.230	200.0	205.0	405.0	1.000	1.751	0
1	514.4	0.0008	0.0457	1278.0	21.910	201.2	204.2	405.4	1.004	1.749	1
2	531.2	0.0008	0.0442	1275.0	22.600	202.4	203.4	405.8	1.008	1.748	2
3	548.4	0.0008	0.0429	1271.0	23.310	203.5	202.6	406.1	1.013	1.746	3
4	566.1	0.0008	0.0416	1268.0	24.040	204.7	201.8	406.5	1.017	1.745	4
5	584.1	0.0008	0.0403	1264.0	24.790	205.9	200.9	406.8	1.021	1.744	5
6	602.6	0.0008	0.0391	1261.0	25.560	207.1	200.1	407.2	1.025	1.742	6
7	621.5	0.0008	0.0380	1257.0	26.340	208.3	199.2	407.5	1.030	1.741	7



Table 1 (continued) Freon™ 22 Saturation Properties—Temperature Table

Temp °C	Pressure [kPa]	Volume [m <sup>3</sup> /kg]		Density [kg/m <sup>3</sup> ]		Enthalpy [kJ/kg]			Entropy [kJ/K·kg]		Temp °C
		Liquid v <sub>f</sub>	Vapour v <sub>g</sub>	Liquid d <sub>f</sub>	Vapour d <sub>g</sub>	Liquid H <sub>f</sub>	Latent H <sub>fg</sub>	Vapour H <sub>g</sub>	Liquid S <sub>f</sub>	Vapour S <sub>g</sub>	
8	640.9	0.0008	0.0368	1254.0	27.150	209.5	198.4	407.9	1.034	1.739	8
9	660.7	0.0008	0.0358	1250.0	27.970	210.7	197.5	408.2	1.038	1.738	9
10	680.9	0.0008	0.0347	1247.0	28.820	211.9	196.7	408.6	1.042	1.737	10
11	701.7	0.0008	0.0337	1243.0	29.690	213.1	195.8	408.9	1.046	1.735	11
12	722.9	0.0008	0.0327	1239.0	30.570	214.3	194.9	409.2	1.051	1.734	12
13	744.5	0.0008	0.0318	1236.0	31.480	215.5	194.0	409.5	1.055	1.733	13
14	766.7	0.0008	0.0309	1232.0	32.410	216.7	193.2	409.9	1.059	1.732	14
15	789.3	0.0008	0.0300	1229.0	33.360	217.9	192.3	410.2	1.063	1.730	15
16	812.4	0.0008	0.0291	1225.0	34.340	219.1	191.4	410.5	1.067	1.729	16
17	836.1	0.0008	0.0283	1221.0	35.340	220.4	190.4	410.8	1.071	1.728	17
18	860.2	0.0008	0.0275	1217.0	36.360	221.6	189.5	411.1	1.076	1.726	18
19	884.8	0.0008	0.0267	1214.0	37.410	222.8	188.6	411.4	1.080	1.725	19
20	910.0	0.0008	0.0260	1210.0	38.480	224.1	187.6	411.7	1.084	1.724	20
21	935.7	0.0008	0.0253	1206.0	39.570	225.3	186.6	411.9	1.088	1.722	21
22	961.9	0.0008	0.0246	1202.0	40.700	226.5	185.7	412.2	1.092	1.721	22
23	988.7	0.0008	0.0239	1198.0	41.850	227.8	184.7	412.5	1.096	1.720	23
24	1016.0	0.0008	0.0232	1195.0	43.030	229.0	183.8	412.8	1.100	1.719	24
25	1044.0	0.0008	0.0226	1191.0	44.230	230.3	182.7	413.0	1.105	1.717	25
26	1072.0	0.0008	0.0220	1187.0	45.470	231.5	181.8	413.3	1.109	1.716	26
27	1101.0	0.0009	0.0214	1183.0	46.730	232.8	180.7	413.5	1.113	1.715	27
28	1131.0	0.0009	0.0208	1179.0	48.020	234.1	179.7	413.8	1.117	1.714	28
29	1161.0	0.0009	0.0203	1175.0	49.350	235.3	178.7	414.0	1.121	1.712	29
30	1192.0	0.0009	0.0197	1171.0	50.700	236.6	177.7	414.3	1.125	1.711	30
31	1223.0	0.0009	0.0192	1167.0	52.090	237.9	176.6	414.5	1.129	1.710	31
32	1255.0	0.0009	0.0187	1163.0	53.520	239.2	175.5	414.7	1.133	1.709	32
33	1288.0	0.0009	0.0182	1158.0	54.970	240.5	174.4	414.9	1.138	1.707	33
34	1321.0	0.0009	0.0177	1154.0	56.460	241.8	173.3	415.1	1.142	1.706	34
35	1355.0	0.0009	0.0172	1150.0	57.990	243.1	172.2	415.3	1.146	1.705	35
36	1389.0	0.0009	0.0168	1146.0	59.550	244.4	171.1	415.5	1.150	1.704	36
37	1424.0	0.0009	0.0164	1142.0	61.150	245.7	170.0	415.7	1.154	1.702	37
38	1460.0	0.0009	0.0159	1137.0	62.790	247.0	168.9	415.9	1.158	1.701	38
39	1497.0	0.0009	0.0155	1133.0	64.470	248.3	167.8	416.1	1.162	1.700	39
40	1534.0	0.0009	0.0151	1129.0	66.190	249.6	166.6	416.2	1.166	1.698	40
41	1571.0	0.0009	0.0147	1124.0	67.960	251.0	165.4	416.4	1.171	1.697	41
42	1610.0	0.0009	0.0143	1120.0	69.760	252.3	164.3	416.6	1.175	1.696	42
43	1649.0	0.0009	0.0140	1115.0	71.610	253.7	163.0	416.7	1.179	1.695	43
44	1689.0	0.0009	0.0136	1111.0	73.510	255.0	161.8	416.8	1.183	1.693	44
45	1729.0	0.0009	0.0133	1106.0	75.460	256.4	160.6	417.0	1.187	1.692	45
46	1770.0	0.0009	0.0129	1101.0	77.450	257.7	159.4	417.1	1.191	1.691	46
47	1812.0	0.0009	0.0126	1097.0	79.500	259.1	158.1	417.2	1.196	1.689	47
48	1855.0	0.0009	0.0123	1092.0	81.590	260.5	156.8	417.3	1.200	1.688	48
49	1899.0	0.0009	0.0119	1087.0	83.740	261.9	155.5	417.4	1.204	1.687	49
50	1943.0	0.0009	0.0116	1082.0	85.950	263.2	154.2	417.4	1.208	1.685	50
51	1988.0	0.0009	0.0113	1077.0	88.220	264.6	152.9	417.5	1.212	1.684	51
52	2033.0	0.0009	0.0110	1072.0	90.540	266.0	151.6	417.6	1.216	1.682	52
53	2080.0	0.0009	0.0108	1067.0	92.930	267.5	150.1	417.6	1.221	1.681	53
54	2127.0	0.0009	0.0105	1062.0	95.380	268.9	148.7	417.6	1.225	1.680	54
55	2175.0	0.0010	0.0102	1057.0	97.900	270.3	147.4	417.7	1.229	1.678	55
56	2224.0	0.0010	0.0100	1052.0	100.500	271.8	145.9	417.7	1.233	1.677	56
57	2274.0	0.0010	0.0097	1047.0	103.100	273.2	144.5	417.7	1.238	1.675	57
58	2324.0	0.0010	0.0094	1041.0	105.900	274.7	142.9	417.6	1.242	1.674	58
59	2375.0	0.0010	0.0092	1036.0	108.700	276.1	141.5	417.6	1.246	1.672	59
60	2427.0	0.0010	0.0090	1030.0	111.600	277.6	139.9	417.5	1.250	1.670	60
61	2480.0	0.0010	0.0087	1025.0	114.600	279.1	138.4	417.5	1.255	1.669	61

Table 1 (continued) Freon™ 22 Saturation Properties—Temperature Table

Temp °C	Pressure [kPa]	Volume [m <sup>3</sup> /kg]		Density [kg/m <sup>3</sup> ]		Enthalpy [kJ/kg]			Entropy [kJ/K·kg]		Temp °C
		Liquid v <sub>f</sub>	Vapour v <sub>g</sub>	Liquid d <sub>f</sub>	Vapour d <sub>g</sub>	Liquid H <sub>f</sub>	Latent H <sub>fg</sub>	Vapour H <sub>g</sub>	Liquid S <sub>f</sub>	Vapour S <sub>g</sub>	
62	2534.0	0.0010	0.0085	1019.0	117.600	280.6	136.8	417.4	1.259	1.667	
63	2589.0	0.0010	0.0083	1013.0	120.800	282.1	135.2	417.3	1.263	1.666	
64	2645.0	0.0010	0.0081	1007.0	124.100	283.6	133.6	417.2	1.268	1.664	
65	2701.0	0.0010	0.0079	1001.0	127.400	285.2	131.9	417.1	1.272	1.662	
66	2759.0	0.0010	0.0076	995.3	130.900	286.7	130.2	416.9	1.277	1.660	
67	2817.0	0.0010	0.0074	989.1	134.500	288.3	128.4	416.7	1.281	1.659	
68	2876.0	0.0010	0.0072	982.8	138.200	289.9	126.6	416.5	1.285	1.657	
69	2936.0	0.0010	0.0070	976.3	142.000	291.5	124.8	416.3	1.290	1.655	
70	2997.0	0.0010	0.0069	969.7	146.000	293.1	123.0	416.1	1.295	1.653	
71	3059.0	0.0010	0.0067	963.0	150.100	294.7	121.1	415.8	1.299	1.651	
72	3123.0	0.0011	0.0065	956.1	154.400	296.4	119.1	415.5	1.304	1.649	
73	3187.0	0.0011	0.0063	949.0	158.800	298.0	117.2	415.2	1.308	1.647	
74	3252.0	0.0011	0.0061	941.8	163.400	299.7	115.2	414.9	1.313	1.645	
75	3318.0	0.0011	0.0060	934.4	168.200	301.5	113.0	414.5	1.318	1.642	
76	3385.0	0.0011	0.0058	926.7	173.100	303.2	110.9	414.1	1.323	1.640	
77	3453.0	0.0011	0.0056	918.9	178.300	305.0	108.6	413.6	1.327	1.638	
78	3522.0	0.0011	0.0054	910.8	183.800	306.8	106.3	413.1	1.332	1.635	
79	3592.0	0.0011	0.0053	902.4	189.400	308.6	104.0	412.6	1.337	1.633	
80	3664.0	0.0011	0.0051	893.7	195.400	310.4	101.6	412.0	1.342	1.630	
81	3736.0	0.0011	0.0050	884.8	201.700	312.3	99.1	411.4	1.347	1.627	
82	3810.0	0.0011	0.0048	875.4	208.300	314.3	96.4	410.7	1.353	1.624	
83	3885.0	0.0012	0.0047	865.7	215.300	316.3	93.6	409.9	1.358	1.621	
84	3961.0	0.0012	0.0045	855.5	222.700	318.3	90.8	409.1	1.363	1.618	
85	4038.0	0.0012	0.0043	844.8	230.600	320.4	87.8	408.2	1.369	1.614	
86	4116.0	0.0012	0.0042	833.5	239.000	322.5	84.7	407.2	1.375	1.610	
87	4196.0	0.0012	0.0040	821.6	248.100	324.8	81.3	406.1	1.381	1.606	
88	4277.0	0.0012	0.0039	808.8	257.900	327.1	77.7	404.8	1.387	1.602	
89	4359.0	0.0013	0.0037	795.1	268.700	329.5	73.9	403.4	1.393	1.597	
90	4442.0	0.0013	0.0036	780.1	280.600	332.1	69.8	401.9	1.400	1.592	
91	4527.0	0.0013	0.0034	763.6	294.000	334.8	65.3	400.1	1.407	1.586	
92	4614.0	0.0013	0.0032	745.1	309.300	337.8	60.1	397.9	1.415	1.580	
93	4702.0	0.0014	0.0031	723.7	327.500	341.0	54.3	395.3	1.424	1.572	
94	4791.0	0.0014	0.0029	697.8	350.200	344.8	47.2	392.0	1.434	1.562	
95	4882.0	0.0015	0.0026	662.9	382.000	349.6	37.7	387.3	1.446	1.549	

Table 2 (continued) Freon™ 22 Superheated Vapor — Constant Pressure Tables

V = Volume in m<sup>3</sup>/kg      H = Enthalpy in kJ/kg      S = Entropy in kJ/kg·K      Saturation Properties in ( )

Temp °C	Absolute Pressure kPa												Temp °C
	1400			1500			1600			1700			
	(36.31°C)			(39.10°C)			(41.75°C)			(44.28°C)			
	V	H	S	V	H	S	V	H	S	V	H	S	
(0.0167)	(415.6)	(1.703)	(0.0155)	(416.1)	(1.700)	(0.0144)	(416.5)	(1.696)	(0.0135)	(416.9)	(1.693)		
40	0.0171	419.1	1.714	0.0156	417.0	1.702	-	-	-	-	-	-	40
45	0.0177	423.7	1.729	0.0162	421.8	1.718	0.0148	419.8	1.706	0.0136	417.6	1.695	45
50	0.0183	428.2	1.743	0.0167	426.4	1.732	0.0153	424.6	1.721	0.0141	422.6	1.711	50
55	0.0188	432.5	1.756	0.0172	430.9	1.746	0.0159	429.2	1.736	0.0146	427.5	1.726	55
60	0.0193	436.9	1.769	0.0177	435.4	1.759	0.0164	433.8	1.750	0.0151	432.2	1.740	60
65	0.0198	441.1	1.782	0.0182	439.7	1.772	0.0168	438.3	1.763	0.0156	436.8	1.754	65
70	0.0203	445.3	1.795	0.0187	444.0	1.785	0.0173	442.7	1.776	0.0160	441.2	1.767	70
75	0.0208	449.5	1.807	0.0192	448.3	1.797	0.0177	447.0	1.788	0.0165	445.7	1.780	75
80	0.0213	453.7	1.819	0.0196	452.5	1.809	0.0182	451.3	1.801	0.0169	450.0	1.792	80
85	0.0217	457.8	1.830	0.0201	456.7	1.821	0.0186	455.6	1.813	0.0173	454.4	1.804	85
90	0.0222	462.0	1.842	0.0205	460.9	1.833	0.0190	459.8	1.824	0.0177	458.7	1.816	90
95	0.0226	466.1	1.853	0.0209	465.1	1.844	0.0194	464.0	1.836	0.0181	463.0	1.828	95
100	0.0231	470.2	1.864	0.0213	469.2	1.855	0.0198	468.2	1.847	0.0185	467.2	1.839	100
105	0.0235	474.3	1.875	0.0218	473.4	1.866	0.0202	472.4	1.858	0.0189	471.5	1.851	105
110	0.0239	478.4	1.886	0.0222	477.5	1.877	0.0206	476.6	1.869	0.0193	475.7	1.862	110
115	0.0244	482.6	1.896	0.0226	481.7	1.888	0.0210	480.8	1.880	0.0196	479.9	1.873	115
120	0.0248	486.7	1.907	0.0230	485.8	1.899	0.0214	485.0	1.891	0.0200	484.1	1.884	120
125	0.0252	490.8	1.917	0.0234	490.0	1.909	0.0218	489.2	1.902	0.0204	488.3	1.894	125
130	0.0256	494.9	1.928	0.0238	494.1	1.920	0.0222	493.4	1.912	0.0207	492.6	1.905	130
135	0.0260	499.1	1.938	0.0242	498.3	1.930	0.0225	497.5	1.922	0.0211	496.8	1.915	135
140	0.0265	503.2	1.948	0.0246	502.5	1.940	0.0229	501.7	1.933	0.0214	501.0	1.925	140
145	0.0269	507.4	1.958	0.0249	506.7	1.950	0.0233	505.9	1.943	0.0218	505.2	1.936	145
150	0.0273	511.5	1.968	0.0253	510.9	1.960	0.0236	510.2	1.953	0.0221	509.5	1.946	150
155	0.0277	515.7	1.978	0.0257	515.1	1.970	0.0240	514.4	1.963	0.0225	513.7	1.956	155
160	0.0281	519.9	1.987	0.0261	519.3	1.980	0.0243	518.6	1.972	0.0228	518.0	1.965	160
165	0.0285	524.1	1.997	0.0264	523.5	1.989	0.0247	522.9	1.982	0.0231	522.2	1.975	165
170	0.0289	528.3	2.007	0.0268	527.7	1.999	0.0250	527.1	1.992	0.0235	526.5	1.985	170
175	0.0292	532.6	2.016	0.0272	532.0	2.009	0.0254	531.4	2.001	0.0238	530.8	1.995	175
180	0.0296	536.8	2.026	0.0276	536.2	2.018	0.0257	535.6	2.011	0.0241	535.1	2.004	180
185	0.0300	541.1	2.035	0.0279	540.5	2.027	0.0261	539.9	2.020	0.0245	539.4	2.014	185
190	0.0304	545.3	2.044	0.0283	544.8	2.037	0.0264	544.2	2.030	0.0248	543.7	2.023	190

Temp °C	Absolute Pressure kPa												Temp °C
	1800			1900			2000			2100			
	(46.71°C)			(49.03°C)			(51.27°C)			(53.43°C)			
	V	H	S	V	H	S	V	H	S	V	H	S	
(0.0127)	(417.1)	(1.690)	(0.0119)	(417.4)	(1.687)	(0.0113)	(417.5)	(1.683)	(0.0106)	(417.6)	(1.680)		
50	0.0130	420.6	1.700	0.0120	418.4	1.690	-	-	-	-	-	-	50
55	0.0135	425.6	1.716	0.0126	423.7	1.706	0.0116	421.6	1.696	0.0108	419.4	1.686	55
60	0.0140	430.5	1.731	0.0130	428.7	1.721	0.0121	426.9	1.712	0.0113	424.9	1.702	60
65	0.0145	435.2	1.745	0.0135	433.6	1.736	0.0126	431.9	1.727	0.0118	430.1	1.718	65
70	0.0149	439.8	1.758	0.0139	438.3	1.750	0.0130	436.8	1.741	0.0122	435.1	1.733	70
75	0.0154	444.3	1.771	0.0143	442.9	1.763	0.0134	441.5	1.755	0.0126	440.0	1.747	75
80	0.0158	448.8	1.784	0.0147	447.5	1.776	0.0138	446.1	1.768	0.0130	444.7	1.760	80
85	0.0162	453.2	1.796	0.0151	451.9	1.788	0.0142	450.7	1.781	0.0134	449.4	1.773	85
90	0.0166	457.5	1.808	0.0155	456.4	1.801	0.0146	455.2	1.793	0.0137	454.0	1.786	90
95	0.0169	461.9	1.820	0.0159	460.8	1.813	0.0149	459.6	1.806	0.0141	458.5	1.798	95
100	0.0173	466.2	1.832	0.0162	465.1	1.825	0.0153	464.1	1.817	0.0144	463.0	1.811	100
105	0.0177	470.5	1.843	0.0166	469.5	1.836	0.0156	468.5	1.829	0.0148	467.4	1.822	105
110	0.0180	474.7	1.854	0.0170	473.8	1.847	0.0160	472.8	1.841	0.0151	471.8	1.834	110
115	0.0184	479.0	1.866	0.0173	478.1	1.859	0.0163	477.2	1.852	0.0154	476.2	1.845	115
120	0.0188	483.3	1.876	0.0176	482.4	1.870	0.0166	481.5	1.863	0.0157	480.6	1.857	120
125	0.0191	487.5	1.887	0.0180	486.7	1.880	0.0170	485.8	1.874	0.0160	484.9	1.868	125
130	0.0194	491.8	1.898	0.0183	490.9	1.891	0.0173	490.1	1.885	0.0163	489.3	1.878	130
135	0.0198	496.0	1.908	0.0186	495.2	1.902	0.0176	494.4	1.895	0.0166	493.6	1.889	135
140	0.0201	500.3	1.919	0.0190	499.5	1.912	0.0179	498.7	1.906	0.0169	498.0	1.900	140
145	0.0205	504.5	1.929	0.0193	503.8	1.922	0.0182	503.0	1.916	0.0172	502.3	1.910	145
150	0.0208	508.8	1.939	0.0196	508.1	1.932	0.0185	507.3	1.926	0.0175	506.6	1.920	150
155	0.0211	513.0	1.949	0.0199	512.3	1.943	0.0188	511.7	1.936	0.0178	511.0	1.931	155
160	0.0214	517.3	1.959	0.0202	516.6	1.953	0.0191	516.0	1.946	0.0181	515.3	1.941	160
165	0.0218	521.6	1.969	0.0205	520.9	1.962	0.0194	520.3	1.956	0.0184	519.6	1.951	165
170	0.0221	525.9	1.978	0.0208	525.2	1.972	0.0197	524.6	1.966	0.0187	524.0	1.960	170
175	0.0224	530.2	1.988	0.0211	529.6	1.982	0.0200	529.0	1.976	0.0190	528.3	1.970	175
180	0.0227	534.5	1.998	0.0214	533.9	1.991	0.0203	533.3	1.986	0.0192	532.7	1.980	180
185	0.0230	538.8	2.007	0.0217	538.2	2.001	0.0206	537.7	1.995	0.0195	537.1	1.989	185
190	0.0233	543.1	2.017	0.0220	542.6	2.010	0.0209	542.0	2.005	0.0198	541.5	1.999	190
195	0.0236	547.5	2.026	0.0223	546.9	2.020	0.0211	546.4	2.014	0.0201	545.8	2.008	195
200	0.0240	551.8	2.035	0.0226	551.3	2.029	0.0214	550.8	2.023	0.0203	550.2	2.018	200



Absolute Pressure kPa													
Temp °C	2200			2300			2400			2500			Temp °C
	(55.51°C)			(57.53°C)			(59.47°C)			(61.36°C)			
	V	H	S	V	H	S	V	H	S	V	H	S	
	(0.0101)	(417.7)	(1.677)	(0.0096)	(417.6)	(1.674)	(0.0091)	(417.6)	(1.671)	(0.0086)	(417.5)	(1.668)	
60	0.0105	422.8	1.693	0.0098	420.6	1.683	0.0091	418.2	1.673	-	-	-	60
65	0.0110	428.3	1.709	0.0103	426.3	1.700	0.0096	424.3	1.691	0.0090	422.1	1.682	65
70	0.0114	433.5	1.724	0.0107	431.7	1.716	0.0101	429.9	1.708	0.0095	428.0	1.699	70
75	0.0118	438.5	1.739	0.0111	436.9	1.731	0.0105	435.2	1.723	0.0099	433.5	1.715	75
80	0.0122	443.3	1.753	0.0115	441.9	1.745	0.0109	440.3	1.738	0.0102	438.8	1.730	80
85	0.0126	448.1	1.766	0.0119	446.7	1.759	0.0112	445.3	1.752	0.0106	443.9	1.745	85
90	0.0129	452.7	1.779	0.0122	451.5	1.772	0.0116	450.2	1.765	0.0110	448.8	1.758	90
95	0.0133	457.3	1.792	0.0126	456.1	1.785	0.0119	454.9	1.778	0.0113	453.7	1.772	95
100	0.0136	461.9	1.804	0.0129	460.7	1.797	0.0122	459.6	1.791	0.0116	458.4	1.784	100
105	0.0139	466.4	1.816	0.0132	465.3	1.809	0.0125	464.2	1.803	0.0119	463.1	1.797	105
110	0.0143	470.8	1.828	0.0135	469.8	1.821	0.0128	468.8	1.815	0.0122	467.7	1.809	110
115	0.0146	475.3	1.839	0.0138	474.3	1.833	0.0131	473.3	1.827	0.0125	472.3	1.821	115
120	0.0149	479.7	1.850	0.0141	478.8	1.844	0.0134	477.8	1.838	0.0128	476.9	1.833	120
125	0.0152	484.1	1.861	0.0144	483.2	1.855	0.0137	482.3	1.850	0.0131	481.4	1.844	125
130	0.0155	488.5	1.872	0.0147	487.6	1.867	0.0140	486.7	1.861	0.0134	485.9	1.855	130
135	0.0158	492.8	1.883	0.0150	492.0	1.877	0.0143	491.2	1.872	0.0136	490.4	1.866	135
140	0.0161	497.2	1.894	0.0153	496.4	1.888	0.0146	495.6	1.883	0.0139	494.8	1.877	140
145	0.0164	501.5	1.904	0.0156	500.8	1.899	0.0148	500.0	1.893	0.0142	499.3	1.888	145
150	0.0167	505.9	1.915	0.0158	505.2	1.909	0.0151	504.4	1.904	0.0144	503.7	1.898	150
155	0.0169	510.3	1.925	0.0161	509.6	1.919	0.0154	508.9	1.914	0.0147	508.1	1.909	155
160	0.0172	514.6	1.935	0.0164	513.9	1.930	0.0156	513.3	1.924	0.0149	512.6	1.919	160
165	0.0175	519.0	1.945	0.0167	518.3	1.940	0.0159	517.7	1.934	0.0152	517.0	1.929	165
170	0.0178	523.4	1.955	0.0169	522.7	1.950	0.0161	522.1	1.944	0.0154	521.4	1.939	170
175	0.0180	527.7	1.965	0.0172	527.1	1.959	0.0164	526.5	1.954	0.0157	525.9	1.949	175
180	0.0183	532.1	1.974	0.0174	531.5	1.969	0.0166	530.9	1.964	0.0159	530.3	1.959	180
185	0.0186	536.5	1.984	0.0177	535.9	1.979	0.0169	535.3	1.974	0.0162	534.7	1.969	185
190	0.0188	540.9	1.994	0.0179	540.3	1.988	0.0171	539.8	1.983	0.0164	539.2	1.979	190
195	0.0191	545.3	2.003	0.0182	544.7	1.998	0.0174	544.2	1.993	0.0166	543.6	1.988	195
200	0.0194	549.7	2.012	0.0185	549.2	2.007	0.0176	548.6	2.002	0.0169	548.1	1.998	200
205	0.0196	554.1	2.022	0.0187	553.6	2.017	0.0179	553.1	2.012	0.0171	552.6	2.007	205
210	0.0199	558.6	2.031	0.0190	558.1	2.026	0.0181	557.5	2.021	0.0173	557.0	2.016	210

Absolute Pressure kPa													
Temp °C	2600			2700			2800			2900			Temp °C
	(63.20°C)			(64.98°C)			(66.71°C)			(68.40°C)			
	V	H	S	V	H	S	V	H	S	V	H	S	
	(0.0082)	(417.3)	(1.665)	(0.0079)	(417.1)	(1.662)	(0.0075)	(416.8)	(1.659)	(0.0072)	(416.5)	(1.656)	
65	0.0084	419.7	1.672	0.0079	417.1	1.662	-	-	-	-	-	-	65
70	0.0089	425.9	1.691	0.0083	423.7	1.682	0.0078	421.4	1.673	0.0073	418.8	1.663	70
75	0.0093	431.7	1.707	0.0088	429.8	1.699	0.0083	427.8	1.691	0.0078	425.6	1.683	75
80	0.0097	437.1	1.723	0.0092	435.4	1.715	0.0087	433.7	1.708	0.0082	431.8	1.700	80
85	0.0100	442.4	1.738	0.0095	440.8	1.731	0.0090	439.2	1.724	0.0086	437.6	1.716	85
90	0.0104	447.4	1.752	0.0099	446.0	1.745	0.0094	444.6	1.738	0.0089	443.1	1.732	90
95	0.0107	452.4	1.765	0.0102	451.1	1.759	0.0097	449.7	1.752	0.0092	448.3	1.746	95
100	0.0110	457.2	1.778	0.0105	456.0	1.772	0.0100	454.7	1.766	0.0095	453.5	1.760	100
105	0.0113	462.0	1.791	0.0108	460.8	1.785	0.0103	459.7	1.779	0.0098	458.5	1.773	105
110	0.0116	466.7	1.803	0.0111	465.6	1.797	0.0106	464.5	1.792	0.0101	463.4	1.786	110
115	0.0119	471.3	1.815	0.0114	470.3	1.810	0.0109	469.2	1.804	0.0104	468.2	1.799	115
120	0.0122	475.9	1.827	0.0117	474.9	1.822	0.0111	473.9	1.816	0.0107	472.9	1.811	120
125	0.0125	480.5	1.839	0.0119	479.5	1.833	0.0114	478.6	1.828	0.0109	477.6	1.823	125
130	0.0128	485.0	1.850	0.0122	484.1	1.845	0.0117	483.2	1.839	0.0112	482.3	1.834	130
135	0.0130	489.5	1.861	0.0124	488.7	1.856	0.0119	487.8	1.851	0.0114	486.9	1.846	135
140	0.0133	494.0	1.872	0.0127	493.2	1.867	0.0122	492.4	1.862	0.0117	491.5	1.857	140
145	0.0135	498.5	1.883	0.0130	497.7	1.878	0.0124	496.9	1.873	0.0119	496.1	1.868	145
150	0.0138	503.0	1.893	0.0132	502.2	1.888	0.0127	501.4	1.884	0.0122	500.7	1.879	150
155	0.0140	507.4	1.904	0.0134	506.7	1.899	0.0129	506.0	1.894	0.0124	505.2	1.889	155
160	0.0143	511.9	1.914	0.0137	511.2	1.909	0.0131	510.5	1.905	0.0126	509.8	1.900	160
165	0.0145	516.3	1.924	0.0139	515.7	1.920	0.0134	515.0	1.915	0.0128	514.3	1.910	165
170	0.0148	520.8	1.934	0.0142	520.1	1.930	0.0136	519.5	1.925	0.0131	518.8	1.921	170
175	0.0150	525.2	1.944	0.0144	524.6	1.940	0.0138	524.0	1.935	0.0133	523.3	1.931	175
180	0.0152	529.7	1.954	0.0146	529.1	1.950	0.0140	528.5	1.945	0.0135	527.8	1.941	180
185	0.0155	534.1	1.964	0.0148	533.6	1.960	0.0143	533.0	1.955	0.0137	532.4	1.951	185
190	0.0157	538.6	1.974	0.0151	538.0	1.969	0.0145	537.5	1.965	0.0139	536.9	1.961	190
195	0.0159	543.1	1.983	0.0153	542.5	1.979	0.0147	542.0	1.975	0.0141	541.4	1.970	195
200	0.0162	547.5	1.993	0.0155	547.0	1.988	0.0149	546.5	1.984	0.0144	545.9	1.980	200
205	0.0164	552.0	2.002	0.0157	551.5	1.998	0.0151	551.0	1.994	0.0146	550.4	1.989	205
210	0.0166	556.5	2.012	0.0160	556.0	2.007	0.0153	555.5	2.003	0.0148	555.0	1.999	210
215	0.0168	561.0	2.021	0.0162	560.5	2.017	0.0156	560.0	2.012	0.0150	559.5	2.008	215



**LAMPIRAN C**  
**(DOKUMENTASI)**

## PROSES PEMBUATAN DAN PENGUJIAN ALAT

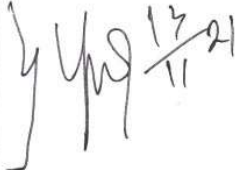





## LEMBAR REVISI JUDUL TUGAS AKHIR

Nama : Muhammad Fathul Rabbani/ Musdholifah Habibuddin

NIM : 34218015/ 34218018

### Catatan Daftar Revisi Penguji

No.	Nama	Uraian	Tanda Tangan
1	P. Yusuf	Hal 7 par. (1-1) - hal 22 dan 23 hal 90 T <sub>1</sub> , T <sub>2</sub> dst dr mana?	 13/11/21
2	P. Candra B	Pencampuran alat ukur Jelaskan dan gambarkan Hal 98.	 13/11/21
3	Sonong	- Data - Ufitecni - Ket. Partisan	 10/11/21
4	P. Sukma	o ama	 15/11/21

Makassar, 27 September 2021 Ketua  
Ujian Sidang,



Sukma Abadi, S.T., M.T.  
NIP 197510242003121001