



**SKRIPSI – ME 091329**

**STUDI EKSPERIMENTAL SISTEM  
KONDENSASI UAP HASIL EVAPORASI PADA  
SISTEM DESALINASI TENAGA MATAHARI**

Khilmi Affandi  
NRP. 4211106016

**Dosen Pembimbing 1:**

Sutopo Purwono Fitri, S.T., M.Eng, Ph.D  
NIP : 1975 1006 2002 12 1003

**Dosen Pembimbing 2:**

Ir. H. Alam Baheramsyah, M.Sc.  
NIP : 1968 0129 1992 03 1001

**Jurusan Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2014**



**SKRIPSI – ME 091329**

**EXPERIMENTAL STUDY OF VAPOR  
CONDENSATION SYSTEM IN SOLAR ENERGY  
DESALINATION SYSTEM**

Khilmi Affandi  
NRP. 4211106016

**First Supervisor:**

Sutopo Purwono Fitri, S.T., M.Eng, Ph.D  
NIP : 1975 1006 2002 12 1003

**Second Supervisor:**

Ir. H. Alam Baheramsyah, M.Sc.  
NIP : 1968 0129 1992 03 1001

**DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING  
Faculty Of Marine Engineering  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2014**

# **Studi Eksperimental Sistem Kondensasi Uap Hasil Evaporasi pada Sistem Desalinasi Tenaga Matahari**

**Nama Mahasiswa : Khilmi Affandi**

**NRP : 4211 106 016**

**Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan**

**Dosen Pembimbing :**

- 1. Sutopo Purwono Fitri, ST., M.  
Eng, Ph. D**
- 2. Ir. H. Alam Baheramsyah, M. Sc.**

## **Abstrak**

*Pada daerah pesisir umumnya memiliki masalah akses air bersih. Sumber air yang ada biasanya berasal dari sumur air tanah yang airnya berasa asin. Rasa asin ini dikarenakan air tanah yang bercampur dengan air laut, sehingga airnya menjadi payau. Upaya yang dapat dilakukan untuk penyediaan air bersih adalah dengan memanfaatkan air yang ada, salah satunya adalah air payau. Untuk dapat dimanfaatkan maka air laut perlu diolah terlebih dahulu. Dalam penelitian ini, pengolahan air payau ini dilakukan dengan cara mendestilasi. Dimana dilakukan pembuatan prototype sistem destilasi air payau. Supaya air hasil dari destilasi air payau maksimal, yakni air yang dihasilkan banyak, maka ditambahkan sistem kondensasi, berupa kondensor berpendingin air. Pada sistem ini, air payau diuapkan dengan sistem Solar Water Heater, menggunakan panas dari energi matahari, kemudian uap air yang dihasilkan keluar dari panel pemanas yang kemudian dialirkan menuju kondensor. Dari penelitian ini analisa volume air yang dihasilkan dan kandungan air hasil destilasi, dengan membandingkan antara satu kali proses destilasi*

*dan dua kali proses destilasi. Dan hasil yang diharapkan adalah, dengan adanya sistem kondensasi hasil air yang dikeluarkan lebih maksimal, dan dengan adanya dua kali pendestilasian – kandungan air destilasi mendekati dengan kandungan yang ada air tawar konsumsi.*

***Kata kunci:*** *Solar water heater, destilasi, kondensasi, kondensor.*

# Experimental Study of Vapor Condensation System in Solar Energy Desalination System

**Student** : Khilmi Affandi  
**NRP** : 4211 106 016  
**Department** : Marine Engineering  
**Supervisor** :  
1. **Sutopo Purwono Fitri, ST., M. Eng, Ph. D**  
2. **Ir. H. Alam Baheramsyah, M. Sc.**

## Abstract

*At the coastal regions generally have clean water access problems. There is usually a source of water comes from groundwater wells water taste salty. The saltiness because ground water mingled with sea water, so it turned into brackish. Efforts to take to clean water supply is to utilize water existing one is brackish water. To be able to use the sea water need to be processed first. In this research, processing brackish water is carried out by means of distillation. Where do the manufacture of prototype system of brackish water distillation. That results from the distillation water brackish water a maximum of produced water, which is a lot, then added, in the form of condensation system water-cooled condenser. In this system, the brackish water evaporated by Solar Water Heater system, using heat from solar energy, then the resulting water vapor out of the panel heater is then streamed to the condenser. Analysis of research is produced and water volume of water content result, distillation between one out by comparing the process of distillation process of distillation and twice. And the expected results are, with the results of the water condensation system that ejected*

*more maximum, and with twice distillating system – distillation water content close to the existing content of the fresh water consumption.*

**Keys Words:** *Solar water heater, distillation, condensation, condenser*

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**STUDI EKSPERIMENTAL SISTEM**  
**KONDENSASI UAP HASIL EVAPORASI PADA**  
**SISTEM DESALINASI TENAGA MATAHARI**

**SKRIPSI**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Marine Machinery and System (MMS)  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Khilmi Affandi**  
Nrp. 4211 106 016

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Sutopo Purwono F., S.T., M.Eng., Ph.D

(.....)

Ir. H. Alam Baheramsyah, M.Sc.

(.....)

**SURABAYA**

**Juli 2014**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**STUDI EKSPERIMENTAL SISTEM  
KONDENSASI UAP HASIL EVAPORASI PADA  
SISTEM DESALINASI TENAGA MATAHARI**

**SKRIPSI**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Marine Machinery and System (MMS)  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Khilmi Affandi**  
Nrp. 4211 106 016

Disetujui oleh ketua jurusan teknik sistem perkapalan :

Dr. Ir. Agoes A. Masroeri, M.Eng



**SURABAYA**  
Juli 2014



## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji syukur hanya kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul : **STUDI EKSPERIMENTAL SISTEM KONDENSASI UAP HASIL EVAPORASI PADA SISTEM DESALINASI TENAGA MATAHARI.**

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang tak terhingga atas segala sesuatu yang diberikan kepada penulis khususnya kepada :

1. Kedua Orang tua tercinta, Ibunda Siti Djuwarijah dan Ayahanda M. Farhan, dan kedua kakak yang tersayang, Iffah Istianah dan Nia Maulia, serta segenap keluarga yang telah mendoakan dan mendukung, dengan semangat dan motivasi-motivasi yang telah diberikan.
2. Bapak Sutopo Purwono Fitri, ST., M. Eng, Ph. D., dan Bapak Ir. H. Alam Baheramsyah, M. Sc. selaku pembimbing yang telah banyak memberikan masukan, kritik dan saran selama pengerjaan skripsi ini.
3. Bapak Dr. Ir. Agoes A. Masroeri, M. Eng, selaku Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan dan Bapak Ir. Hari Prastowo, M. Sc., selaku dosen wali yang telah memberikan bimbingan dan nasehat.
4. Dewi Jumineti, dan Nadia Handayani selaku teman seperjuangan dalam pengerjaan skripsi, dan Yosef Novian yang turut membantu dalam pengerjaan alat.

5. Amin Martha Dinata, Angga Eka Ardhista, Bobby Alfian, Fakhruddin Zulfikar, Zainul Imam, Adzannis Arianda, Nevi Febriyani, dan sahabat-sahabat penulis yang lain, yang selalu memdoakan dan memberi semangat untuk mengerjakan dan menyelesaikan skripsi ini.
6. Rekan-rekan anggota Laboratorium Mesin Fluida, baik yang mengerjakan skripsi di bidang mesin fluida maupun yang aktif di Laboratorium Mesin Fluida.
7. Teman-teman Jurusan Teknik Sistem Perkapalan beserta civitas akademik Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, ITS.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini jauh dari sempurna. Oleh karena itu penulis sangat mengharap segala bentuk saran dan kritik yang membangun guna penyempurnaan tugas akhir ini. Sebagai akhir penulis berharap agar tugas akhir ini dapat bermanfaat dan menjadi kajian bagi banyak pihak.

Surabaya, Juli 2014

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xix</b>
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	<b>xxi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Perumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan .....	2
1.4. Batasan Masalah .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1. Destilasi.....	5
2.1.1. Desalinasi dengan Metode Evaporasi....	5
2.1.2. Laju Destilasi .....	7
2.2. <i>Solar Water Evaporator</i> .....	7
2.3. Perpindahan Kalor.....	10
2.2.1. Konduksi .....	10
2.2.2. Konveksi .....	11
2.2.3. Radiasi.....	12
2.4. Kondensasi .....	14
2.5. Kondensor .....	18
2.5.1. Kondensor kontak langsung .....	19
2.5.2. Kondensor permukaan.....	19
2.5.3. Desain kondensor .....	20
2.6. Insulasi Termal.....	23
2.6.1. Insulasi sistem pendingin .....	24
2.6.2. Material insulasi .....	25

2.7. Air Layak Minum.....	28
2.7.1. Persyaratan kualitas air minum .....	29
<b>BAB III METODOLOGI .....</b>	<b>33</b>
3.1. Diagram alur.....	33
3.2. Metodologi .....	34
3.3. Identifikasi Masalah .....	34
3.4. Studi Literatur .....	34
3.5. Identifikasi Objek .....	34
3.6. Perencanaan Sistem Desalinasi dan, Desain dan Pembuatan Alat .....	35
3.6.1. Tangki air payau.....	35
3.6.2. <i>Solar Water Evaporator</i> .....	35
3.6.3. Kondensor .....	35
3.6.4. Tangki air produk desalinasi .....	37
3.6.5. Prinsip kerja.....	37
3.6.6. Uji coba alat (kalibrasi).....	42
3.7. Percobaan .....	42
3.7.1. Metode percobaan .....	42
3.7.2. Prosedur percobaan .....	44
3.8. Pengumpulan Data .....	45
3.9. Analisa Data Percobaan .....	47
3.10. Penarikan Kesimpulan .....	48
<b>BAB IV DATA AWAL .....</b>	<b>49</b>
4.1. Data Identifikasi Kandungan Air Payau .....	49
4.2. Data Perhitungan Desain.....	49
4.2.1. Perhitungan <i>Solar Water Evaporator</i> ....	49
4.2.2. Perhitungan desain kondensor.....	52
4.3. Desain dan Spesifikasi .....	56
4.3.1. Evaporator tenaga matahari.....	57
4.3.2. Kondensor .....	57
4.3.3. Penurun tekanan (pompa vakum).....	60
4.4. Analisa Awal Desain Kondensor .....	61
4.3.1. Kalor serap kondensor.....	61

4.3.2. Beban panas luar .....	63
<b>BAB V ANALISA DATA .....</b>	<b>65</b>
5.1. Data Hasil Percobaan.....	65
5.1.1. Data Percobaan.....	65
5.1.2. Data Hasil Pengujian Air Hasil Desalinasi .....	66
5.2. Analisa Hasil Percobaan .....	67
<b>BAB VI PENUTUP.....</b>	<b>77</b>
6.1. Kesimpulan .....	77
6.1.1. Efisiensi.....	77
6.1.2. Kadar Garam Air Hasil Desalinasi .....	78
6.2. Saran .....	79
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>81</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>83</b>

*(Halaman Ini Sengaja Dikosongka)*

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
Tabel 2.1. Tabel Ketebalan Insulasi untuk Sistem Pendingin .	24
Tabel 2.2. Batas suhu yang dimiliki material isolasi .....	25
Tabel 4.1. Data uji laboratorium sampel air payau.....	49
Tabel 5.1. Data percobaan .....	66
Tabel 5.2. Hasil uji NaCl dan pH pada air hasil desalinasi .....	66
Tabel 5.3. Analisa Suhu uap, kalor serap kondensor, dan efisiensi terhadap desain.....	71
Tabel 5.4. Analisa Suhu uap, kalor serap kondensor, dan efisiensi terhadap desain.....	73

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*



## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
Diagram 3.1 Alur Pengerjaan Skripsi .....	33
Diagram 3.2 Alur Pengerjaan Perancangan Kondensor.	40
Diagram 3.3 Alur pembuatan alat .....	41
Gambar 2.1. Kolektor pelat datar.....	9
Gambar 2.2. Jenis kondensasi .....	15
Gambar 2.3. Kondensasi pada permukaan yang bersih dan kering .....	16
Gambar 2.4. Kondensasi film dan butiran.....	17
Gambar 2.5. Kondensor kontak langsung dan kondensor permukaan serta aliran udara dala kondensor .....	20
Gambar 2.6. Panas yang ditransfer oleh media pendingin	21
Gambar 2.7. Mineral Wool Insulation.....	27
Gambar 3.1. Kondensor Sederhana.....	36
Gambar 3.2. Desain Kondensor yang direncanakan .....	37
Gambar 3.3. Skema sistem desalinasi satu tingkat.....	39
Gambar 3.4. Skema sistem desalinasi dua tingkat .....	39
Gambar 3.5. Skema metode pengambilan data percobaan	43
Gambar 4.1. Perpindahan kalor antararefrigeran dan air melalui sebuah pipa.....	52
Gambar 4.2. <i>Heat Resistance</i> .....	53
Gambar 4.3. .Skema sistem desalinasi yang telah dibuat	56
Gambar 4.4. Desain kondensor .....	56
Gambar 4.5. Panel Evaporator .....	57
Gambar 4.6. <i>Coil</i> tembaga.....	58
Gambar 4.7. Drum alumunium .....	59
Gambar 4.8. <i>Bulkhead union</i> .....	59
Gambar 4.9. <i>Filtering flask</i> dan prob karet .....	60
Gambar 4.10. <i>Vacuum pump</i> .....	60

Gambar 5.1.Pengaruh suhu air pendingin terhadap volume air yang dihasilkan ..... 67

Gambar 5.2.Pengaruh variasi suhu air pendingin kondensor terhadap laju desalinasi ..... 68

Gambar 5.3. Pengaruh penurunan suhu terhadap efisiensi sistem ..... 70

Gambar 5.4. Analisa Suhu uap, kalor serap kondensor, dan efisiensi terhadap desain..... 72

Gambar 5.5. Analisa Suhu uap, kalor serap kondensor, dan efisiensi terhadap desain, ketika suhu pendingin diturunkan ..... 74

## DAFTAR NOTASI

$A$	: Luas penampang
$A_i$	: Luas permukaan dalam pipa
$A_{kaca}$	: Luas permukaan kaca
$A_o$	: Luas permukaan luar pipa
$A_{panel}$	: Luas ruangan pemanasan
$C_{kaca}$	: Kalor jenis kaca
$C_{PG}$	: Panas spesifik gas
$C_{PL}$	: Panas spesifik rata-rata untuk <i>liquid</i> pendingin
$d_i$	: Diameter dalam pipa
$d_o$	: Diameter luar pipa
$G_R$	: Konstanta surya
$H_V$	: Panas kondensasi dari uap
$h_c$	: Koefisien konveksi
$h_i$	: Koefisien perpindahan panas untuk uap air
$h_o$	: Koefisien perpindahan panas air
$h_{wind}$	: Konveksi karena angin
$IT$	: Intensitas matahari
$k$	: Konduktivitas termal
$k_{Al}$	: Konduktivitas termal Aluminium
$k_{stf}$	: Konduktivitas termal <i>styrofoam</i>
$L$	: Panjang
$\dot{m}_g$	: Laju massa gas
$\dot{m}_l$	: Laju massa liquid sebagai pendingin
$n$	: Jumlah hari
$OD$	: Diameter luar
$q$	: Laju perpindahan panas
$Q_{beban\ luar}$	: Beban panas dari luar
$Q_c$	: Kalor yang diserap kondensor
$Q_{nett}$	: Panas yang diterima panel
$T$	: Temperatur/ suhu
$T_c$	: Temperatur air pendingin ( <i>coolant</i> )

$T_{\text{Dew Point}}$	: Temperatur pengembunan
$T_f$	: Temperatur/ suhu fluida
$T_{G1}$	: Temperatur gas awal
$T_i$	: Temperatur air
$T_{L1}$	: Temperatur liquid pendingin yang masuk
$T_{L2}$	: Temperatur liquid pendingin yang keluar
$T_{\text{lingkungan}}$	: Temperatur lingkungan
$T_o$	: Temperatur refrigerant
$T_s$	: Temperatur permukaan
$T_{\text{uap}}$	: Temperatur uap
$t$	: waktu pengoperasian alat desalinasi
$U_o$	: Koefisien perpindahan kalor total berdasar pada luas permukaan luar
$U_i$	: Koefisien perpindahan kalor total berdasar pada luas permukaan luar dalam
$V_{\text{desalinasi}}$	: Laju desalinasi
$V_{\text{in}}$	: Volume air payau yang masuk ke evaporator
$V_{\text{out}}$	: Volume air hasil desalinasi
$W_{\text{kaca}}$	: Lebar kaca
$x$	: Ketebalan pipa
$x_{Al}$	: Ketebalan Aluminium
$x_{\text{stf}}$	: Ketebalan <i>Styrofoam</i>

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Jumlah penduduk di Indonesia sekarang ini semakin bertambah. Kepala Badan Kependudukan dan Keluarga Berencana Nasional (BKKBN) Fasil Jalal mengungkapkan pada 2013 ini diperkirakan jumlah penduduk Indonesia akan bertambah menjadi 250 juta jiwa dengan pertumbuhan penduduk 1,49 persen per tahun. (Republika, 2013). Jumlah pertambahan penduduk ini juga berpengaruh pada semakin bertambahnya kebutuhan akan air bersih, terutama di daerah pesisir karena Indonesia yang merupakan negara kepulauan. Daerah pesisir di Indonesia identik dengan masyarakat miskin dan pemukiman kumuh. Pada daerah pesisir ini umumnya memiliki masalah akses air bersih. Sumber air yang ada biasanya berasal dari sumur air tanah yang airnya berasa asin. Rasa asin ini dikarenakan air tanah yang bercampur dengan air laut, sehingga airnya menjadi payau. Upaya yang dapat dilakukan untuk penyediaan air bersih adalah dengan memanfaatkan air yang ada, salah satunya adalah air laut. Untuk dapat dimanfaatkan maka air laut perlu diolah terlebih dahulu.

Ada berbagai teknik pengolahan air asin/payau sekarang ini, di antaranya: *reverse osmosis*, *elektrodialisis*, destilasi transfer *membrane*, *ion exchang*, dan penguapan evaporasi. Namun, teknik-teknik pengolahan tersebut dari segi ekonomis masih terlalu mahal. Sehingga diperlukan metode alternatif untuk pengolah air payau dengan efisiensi pengolahan yang tinggi dan biaya yang relatif lebih terjangkau. Salah satunya adalah dengan cara penguapan

dengan menggunakan pemanas – dengan matahari sebagai sumber energi panasnya. Teknik ini disebut *Desalinasi* atau Destilasi, sehingga didapatkan alternatif desalinasi air payau yang murah dan mudah digunakan oleh masyarakat, dengan biaya operasional yang sedikit. Berdasarkan alasan tersebut, peneliti ingin melakukan penelitian tentang ”**Studi Eksperimental Sistem Kondensasi Uap Hasil Evaporasi pada Sistem Desalinasi Tenaga Matahari**”.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah pada penyusunan skripsi ini adalah sebagai berikut:

- a) Bagaimanakah metode pengolahan air payau yang efisien dengan harga yang cukup terjangkau.
- b) Bagaimanakah metode yang mampu meningkatkan efektifitas sistem destilasi air payau.
- c) Bagaimana tingkat kemurnian air produk destilasi tersebut sehingga laik untuk dikonsumsi.

## **1.3 Tujuan**

Ada pun tujuan dari pembuatan skripsi ini, di antaranya:

- a) Untuk membuat desain sistem kondensasi uap air payau pada alat desalinasi yang efisien.
- b) Untuk mengetahui kinerja dan efisiensi proses kondensasi uap hasil evaporasi pada alat desalinasi tenaga matahari.
- c) Untuk mengetahui tingkat kadar garam dan pH air produk desalinasi .

## **1.4 Batasan Masalah**

Ada pun beberapa batasan masalah dari skripsi ini, antara lain:

- a) Analisa dilakukan sebatas pada kinerja kondensor, efisiensi sistem dan kemurnian air hasil desalinasi.
- b) Percobaan tidak mencakup metode analisis kandungan air hasil desalinasi.
- c) Analisa ekonomis terhadap alat tidak dilakukan.

*(Halaman Sengaja Dikosongkan)*



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Destilasi**

Destilasi merupakan teknik pemisahan yang didasari atas perbedaan perbedaan titik didik atau titik cair dari masing-masing zat penyusun dari campuran homogen. Dalam proses destilasi terdapat dua tahap proses yaitu tahap penguapan dan dilanjutkan dengan tahap pengembangan kembali uap menjadi cair atau padatan. Atas dasar ini maka perangkat peralatan destilasi menggunakan alat pemanas dan alat pendingin.

Proses destilasi diawali dengan pemanasan, sehingga zat yang memiliki titik didih lebih rendah akan menguap. Uap tersebut bergerak menuju kondenser yaitu pendingin, proses pendinginan terjadi karena kita mengalirkan air kedalam dinding (bagian luar *condenser*), sehingga uap yang dihasilkan akan kembali cair. Proses ini berjalan terus menerus dan akhirnya kita dapat memisahkan seluruh senyawa-senyawa yang ada dalam campuran homogen tersebut.

##### **2.1.1 Desalinasi dengan Metode Evaporasi**

Penguapan (evaporasi) adalah perubahan suatu zat cair menjadi uap pada beberapa suhu dibawah titik didihnya. Sebagai contoh, air ketika ditempatkan pada wadah dangkal yang terbuka ke udara, tiba – tiba menghilang, kecepatan penguapan bergantung pada sejumlah permukaan yang terbuka, kelembaban udara dan suhu. Penguapan (evaporasi) terjadi dikarenakan diantara molekul-molekul yang dekat dengan permukaan zat cair tersebut selalu terdapat cukup

energy panas untuk mengatasi gaya kohesi sesama molekul kemudian melepaskan.

Kecepatan penguapan bergantung pada suhu zat cair tersebut, seberapa kuat ikatan antar molekul dalam zat cair tersebut, luas permukaan zat cair, suhu, tekanan, dan pergerakan udara di sekitar hingga penguapan tersebut dapat terjadi. Beberapa faktor yang mempengaruhi kecepatan penguapan zat cair.

- Tekanan uap. Tekanan uap adalah tekanan uap intrinsik suatu zat dimana dalam kondisi setimbang dengan bentuk zat cairnya. Air pada 25°C tekanan uapnya 25 mmHg. Pada 0°C, titik beku air murni, tekanan uap air/es adalah sekitar 4,5 mmHg. Maka kecepatan penguapan es + air lebih rendah daripada air pada saat keduanya bersuhu 25°C.
- Bertambahnya suhu, meningkatkan tekanan uap dan akibatnya meningkatnya kecepatan penguapan (faktor lainnya dianggap sama). Maka pada suhu 100°C, tekanan uap air adalah 760 mmHg atau 1 atmosfer.
- Adanya tekanan uap suatu larutan yang rendah atau dapat siabakan akan mengurangi kecepatan penguapan. Maka, sebagai contoh, kecepatan penguapan air dari air garam akan menjadi berkurang dibandingkan dari air bersih (faktor lainnya dianggap sama).
- Pada kasus air, kelembaban relative, dimana persen tekanan uap pada udara diatas zat cair dibandingkan dengan tekanan uap pada suhu tertentu, mengurangi kecepatan penguapan. Kecepatan penguapan air diperkirakan seperti sebuah garis lurus dari titik maksimum pada 0% kelembaban relative hingga pada titik 100 kelembaban relatif.
- Faktor yang penting dalah kecepatan udara bergerak melintang pada permukaan zat cair.

- Gerakan udara (angin) yang lebih cepat akan memindahkan lebih banyak uap air dan lebih cepat kecepatan penguapannya. Tapi terdapat faktor yang bertentangan, sebagai contoh, kecepatan udara yang sangat cepat akan endinginkan air, dimana mengurangi tekanan uap dan kecepatan penguapan.

### 2.1.2 Laju Destilasi

Hasil dari proses desalinasi surya sangat bergantung pada panas matahari. Oleh sebab itu untuk menghitung besar dari laju desalinasi dipengaruhi oleh besarnya luasan dari tempat pemanasan air baku. Untuk menghitung laju desalinasi dapat menggunakan persamaan berikut ini:

$$\frac{\text{Volume air produk [liter]}}{\text{Luas ruang pemanasan [m}^2\text{]} \times \text{Waktu pengoperasian [jam]}}$$

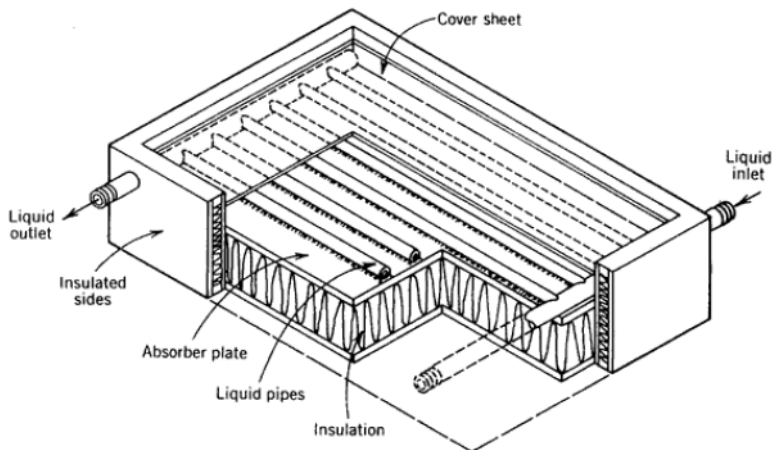
[2-1]

## 2.2 Solar Water Evaporator

*Solar water heater* merupakan *water heater* yang menggunakan energi matahari sebagai sumber energi penghasil panas. Alat pemanas ini merupakan alat pemanas yang paling hemat listrik, dan tidak membutuhkan biaya operasional yang besar karena menggunakan tenaga surya yang tersedia secara gratis. Jenis yang satu ini memang paling hemat listrik karena menggunakan tenaga matahari sebagai sumber panas, tetapi harga jenis ini jauh lebih mahal dibandingkan dengan tipe lainnya. *Solar water heater* sangat cocok untuk daerah tropis yang dilimpahi sinar matahari sepanjang tahun. Cara kerja *water heater* tipe ini adalah menggunakan prinsip penyerapan tenaga matahari. Panas

matahari diserap oleh panel kolektor panas. Dimana panas matahari tersebut memanaskan air pada pipa kapiler yang ada di dalamnya. Konsep pada alat desalinasi tenaga matahari ini adalah berupa panel kolektor panas matahari, seperti pada *Solar Water Heater*. Namun, pada hal ini panel kolektor panas tidak hanya berfungsi memanaskan tetapi juga mengubah fase cair – air payau menjadi uap air.

Menurut Sayigh (1977), kolektor panas merupakan suatu alat yang dapat menampung panas yang bertujuan untuk mencegah penurunan panas secara drastis. Berbagai jenis – tipe kolektor panas yang telah banyak digunakan antara lain: kolektor pelat datar, kolektor panas berbentuk tabung, kolektor pelat datar yang disusun dengan kemiringan tertentu, kolektor yang diberi kaca penutup, maupun kolektor yang berisi aliran air. Kolektor surya merupakan suatu bagian yang diperlukan untuk mengubah energi radiasi matahari ke bentuk energi panas untuk berbagai keperluan misalnya sebagai pemanas air. Kolektor surya akan menyerap energi dari radiasi matahari dan mengkonversikannya menjadi panas yang berguna untuk memanaskan air di dalam kolektor sehingga suhu air akan meningkat dan terjadi konveksi alami berdasarkan efek termosipon karena adanya perbedaan massa jenis fluida (Kristanto: 2000).



**Gambar 2 1 Kolektor pelat datar**

Menurut Cengel (2003), kolektor pelat datar biasanya dibuat miring menghadap ke atas pada lintasan matahari untuk menangkap secara langsung radiasi tenaga matahari dalam jumlah yang besar. Kemiringan sudut terhadap horizontal mempengaruhi kehilangan panas dari kolektor maka pada bagian belakang kolektor diberi insulator. Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan oleh Kristanto (2000), posisi kemiringan yang paling baik dari kolektor yang menghasilkan efisiensi yang optimal adalah pada kemiringan  $45^\circ$ .

Menurut Irawan (2001) prinsip kerja dari sistem kolektor surya yang dibuat miring ini akan menyebabkan air dingin yang masuk ke dalam kolektor akan mendapatkan transfer kalor baik secara konveksi maupun radiasi akibat terperangkapnya radiasi surya dalam kolektor yang dibatasi oleh pelat dan kaca bening tembus cahaya. Karena adanya transfer panas tersebut maka suhu air yang berada di dalam kolektor akan lebih tinggi dibandingkan dengan suhu air

ketika memasuki kolektor. Perbedaan suhu air di dalam kolektor ini akan menimbulkan adanya perbedaan massa jenis air, dimana air yang bersuhu lebih tinggi memiliki massa jenis yang lebih kecil sehingga memiliki kecenderungan untuk bergerak ke posisi yang lebih tinggi, demikian pula air di dalam pipa yang memiliki suhu lebih rendah memiliki massa jenis lebih besar dan cenderung bergerak ke bawah sehingga terjadi peristiwa koveksi secara alami.

Komponen-komponen yang berpengaruh terhadap kinerja dari kolektor panas meliputi dua faktor yaitu actor dalam dan faktor luar. Faktor yang berasal dari dalam berupa bentuk kolektor, jenis kaca penutup, daya serap kaca penutup terhadap panas, ketebalan kaca penutup, insulator panas, jenis bahan penyerap panas (aluminium/besi), konduktivitas panas dari bahan kolektor panas, proses pindah panas yang terjadi (konduksi atau konveksi), penyusunan kolektor terhadap sinar matahari (miring atau datar). Faktor yang berasal dari luar terdiri atas efisiensi radiasi thermal di atmosfer (radiasi global), suhu lingkungan dan kecepatan angin (Hahne: 1978).

## **2.3 Perpindahan Kalor**

Menurut Holman (1986, p.1) perpindahan kalor (*heat transfer*) ialah ilmu untuk meramalkan perpindahan energy yang terjadi karena adanya perbedaan suhu diantara benda atau material.

### **2.3.1 Konduksi**

Perpindahan kalor melalui suatu bahan padat disebut dengan *Konduksi*. Perpindahan kalor ini menyangkut pertukaran energi pada tingkat molekuler.

Stoecker (1982, p.24) menyatakan bahwa pengamatan gejala fisika dan serentetan pemikiran telah menghasilkan persamaan laju aliran kalor untuk konduksi. Kepadatan aliran (*flux*) energi perpindahan kalor secara konduksi di sepanjang sebuah batangan padat, sebanding dengan beda suhu dan luas penampang, serta berbanding terbalik dengan panjangnya.

$$q = -kA \frac{\Delta T}{L} \quad [2-2]$$

Dengan

$A$  = luas penampang,  $m^2$

$\Delta T$  = beda suhu, K

$L$  = panjang, m

$k$  = daya hantar (konduktivitas) termal, W/m.k

Daya hantar termal merupakan suatu karakteristik dari bahan, dan perbandingan daya hantar termal dengan panjang ( $k/L$ ) disebut *hantaran (konduktansi)*.

Daya hantar (konduktivitas) termal dan laju perpindahan kalor konduktif ditentukan oleh struktur molekul bahan. Semakin rapat dan rapinya susunan struktur molekul-molekul, yang seperti dimiliki pada logam, maka akan semakin cepat perpindahan energinya dibandingkan dengan bahan dengan susunan yang acak dan jarang, yang biasanya terdapat pada bahan non-logam.

### 2.3.2 Konveksi

Bila sebuah fluida lewat di atas sebuah permukaan padat panas, maka tenaga akan dipindahkan kepada fluida dari dinding oleh proses hantaran. Energy ini kemudian diangkut, atau dikonveksikan (*convected*), ke hilir oleh fluida, dan

didifusikan melalui fluida oleh hantaran di dalam fluida tersebut. Jenis proses perpindahan energy ini dinamakan perpindahan energi konveksi (*convection heat transfer*). (Reynolds: 1970)

Sedangkan Stoecker (1982, p.24) menyatakan bahwa perpindahan kalor konveksi bergantung pada konduksi antara permukaan benda padat dengan fluida terdekat yang bergerak. Jadi masing-masing mekanisme perpindahan kalor berbeda satu sama lainnya.

Persamaan laju perpindahan kalor secara konveksi telah diajukan oleh Newton pada tahun 1701, juga berasal dari pengamatan fisika,

$$q = h_c A (T_s - T_f) \quad [2-3]$$

Dengan  $h_c$  = koefisien konveksi,  $W/m^2.K$

$T_s$  = suhu permukaan,  $^{\circ}C$

$T_f$  = suhu fluida,  $^{\circ}C$

### 2.3.3 Radiasi

Berbeda dengan mekanisme pada perpindahan kalor secara konduksi dan konveksi, dimana perpindahan kalor tersebut terjadi melalui material penghantar, perpindahan secara radiasi ini berpindah melalui daerah-daerah hampa. Dimana mekanisme di sini adalah sinaran atau radiasi elektromagnetik. Radiasi adalah proses yang membawa energy dengan jalan pelompatan foton dari suatu permukaan ke permukaan lainnya.

Menurut Stoecker (1982, p.23), radiasi dapat memindahkan energy menyeberangi ruang vakum dan tidak



bergantung pada medium perantara untuk menghubungkan dua permukaan.

Foton-foton selain diradiasikan, ketika foton-foton mencapai permukaan juga diserap, dipantulkan atau diteruskan melalui permukaan.

Menurut J.P Holman (1986, p.13), radiator (penyinar) ideal, atau benda hitam (*blackbody*), memancarkan energy dengan laju yang sebanding dengan pangkat empat suhu absolute benda itu berbanding langsung dengan luas permukaan. Jadi,

$$q_{pancaran} = \sigma AT^4 \quad [2-4]$$

di mana  $\sigma = 5,669 \times 10^{-8} W/m^2 \cdot K^4$ .

Persamaan tersebut hanya berlaku pada benda hitam, yang disebut hukum Stean – Boltzmann tentang radiasi termal. Sedangkan untuk jenis permukaan yang lain, seperti yang dicat mengkilap atau plat logam yang dipoles tidak memancarkan energy sebanyak benda hitam; tetapi jumlah radiasinya yang dipancarkan benda-benda itu masih proporsional pada  $T_1^4$ .

Holman juga menjelaskan (1986, p.13) bahwa, untuk memperhitungkan sifat “kelabu” permukaan yang demikian, kita tampilkan suatu faktor lain ke dalam persamaan, yang disebut emisivitas  $\epsilon$  atau kepancaran (*emissivity*), yang menghubungkan sinar permukaan “kelabu” dengan permukaan benda yang hitam sempurna. Di samping itu, diperhitungkan kenyataan bahwa radiasi dari suatu permukaan tidak seluruhnya sampai ke permukaan lain, karena radiasi elektromagnetik berjalan menurut garis lurus dan sebagian hilang ke lingkungan. Untuk

memperhitungkan kedua situasi itu dimasukkan dua faktor baru ke dalam persamaan, sehingga:

$$q = F_{\epsilon} F_G \sigma A (T_1^4 - T_2^4) \quad [2-5]$$

dengan  $F_{\epsilon} = \text{fungsi emisivitas}$

$F_G = \text{fungsi faktor pandangan}$

## 2.4 Kondensasi

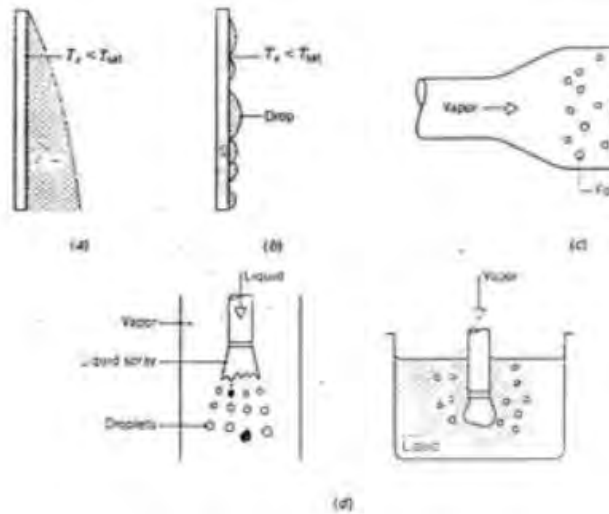
Menurut Karnaningroem (1990) proses pengembunan adalah proses perubahan wujud gas menjadi wujud cair karena adanya perbedaan temperature. Temperatur pengembunan berubah sejalan dengan tekanan uap. Oleh karena itu temperatur pengembunan didefinisikan sebagai temperatur pada kondisi jenuh akan dicapai bila udara didinginkan pada tekanan tetap tanpa penambahan kelembaban. Untuk menghasilkan pengembunan dilakukan dua cara, yaitu:

- Menurunkan temperatur sehingga mereduksi kapasitas dari uap air.
- Menambah jumlah uap air

Menurut Hendra Yudi (2013), kondensasi diklasifikasikan menjadi beberapa macam berdasarkan faktor-faktor yang mempengaruhinya:

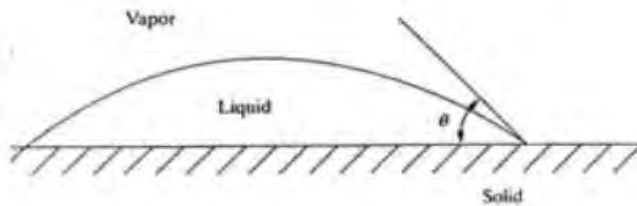
1. Jenis kondensasi: *homogenous*, *heterogenous*, *dropwise*, *film*, atau *direct contact*.
2. Kondisi uap: satu komponen; banyak komponen dengan semua komponen mampu terkondensasi; banyak komponen beserta komponennya yang tidak mampu terkondensasi.

3. Geometri sistem: *plane surface*, *external*, *internal*, dan lain-lain.



**Gambar 2 2** Jenis kondensasi: (a) *film*, (b) *surface dropwise condensation*, (c) *kondensasi homogeny, atau pembentukan kabut sebagai hasil kenaikan tekanan karena ekspansi*, (d) *direct-contact condensation*.

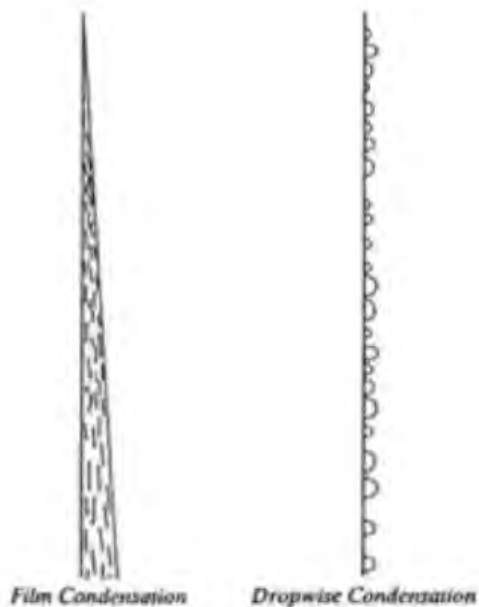
Dari klasifikasi di atas sangat mungkin ada kategori dari metode klasifikasi yang berbeda terjadi *overlaps*, artinya pada ketegori proses kondensasi yang satu masih berhubungan dengan kategori proses kondensasi yang lain. Di antara klasifikasi di atas, kondensasi berdasarkan jenisnya aling banyak digunakan (Hendra Yudi: 2013).



**Gambar 2 3** Kondensasi pada permukaan yang bersih dan kering

Kondensasi homogen (*homogenous*) terjadi ketika uap didinginkan di bawah temperature jenuhnya untuk menghasilkan *dropleat nucleation*. Hal ini disebabkan oleh campuran dua aliran uap pada temperatur yang berbeda, pendinginan radiate (memancar) pada campuran uap dan komponen uap yang tak terkondensasi seperti pada pembentukan kabut (*fog*) di atmosfer, atau penurunan tekanan uap yang tiba-tiba.

Kondensasi *heterogenous*, merupakan jenis kondensasi dimana *droplet* terbentuk dan muncul pada permukaan benda padat. Pendinginan uap yang cukup sangat dibutuhkan untuk memulai kondensasi ketika permukaannya halus dan kering. Kondensasi heterogen dapat memicu terjadinya jenis kondensasi *film* atau *dropwise*.



**Gambar 2 4** Kondensasi film dan butiran

Kondensasi butiran (*dropwise condensation*) terjadi ketika cairan kondensat jatuh membasahi permukaan dan membentuk lapisan (*film*). Kondensat membentuk butiran di sepanjang permukaan. Kondensasi butiran merupakan jenis perpindahan kalor yang paling efisien karena laju perpindahan kalor kondensasinya jauh lebih besar dibandingkan kondensasi *film*. Akumulasi dari butiran pada permukaan dapat memicu terbentuknya lapisan cairan (*liquid film*).

Kondensasi *film* merupakan jenis kondensasi yang umum terjadi pada kebanyakan sistem. Kondensat, dalam bentuk butiran, membasahi permukaan dan jatuh bergabung membentuk lapisan cairan yang saling menyatu. Lapisan

cairan mengalir sebagai akibat gravitasi, gesekan uap, dan lain-lain. Kondensasi *film* paling banyak terjadi pada aplikasi keteknikan. Aliran cairan kondensat akan memunculkan fenomena seperti aliran laminar, aliran gelombang (*wavy*), transisi laminar – turbulen, dan butiran yang jatuh pada permukaan lapisan cairan.

Proses kondensasi *film* dan butiran keduanya termasuk kondensasi pada permukaan benda padat yang dingin. Pada kondensor, demikian pula *heat exchanger*, aliran fluida kondensasi dipisahkan dari aliran fluida pendingin dengan dinding pipa. Namun pada beberapa aplikasi, dua aliran fluida tersebut mengalami kontak secara langsung (*direct contact*) seperti pada percikan cair dingin lanjut (*subcooled liquid sprays*). Contoh lainnya adalah kondensor siklus *Rankine* terbuka, seperti pada kondensor *direct-contact* pada konversi energy termal lautan. Kondensasi *direct-contact* sangat efisien karena selain tidak terjadi resistansi dinding, pada prakteknya dua aliran fluida dapat dicampur. Namun, aplikasi *direct-contact* sangat terbatas karena kondensat dan pendingin bercampur (Hedra Yudi: 2013).

## 2.5 Kondensor

Proses kondensasi untuk mengendalikan/ menyisihkan gas polutan dibedakan atas teknik kondensasi kontak langsung dan tidak langsung (*surface*). Dalam teknik kondensasi kontak langsung, gas polutan berkontak langsung dengan media pendingin, dan kondensat (polutan yang terkondensasi) akan bercampur dengan media pendingin. Sedangkan dalam teknik tidak langsung, gas polutan dan pendingin dipisahkan oleh suatu permukaan Kondensor, permukaan disebut pula *shell-and-tube heat exchanger* (Hermana: 2010).

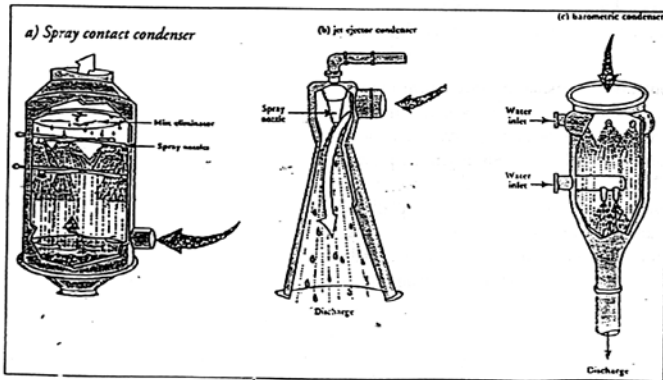
### **2.5.1. Kondensor kontak langsung**

Kondensor kontak langsung, lebih sederhana peralatannya, biaya instalasinya lebih murah dan hanya membutuhkan sedikit peralatan pembantu dan biaya perawatan. Lebih murah media pendingin yang umum digunakan adalah air, volume media pendingin yang digunakan lebih banyak jika dibandingkan dengan kondensor permukaan, yaitu 10 sampai 20 kali lebih banyak. Aliran air sebagai media pendingin meninggalkan kondensor bersama dengan polutan yang terkondensasi. Proses absorpsi dapat terjadi pada kondensor kontak langsung jika polutan dapat larut dalam air. Adanya proses absorpsi tersebut meningkatkan efisiensi penyisihan.

Spray tower condenser adalah jenis kondensor kontak langsung, dimana aliran zat polutan masuk dari bagian bawah, dan aliran air di buat spray dari bagian atas. Ejector dan barometric condenser dioperasikan dengan arah laju aliran air dan udara sama, perbedaannya terletak pada penggunaan spray air. Untuk ejector condenser air di-spraykan menggunakan alat venturi.

### **2.5.2. Kondensor permukaan**

Kondensor permukaan sering juga disebut shell-and-tube heat exchanger. Alat kondensor permukaan terdiri dari tabung selinder luar untuk mengalirkan gas polutan, sedangkan air sebagai media pendingin mengalir di dalam tabung-tabung kecil dalam selinder tersebut. Gas berkontak dengan tabungpendingin, kemudian terkondensasi, kemudian kondensat ditampung. Sedangkan gas yang tidak terkondensasi keluar.



**Gambar 2 5** Kondensor kontak langsung dan kondensor permukaan serta aliran udara dalam kondensor

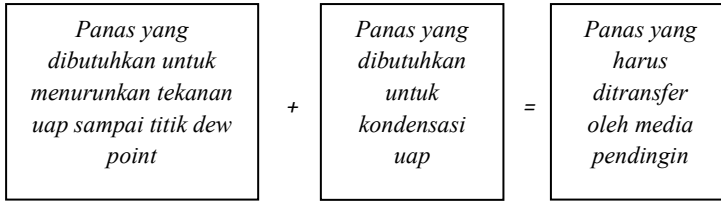
### 2.5.3. Desain Kondensor

Kondensor berfungsi menurunkan temperatur gas dengan cara dilewatkan pada media pendingin air atau udara. Transfer panas terjadi dari gas panas ke media pendingin, dengan demikian proses kondensasi dapat disebut proses transfer panas atau pertukaran panas. Pada prinsipnya desain kondensor sama dengan desain heat exchanger. Heat exchanger didesain berdasarkan teori transfer panas. Dalam desain kondensor terjadi transfer panas dan juga transfer massa, sebagaimana aliran gas panas melewati kondensor, yang menyebabkan terjadinya perubahan temperatur dan komposisi gas (Hermana: 2010).

Menurut Hermana (2010) analisis proses transfer panas di dalam kondensor digunakan hubungan neraca panas antara panas yang masuk dengan panas yang keluar.

$$Heat\ in = Heat\ out \quad [2-6]$$





**Gambar 2 6** Panas yang ditransfer oleh media pendingin

Sehingga neraca panas tersebut dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$q = \dot{m}_g \cdot C_{pg} \cdot (T_{g1} - T_{dew\ point}) + \dot{m}_g \cdot H_v = \dot{m}_l \cdot C_{PL} \cdot (T_{l1} - T_{l2})$$

[2-7]

dimana:

$q$  = laju transfer panas (Joule/s)

$\dot{m}_g$  = laju massa gas (kg/s)

$\dot{m}_l$  = laju massa liquid sebagai pendingin (ks/s)

$C_{PG}$  = panas spesifik gas (J/kg.K)

$C_{PL}$  = panas spesifik rata-rata untuk *liquid* pendingin (J/kg.K)

$T_{G1}$  = temperature gas awal (K)

$T_{Dew\ Point}$  = temperature pengembunan (K)

$T_{L1}$  = temperature liquid pendingin yang masuk (K)

$T_{L2}$  = temperature liquid pendingin yang keluar (K)

$H_V$  = panas kondensasi dari uap (J/kg)

Dari persamaan tersebut diatas, laju aliran massa gas dan temperatur gas masuk (TG1) dapat diketahui dari kondisi gas yang diemisikan. Temperatur liquid pendingin yang masuk kondensor (TL1) juga dapat diketahui. Panas spesifik dari gas dan liquid pendingin, panas kondensasi (Hv) dan temperatur titik embun (dew point) dapat diperoleh dari pustaka. Dengan demikian yang harus ditentukan adalah laju aliran masa liquid pendingin dan temperatur liquid yang keluar dari kondensor. Persamaan neraca panas tersebut di atas merupakan perkiraan kasar karena beberapa keterbatasan; yaitu panas spesifik tergantung pada temperatur, dan temperatur dalam kondensor tidak konstan. Temperatur titik embun dari suatu senyawa tergantung konsentrasi senyawa tersebut dalam fase gas. Laju aliran massa dalam kondensor berubah karena terjadi kondensasi, dan temperatur titik embun berubah.

Dalam kondensor permukaan atau heat exchanger, panas ditransfer dari gas menuju pendingin melalui permukaan heat exchanger. Laju tranfer panas tergantung kepada tiga faktor yaitu:

- Total luas permukaan kondensor,
- Hambatan untuk transfer panas, dan
- Perbedaan temperatur antara gas dengan pendingin

Koefisien perpindahan panas (U) diukur dari total hambatan transfer panas. Dalam shell-and-tube condenser, air dingin mengalir dalam tabung yang menyebabkan uap (gas) terkondensasi pada permukaan luar tabung. Panas ditransfer dari gas ke pendingin. Kondisi idealnya transfer panas tersebut terjadi tanpa kehilangan panas (heat resistance).

Untuk menyatakan koefisien perpindahan panas total, maka luas bidang tempat koefisien tersebut didasarkan harus

diketahui (Stoecker, 1982). Sehingga koefisien perpindahan panas total bisa dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$q = U_o A_o (T_o - T_i) \quad [2-8]$$

dan

$$q = U_i A_i (T_o - T_i) \quad [2-9]$$

dimana

$U_o$  = koefisien perpindahan kalor total berdasar pada luas permukaan luar ( $W/m^2.K$ )

$U_i$  = koefisien perpindahan kalor total berdasar pada luas permukaan luar dalam ( $W/m^2.K$ )

$A_o$  = luas permukaan luar pipa ( $m^2$ )

$A_i$  = luas permukaan dalam pipa ( $m^2$ )

$T_o$  = suhu refrigerant (K)

$T_i$  = suhu air (K)

## 2.6 Insulasi Termal

Insulasi termal adalah material yang berguna untuk mengurangi laju perpindahan panas, atau metode atau proses untuk mengurangi laju perpindahan panas. Panas bisa dipindahkan dengan cara konduksi, konveksi, dan radiasi atau ketika terjadi perubahan wujud. Mengenai insulasi termal, hanya dibicarakan perpindahan panas secara konduksi, konveksi, dan radiasi.

Aliran panas dapat dikendalikan dengan proses ini, tergantung pada sifat material yang dipergunakan. Aliran panas merupakan konsekuensi yang tak bisa dihindari dari

kontak antara objek suhu yang berbeda. isolasi termal menyediakna wilayah isolasi di mana konduksi termal berkurang atau radiasi termal tercermin daripada diserap oleh material yang bersuhu lebih rendah.

Kemampuan insulasi sebuah material diukur dari konduktivitas termal ( $k$ ). konduktivitas termal yang rendah setara dengan kemampuan isolasi tinggi ( $R$ -value). Dalam rekayasa termal, sifat penting lainnya dari bahan isolasi adalah densitas produk ( $\rho$ ) dan kapasitas panas spesifik ( $c$ ).

Konduktivitas termal  $k$  material yang rendah akan mengurangi fluks panas. Semakin kecil nilai  $k$ , maka semakin besar nilai tahanan panas  $R$  material. Konduktivitas termal diukur dalam Watt per meter per Kelvin ( $W/mK$ ). Selain itu pula ketebalan dari material insulasi juga memengaruhi nilai resistansi, di mana semakin tebal material maka semakin besar pula nilai resistansi.

### 2.6.1 Insulasi sistem pendingin

Untuk menghindari beban panas dan mengurangi efisiensi sistem pendingin, kondensasi air pada permukaan, dan masalah korosi potensial, pipa-pipa sistem pendingin harus selalu terisolasi.

Sebagai aturan praktis ketebalan isolasi air dingin, pendinginan dan air garam sistem harus tidak kurang dari yang ditunjukkan di bawah:

**Tabel 2. 1** Tabel Ketebalan Insulasi untuk Sistem Pendingin

Sistem	Operation Temperature		Ukuran Pipa (inchi)				
			< 1"	1 1/4" - 2"	2 1/2" - 4"	5"-6"	>8"
	F	C	Tebal Insulasi (inchi)				
Chilled	40 -	4 - 12	0.5	0.75	1.0	1.0	1.0

Sistem	Operation Temperature		Ukuran Pipa (inchi)				
			< 1"	1 1/4" - 2"	2 1/2" - 4"	5"-6"	>8"
	F	C	Tebal Insulasi (inchi)				
Water	55						
Refrigerant	< 40	< 4	1.0	1.5	1.5	1.5	1.5
Brine	< 40	< 4	1.0	1.5	1.5	1.5	1.5

Isolasi sistem pendingin harus terbuat dari busa polyethylene cross-linked mikro-seluler dengan difusi uap air yang rendah.

## 2.6.2 Material insulasi

Batas suhu dari beberapa bahan isolasi yang umum ditunjukkan dalam tabel di bawah ini:

**Tabel 2. 2** Batas suhu yang dimiliki material isolasi

Insulation Material	Temperature Range			
	Low		High	
	°C	°F	°C	°F
Calcium Silicate	-18	0	650	1200
Cellular Glass	-260	-450	480	900
Elastomeris foam	-55	-70	120	250
Fiberglass	-30	-20	540	1000
Mineral Wool, Ceramic fiber			1200	2200
Mineral Wool, Glass	0	32	250	480
Mineral Wool, Stone	0	32	760	1400
Phenolic foam			150	300
Polyisocyanurate or polyiso	-180	-290	150	300
Polystyrene	-50	-60	75	165
Polyurethane	-210	-350	120	250
Vermiculite	-272	-459	760	1400

a. *Calcium Silicate Insulation*

Papan isolasi Kalsium-Silikat non-abses memiliki berat yang ringan, konduktivitas termal rendah, dan ketahanan terhadap suhu tinggi dan bahan kimia

b. *Cellular Glass Insulation*

Isolasi kaca seluler terdiri dari kaca hancur dikombinasikan dengan agen cellulating.

Komponen-komponen ini dicampur, ditempatkan dalam cetakan, dan kemudian dipanaskan sampai suhu sekitar 950 oF. Selama proses pemanasan, kaca hancur berubah menjadi cairan. Dekomposisi agen cellulating akan menyebabkan campuran untuk memperluas dan mengisi cetakan. Campuran menciptakan jutaan terhubung, seragam,-sel ditutup dan bentuk pada akhir bahan isolasi kaku.

c. *Cellulose Insulation*

Selulosa terbuat dari robekan kertas daur ulang, seperti kertas atau karton. Ini diperlakukan dengan bahan kimia untuk membuat api dan serangga-tahan, dan diterapkan sebagai longgar-fill atau basah-disemprot melalui mesin.

d. *Fiberglass Insulation*

Fiberglass adalah jenis yang paling umum dari isolasi. Ini terbuat dari kaca cair dipintal menjadi microfiber.

e. *Mineral Wool Insulation*

Wol Mineral terbuat dari kaca cair, batu, keramik serat atau slag yang dipintal menjadi struktur seperti serat. Batu anorganik atau slag adalah komponen utama (biasanya 98%)

dari wol batu. 2% kandungan organik yang tersisa umumnya pengikat resin termoset (perekat) dan sedikit minyak.



**Gambar 2 7** *Mineral Wool Insulation*

f. *Polyurethane Insulation*

Polyurethane merupakan polimer organik yang dibentuk dengan mereaksikan polioliol (alkohol dengan lebih dari dua gugus hidroksil reaktif per molekul) dengan diisosianat atau isosianat polimer dengan adanya katalis dan aditif yang cocok.

Poliuretan adalah busa fleksibel digunakan dalam kasur, pelapis kimia-tahan, perekat dan sealant, isolasi untuk bangunan dan aplikasi teknis seperti penukar panas, pipa pendingin dan banyak lagi.

g. *Polystyrene Insulation*

Polystyrene merupakan insulator yang sangat baik. Hal ini dibuat dalam dua cara:

- Ekstrusi - yang menghasilkan halus, tertutup sel, yang mengandung campuran gas udara dan refrigerant
- Molded atau diperluas - yang menghasilkan kasar, sel yang mengandung udara ditutup

Polystyrene diekstrusi, atau XPS, adalah sel tertutup, bahan plastik termal yang diproduksi oleh berbagai proses ekstrusi.

Aplikasi utama polistiren insulasi diekstrusi dalam membangun isolasi dan konstruksi pada umumnya.

Molded atau diperluas polystyrene yang biasa disebut beadboard dan memiliki nilai R lebih rendah dari polystyrene diekstrusi.

#### h. *Polyisocyanurate Insulation*

Polyisocyanurate atau polyiso adalah jenis thermosetting plastik, busa sel tertutup yang berisi gas rendah konduktivitas (biasanya hidroklorofluorokarbon atau HCFC) dalam sel nya.

## **2.7 Air Layak Minum**

Air bersih adalah salah satu jenis sumberdaya berbasis air yang bermutu baik dan biasa dimanfaatkan oleh manusia untuk dikonsumsi atau dalam melakukan aktivitas mereka sehari-hari termasuk diantaranya adalah sanitasi. Untuk konsumsi air minum menurut departemen kesehatan, syarat-syarat air minum adalah tidak berasa, tidak berbau, tidak berwarna, dan tidak mengandung logam berat. Walaupun air dari sumber alam dapat diminum oleh manusia, terdapat risiko bahwa air ini telah tercemar oleh bakteri (misalnya *Escherichia coli*) atau zat-zat berbahaya.

Air adalah unsur yang tidak dapat dipisahkan dari kehidupan manusia. Bahkan dapat dipastikan tanpa pengembangan sumber daya air secara konsisten peradaban manusia tidak akan mencapai tingkat yang dinikmati sampai saat ini. Oleh karena itu pengembangan dan pengolahan sumber daya air merupakan dasar peradaban manusia.

Dari Pengertian dan Definisi Air maka dapat di ambil kesimpulan bahwa salah satu faktor penting penggunaan air dalam kehidupan sehari-hari adalah untuk kebutuhan air



minum. Air bersih merupakan air yang harus bebas dari mikroorganisme penyebab penyakit dan bahan-bahan kimia yang dapat merugikan kesehatan manusia maupun makhluk hidup lainnya. Air merupakan zat kehidupan, di mana tidak ada satu pun makhluk hidup di bumi ini yang tidak membutuhkan air.

### **2.7.1 Persyaratan Kualitas Air Minum**

Berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1405/menkes/sk/xi/2002 tentang Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Perkantoran dan industri terdapat pengertian mengenai Air Bersih yaitu air yang dipergunakan untuk keperluan sehari-hari dan kualitasnya memenuhi persyaratan kesehatan air bersih sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku dan dapat diminum apabila dimasak. Parameter kualitas air bersih yang ditetapkan dalam PERMENKES 416/1990 terdiri atas persyaratan fisik, persyaratan kimiawi, persyaratan mikrobiologis.

Berikut ini adalah penjelasan tentang air layak konsumsi, yang juga dijelaskan sebagai berikut:

#### **1. Persyaratan Fisik**

Persyaratan fisik yang harus dipenuhi pada air minum yaitu harus jernih, tidak berbau, tidak berasa dan tidak berwarna. Sementara suhunya sebaiknya sejuk dan tidak panas. Selain itu, air minum tidak menimbulkan endapan. Jika air yang kita konsumsi menyimpang dari hal ini, maka sangat mungkin air telah tercemar.

- **Kekeruhan**

Air yang mengandung material kasat mata dalam larutan dapat menyebabkan air tersebut keruh.

Kekeruhan dalam air dapat berasal dari liat, dan bahan organik. Baku Mutu (ambang batas) maksimal kekeruhan air yang memenuhi persyaratan layak minum menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor : 492/MENKES/PER/IV/2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum adalah 5 NTU.

- Warna

Warna pada air disebabkan adanya bahan kimia atau mikroorganisme (plankton maupun koloni bakteri) yang terlarut dalam air. Warna yang disebabkan oleh bahan kimia disebut sebagai apparent color dan berbahaya bagi tubuh manusia, sedangkan warna yang disebabkan oleh mikroorganisme disebut true color yang juga berbahaya bagi kesehatan manusia. Air yang layak dikonsumsi harus jernih dan tidak berwarna sesuai dengan parameter amatan dalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor : 492/MENKES/PER/IV/2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum, menyatakan bahwa kadar maksimum yang diperbolehkan untuk parameter warna dalam air minum adalah 15 pada satuan skala TCU (True Color Unit).

- Bau dan rasa

Air murni tidak berbau jika dicium dan tidak memiliki rasa. Bau dan rasa yang timbul dalam air, dapat disebabkan oleh adanya kehadiran organisme, bahan mineral, gas terlarut dan bahan-bahan organik lainnya.

- Temperatur

Menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor : 492/MENKES/PER/IV/2010

tentang Persyaratan Kualitas Air Minum, air yang baik mempunyai deviasi suhu  $\pm 3^{\circ}\text{C}$  dari suhu udara. Suhu yang melebihi batas normal menunjukkan indikasi terdapat bahan kimia yang terlarut dalam jumlah yang cukup besar (misalnya fenol atau belerang) atau sedang terjadi proses dekomposisi bahan organik oleh mikroorganisme.

## 2. Persyaratan Kimia

Dari aspek kimiawi, bahan air minum tidak boleh mengandung partikel terlarut dalam jumlah tinggi serta logam berat (misalnya Hg, Ni, Pb, Zn, dan Ag) ataupun zat beracun seperti senyawa hidrokarbon dan detergen. Ion logam berat dapat mendenaturasi protein, disamping itu logam berat dapat bereaksi dengan gugus fungsi lainnya dalam biomolekul. Karena sebagian akan tertimbun di berbagai organ terutama saluran cerna, hati dan ginjal, maka organ-organ inilah yang terutama dirusak. Selain itu juga ada beberapa ketentuan sebagai berikut.

- Derajat Keasaman (pH)

pH (potensial hydro) merupakan derajat keasaman suatu larutan. Air yang baik adalah air yang bersifat netral yaitu memiliki  $\text{pH} = 7$ . Air dengan pH kurang dari 7 dikatakan air bersifat asam, sedangkan air dengan pH di atas 7 bersifat basa. Menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor : 492/MENKES/PER/IV/2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum, kadar maksimum pH air yang layak minum adalah dengan kisaran 6,5-8,5.

- Alkalinitas

Kebanyakan air yang bersifat alkalis disebabkan oleh karena kandungan garam-garam alkalis yang ada di dalam tanah. Keasaman air dapat disebabkan oleh adanya karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) maupun gas-gas lain hasil dekomposisi bahan organik dalam air.

- Tingkat kesadahan

Adanya ion kalsium Ca<sup>++</sup> dan magnesium Mg<sup>++</sup> di dalam air, akan menyebabkan tingginya sifat kesadahan. Air yang mempunyai tingkat kesadahan terlalu tinggi dapat merugikan kehidupan manusia, misalnya menyebabkan sabun kurang membusa sehingga meningkatkan konsumsi sabun, dapat menimbulkan endapan atau kerak-kerak di dalam wadah-wadah memasak, dan juga dapat menimbulkan karatan pada alat-alat yang terbuat dari besi (Hardjojo dan Moersidik, 1999).

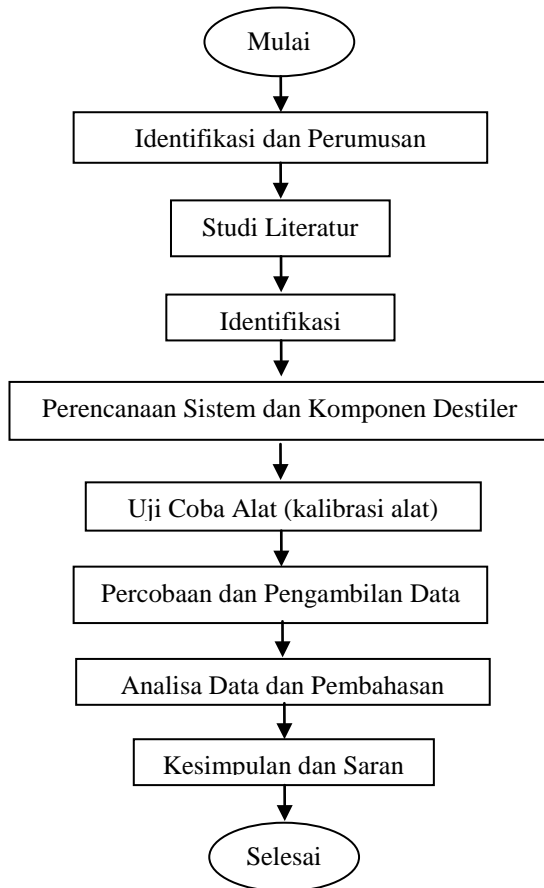
### 3. Persyaratan Mikrobiologi

Bakteri patogen yang tercantum dalam Kepmenkes yaitu *Escherichia Colli*, *Clostridium Perfringens*, *Salmonella*. Bakteri patogen tersebut dapat membentuk toksin (racun) setelah periode laten yang singkat yaitu beberapa jam. Keberadaan bakteri Coliform (*E.Coli* tergolong jenis bakteri ini) yang banyak ditemui di kotoran manusia dan hewan menunjukkan kualitas sanitasi yang rendah dalam proses pengadaan air. Makin tinggi tingkat kontaminasi bakteri coliform, makin tinggi pula risiko kehadiran bakteri patogen, seperti bakteri *Shigella* (penyebab muntaber), *S. Typhii* (penyebab Typhus), Kolera, dan Disentri.

## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Diagram alur

Pengerjaan skripsi ini digunakan metode eksperimental yang sesuai dengan diagram alur di bawah ini:



**Diagram 3.1** Alur pengerjaan skripsi

### **3.2 Metodologi**

Metode yang digunakan dalam pengerjaan skripsi ini adalah metodologi eksperimental. Metode merupakan pengujian hipotesa dengan memanipulasi dan mengontrol variable untuk menentukan hubungan sebab – akibat antara variable bebas dan variable terikat.

### **3.3 Identifikasi Masalah**

Bentuk kegiatan yang akan dilakukan adalah mengidentifikasi dan merumuskan masalah yang akan dibahas pada penelitian dengan mengacu pada isu terkini mengenai permasalahan tersebut. Dimana permasalahan tentang kebutuhan air bersih dan layak konsumsi sering kali di temui di daerah pesisir, yang air tanahnya merupakan air payau.

### **3.4 Studi Literatur**

Studi literatur dilakukan untuk mempelajari teori-teori yang dapat menunjang penyelesaian permasalahan yang ada. Studi literatur didapatkan dari beberapa sumber seperti buku, jurnal, tugas akhir, dan juga internet. Dimana literatur tersebut mengacu pada dasar-dasar perpindahan panas, perubahan fase dan karakteristik air, serta komponen-komponen sistem yang mendukung adanya perubahan fase tersebut. Selain itu diperlukan juga literatur mengenai karakteristik mengenai air yang mengandung garam, sebagai dasar untuk menentukan kemurnian dari air hasil desalinasi.

### **3.5 Identifikasi Objek**

Pada penelitian ini objek yang diteliti adalah air payau. Di mana dilakukan pengambilan beberapa sample air payau

dan air laut, untuk selanjutnya dilakukan pengujian sample untuk mengetahui kandungan-kandungan air. Hasil dari pengujian tersebut akan menunjukkan bagaimana karakteristik air payau, yang kemudian akan dibandingkan dengan karakteristik air tawar.

### **3.6 Perencanaan Sistem Desalinasi dan, Desain dan Pembuatan Alat**

Tahapan ini berfungsi mendesain sistem dan peralatan desalinasi air asin/ payau untuk diubah menjadi air tawar. Dimana dilakukan juga perhitungan-perhitungan kapasitas pada tiap komponen sistem desalinasi ini. Komponen-komponen dari sistem tersebut antara lain:

#### **3.6.1 Tangki air payau**

Tangki ini merupakan tangki penyimpanan air payau yang selanjutnya akan disuplai ke dalam *solar heat collector*.

#### **3.6.2 *Solar Water Evaporator***

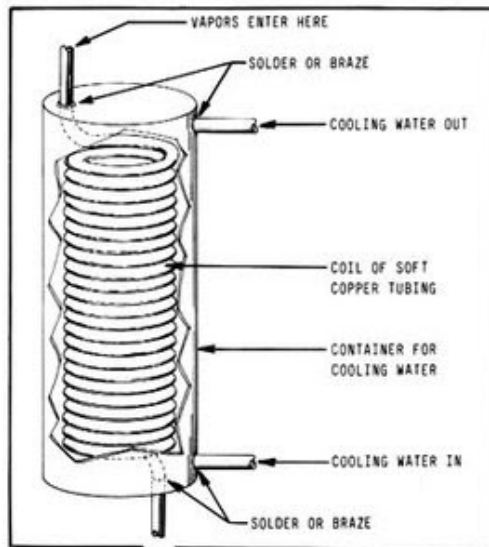
Pada penelitian ini, digunakan panel kolektor panas matahari yang berfungsi sebagai evaporator, berupa box dengan penutup kaca di atasnya, di mana kaca pada box tersebut dicat hitam agar mampu menyerap panas dari matahari. Lalu di dalamnya terdapat pipa-pipa tempat air dievaporasikan dan pipa kapiler sebagai penurun tekanan. Dalam hal ini tekanan diturunkan supaya mendapatkan titik didih air payau yang lebih rendah.

#### **3.6.3 Kondensor**

Kondensor yang digunakan dalam penelitian ini merupakan kondensor dengan pendingin air. Dimana berupa

tabung yang berisi air untuk mendinginkan, yang di dalam tabung tersebut dialirkan uap dari air payau melalui pipa tembaga yang dibentuk sedemikian rupa, yang masuk ke dalam tabung tersebut.

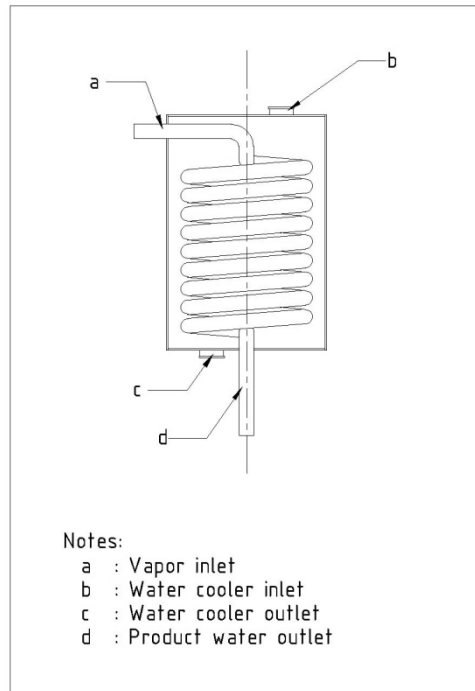
Alat ini berfungsi untuk mendinginkan uap panas dari kolom desalinasi sehingga berubah bentuk menjadi cair kembali. Dua pipa disamping kanan adalah jalan masuk dan keluar air. Sementara dua pipa diatas dan bawah adalah tempat keluar dan masuk uap dari kolom desalinasi. Air harus selalu mengalir dengan debit tertentu tergantung kebutuhan. Di Indonesia para pembuat alcohol tradisional biasanya mendinginkan uapnya dengan melewati pipa uap ke dalam kolam pendingin, drum/tong, atau bahkan sungai. Dengan begitu tidak perlu mengatur aliran air seperti dalam gambar diatas. (anzyah, 2011)



**Gambar 3.1** Kondensor Sederhana



Berikut rancangan kondensator yang akan dibuat untuk sistem kondensasi pada alat desalinasi tenaga matahari ini:



**Gambar 3. 2** *Desain Kondensator yang direncanakan*

### 3.6.4 Tangki air produk desalinasi

Tangki ini digunakan untuk menampung air hasil desalinasi yang keluar dari *discharge* kondensator.

### 3.6.5 Prinsip Kerja

Prinsip kerjanya adalah panas dari matahari diterima oleh kolektor panas yang di dalamnya terdapat pipa-pipa

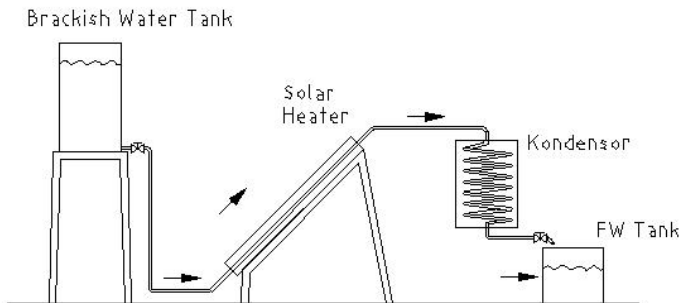
berisi air. Panas yang diterima kolektor akan diserap oleh air yang berada di dalam pipa sehingga temperatur air meningkat. Namun, dalam hal ini *solar collector* hanya sebatas menghangatkan saja dan butuh waktu yang lama untuk mendidihkannya. Karena pada sistem ini memanfaatkan *solar collector* sebagai evaporator dan membutuhkan waktu penguapan yang lebih cepat, maka diperlukan proses penurunan tekanan supaya titik didih air payau menjadi lebih rendah dan air payau mendidih lebih cepat.

Berikut ini adalah cara kerja sistem desalinasi:

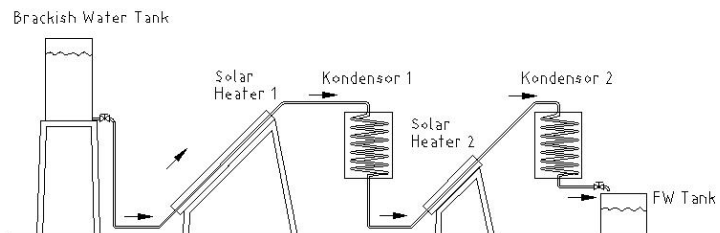
1. Air payau keluar dari tangki, dan turun menuju sistem evaporator (*solar heat collector*) dengan gaya gravitasi. Dimana sebelum air payau masuk ke dalam evaporator, melalui alat ekspansi (pipa kapiler), untuk menurunkan tekanan air, sebagai proses awal pemanasan (*preheater*).
2. Setelah air payau masuk ke pipa-pipa di dalam *Solar Heat Collector*, terjadi pemanasan pada air, karena panas dari matahari. Energi panas matahari merambat secara radiasi menuju sistem *Solar Heat Collector*, dan panas yang mengalir melalui kaca panel *Solar Heat Collector* dirambatkan lagi menuju air, dirambatkan secara konveksi. Air di dalam *Solar Heat Collector* akan menguap karena panas dari matahari dan tekanan yang telah diturunkan.
3. Uap air akan mengalir secara natural menuju sistem kondensasi, yang akan mengembunkan uap air untuk mendapatkan air yang lebih murni. Dimana uap air tersebut mengalir karena perbedaan tekanan antara *Solar Heat Collector* dan kondensor, dan juga karena masa jenisnya yang lebih ringan. Dengan mengkondisikan bahwa sistem kondensasi ini merupakan sistem tertutup (tidak terhubung/ terpengaruh dengan tekanan udara luar) yang tersambung dengan sistem *Solar Heat Collector*.

4. Pada kondensor uap air akan diembunkan, dimana pipa saluran uap air akan masuk ke dalam tabung kondensor yang berisi air. Air tersebut akan mendinginkan dan mengembunkan uap tersebut. Air hasil kondensasi kemudian akan ditampung di tangki penampung yang telah didesain sedemikian rupa, agar tekanan pada sistem tetap, yang dilengkapi skala ukur untuk mengetahui volume air yang dihasilkan.

Berikut ini adalah gambar rangkaian sistem yang akan digunakan:

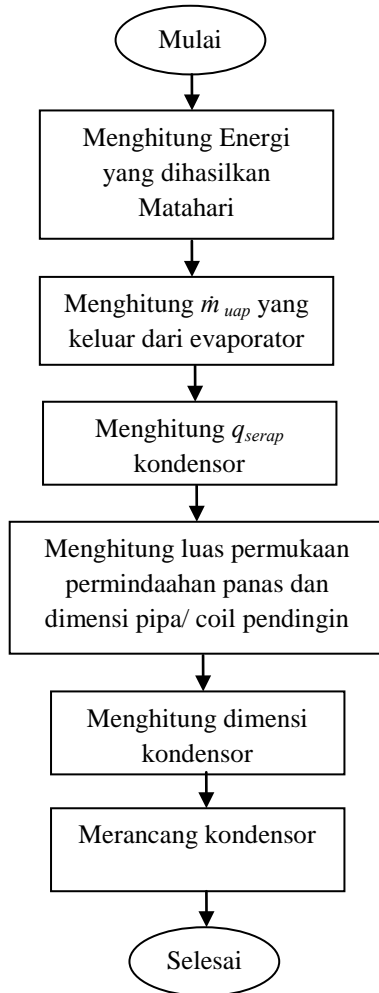


**Gambar 3. 3** Skema sistem desalinasi satu tingkat



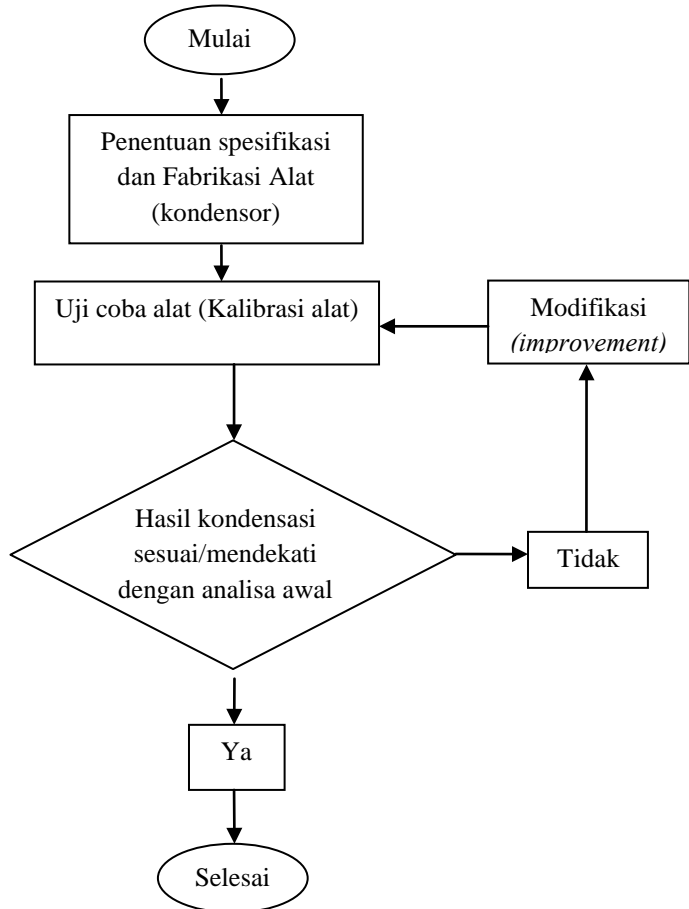
**Gambar 3. 4** Skema sistem desalinasi dua tingkat

Ada pun di bawah ini adalah alur pengerjaan perencanaan desain kondensor:



**Diagram 3.2** Alur pengerjaan perancangan kondensor

Ada pun alur pengerjaan proses pembuatan alat dijelaskan pada diagram alur berikut:



**Diagram 3.3** Alur pembuatan alat

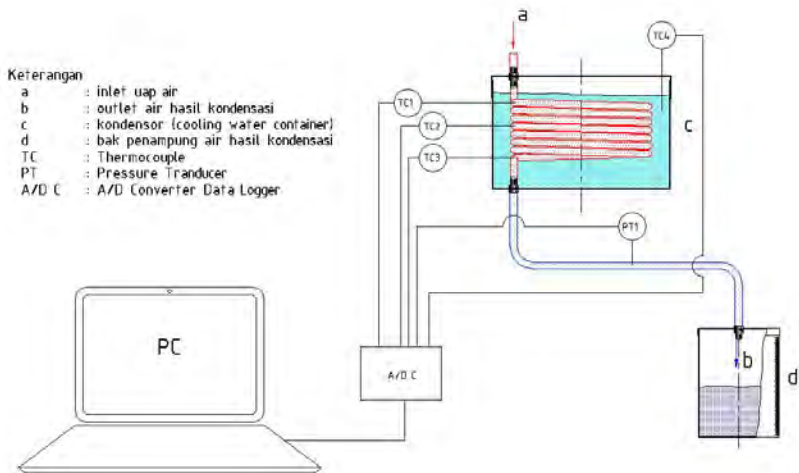
### **3.6.6 Uji Coba Alat (kalibrasi)**

Pada proses ini, dilakukan uji coba dan analisa awal, untuk mengetahui, apakah alat yang dirancang bisa bekerja dengan baik sesuai atau mendekati perencanaan. Pada uji coba ini dilakukan beberapa kali untuk mendapatkan hasil yang baik. Analisa awal juga dilakukan untuk mengetahui apakah alat yang dibuat bekerja dengan memuaskan, dan atau – apakah alat tersebut memerlukan perbaikan atau modifikasi agar sistem berjalan sesuai dengan analisa awal.

## **3.7 Percobaan**

### **3.7.1 Metode percobaan**

Pelaksanaan percobaan di laboratorium mesin fluida dan sistem. Dimana pada percobaan dilakukan lama penyinaran selama 8 jam (09.00 s.d. 17.00 WIB) dan percobaan dianggap efektif bila dilakukan penyinaran minimum selama 6 jam, dengan pelaksanaan percobaan dilakukan selama kurang lebih 14 hari, dengan setiap 30 menit dilakukan pengamatan. Dimana spesifikasi apparatus/ alat percobaan dilengkapi dengan sensor suhu atau *thermocouple* yang digunakan untuk mengukur distribusi suhu pada pipa kondenser dan suhu air pendingin (*coolant*), serta digunakan bejana ukur untuk mengetahui jumlah uap yang telah terkondensasi (gambar).



**Gambar 3. 5** Skema metode pengambilan data percobaan

Variabel-variabel yang digunakan pada percobaan ini, antara lain:

- a. Variable bebas (manipulasi), yaitu variable yang akan dimanipulasi, dalam percobaan ini adalah sistem yang digunakan dalam alat desalinasi, yaitu sistem dengan satu kali kondensasi dan sistem bertingkat, yaitu dengan dua kali kondensasi.
- b. Variable terikat pada percobaan ini merupakan hasil yang disebabkan oleh variable manipulasi, yaitu jumlah air dan kemurnian air yang dihasilkan oleh sistem desalinasi.
- c. Variable kontrol pada percobaan ini adalah kontrol suhu, yakni bagaimana cara mengatur suhu pada kondensor agar tetap stabil.

### 3.7.2 Prosedur percobaan

Langkah-langkah yang dilakukan dalam percobaan ini adalah:

1. Mempersiapkan peralatan percobaan desalinasi tenaga matahari.

Pada tahap ini dilakukan persiapan-persiapan antara lain; [1] menyiapkan peralatan sistem desalinasi tenaga matahari; [2] menyiapkan alat ukur untuk pengamatan parameter-parameter percobaan, dan [3] menyiapkan bahan atau objek yang akan diuji. Berikut adalah beberapa peralatan/ komponen-komponen yang akan digunakan:

- Bak air payau
- Panel *solar water evaporator*
- Selang
- Kondensor
- *Thermocouple*
- *Pressure transducer*
- Bejana ukur
- *A/D converter data logger*

2. Merangkai sistem alat desalinasi tenaga matahari.

Tahapan ini ditunjukkan seperti pada Gambar 3.3, Gambar 3.4., dan Gambar 3.5

3. Menngoperasikan sistem alat desalinasi tenaga matahari.

Setelah sistem dirangkai, katup pada bak air payau dibuka, dan dibiarkan mengalir karena gravitasi menuju pipa di dalam panel *solar water evaporator* sampai pipa-



pipa tersebut terisi setengah penuh. Setelah dalam kondisi setengah penuh, katup ditutup kembali, dan sistem evaporasi dibiarkan bekerja. Pada percobaan yang dilakukan selama 6 jam ini, dilakukan pengontrolan terhadap suhu air pendingin dengan melakukan pemeriksaan setiap 30 menitnya dan penggantian air pendingin sebagai salah satu upaya agar suhu pendinginan stabil.

4. Mengamati dan mengambil data percobaan desalinasi tenaga matahari.

Percobaan dilakukan selama 6 jam, dimana pada setiap 30 menit dilakukan pengamatan suhu pada titik-titik yang telah ditentukan, dan mengukur jumlah air desalinasi yang dihasilkan.

### **3.8 Pengumpulan Data**

Adapun data-data yang diambil sebagai parameter pada kinerja sistem adalah sebagai berikut:

1. Temperatur uap yang dihasilkan *Solar evaporator*

Data ini didapat dari data temperatur kaca panel, udara di dalam panel, dan *tube* tembaga di dalam panel – yang diformulasikan karena radiasi matahari.

2. Temperatur air pendingin pada kondensor

Data ini digunakan untuk mengontrol suhu refrigerant (air pendingin). Dimana apabila terjadi perubahan suhu yang cukup besar (suhu air pendingin mulai meningkat), maka air pendingin harus diganti.

### 3. Volume Air

Pada percobaan akan didapatkan dua data Volume, yakni: (1) Volume Input, yaitu volume air payau yang masuk ke dalam heater, dan (2) Volume output, yaitu volume air hasil produk desalinasi yang tertampung di tangki II (FW Tank). Dan dari data ini akan didapatkan nilai Laju Desalinasi.

### 4. Data uji kemurnian air produk desalinasi

Data ini didapat dari pengujian air hasil produk desalinasi untuk menguji kemurnian air produk dan kelayakannya untuk dikonsumsi. Data-data tersebut antara lain:

#### a) Salinitas Air

Salinitas adalah kadar garam atau tingkat keasinan yang terkandung pada air, salinitas juga terdapat pada tanah. Salinitas yang terkandung pada air danau dan sungai terhitung rendah maka air pada danau dan sungai dikategorikan sebagai air tawar. Kandungan garam pada air sungai dan danau kurang dari 0,05%. Jika melebihi itu atau sekitar 0,05 % sampai 3% maka air tersebut dikategorikan sebagai air payau. Untuk mengukur salinitas air tersebut biasanya digunakan peralatan seperti Refraktometer atau Salinometer.

#### b) pH

Salah satu syarat air yang layak konsumsi adalah air tersebut tidak berasa atau netral. Sehingga selain merasakannya secara langsung, air produk juga bisa dilakukan uji keasaman (pH), yakni dengan menggunakan kertas lakmus atau pH meter.

Selain data-data tersebut, dibutuhkan juga data-data kandungan air produk yang akan diuji di Laboratorium Kimia, dimana akan dilihat dari parameter kandungan Mg, NaCl, Mn, dan SO<sub>4</sub>.

### **3.9 Analisa Data Percobaan**

Setelah melakukan percobaan dilakukan analisa hasil percobaan untuk mengetahui performansi dari sistem desalinasi terhadap variasi debit air dan variasi jenis kondensor.

Adapun beberapa grafik yang akan dianalisa antara lain:

- a. Grafik perbandingan debit input dan output terhadap suhu air pendingin.
- b. Grafik pengaruh variasi suhu air pendingin kondensor terhadap waktu proses desalinasi (laju desalinasi).
- c. Grafik pengaruh variasi sistem (satu kali evaporasi dengan satu kali kondensasi, dan – dua kali evaporasi dan dua kali kondensasi) terhadap faktor-faktor penentu kemurnian air hasil produksi.
- d. Grafik pengaruh suhu pendingin terhadap performa sistem desalinasi.

### **3.10 Penarikan Kesimpulan**

Setelah semua tahapan telah dilakukan maka selanjutnya adalah menarik kesimpulan analisa data percobaan yang telah dilakukan. Dan diharapkan nantinya hasil kesimpulan dapat membuktikan hipotesa awal dan menjawab permasalahan yang menjadi tujuan tugas akhir ini yaitu mengetahui efisiensi dari alat yang dirancang, yang dimana parameter efisiensi dari peralatan ini adalah laju desalinasi, nilai daya hantar listrik, serta kemurnian air produk untuk dikonsumsi. Selain itu diperlukan saran berdasarkan hasil penelitian untuk perbaikan tugas akhir supaya lebih sempurna.

## BAB IV

### DATA AWAL

#### 4.1 Data Identifikasi Kandungan Air Payau

Sample air payau di ambil dari daerah pesisir Sidoarjo sebanyak 500 ml. Dari sample tersebut diuji laboratorium untuk menganalisa beberapa kandungan air payau, antara lain: NaCl, Ca, Mg, SO<sub>4</sub>, Konduktivitas dan keasaman (pH). Berikut data hasil pengujian sampel yang dilakukan di Laboratorium Air dan Industri:

**Tabel 4. 1** Data Uji Laboratorium Sampel Air Payau

<b>Parameter</b>	<b>Hasil analisa</b>	<b>Metode analisa</b>
NaCl	235,31 mg/l	Flamephotometri
Ca	12,40 mg/l	Titrimetri
Mg	4,56 mg/l	Titrimetri
SO <sub>4</sub>	24,93 mg/l	Spektrophotometri
Konduktivitas	1500 µmhos/cm	Konduktimetri
pH	7,56	pHmetri

#### 4.2 Data Perhitungan Desain

##### 4.2.1. Perhitungan *Solar Water Evaporator*

Pada perencanaan *Solar Water Evaporator* ini, dilakukan tahapan-tahapan perhitungan. Namun yang dibahas di dalam bab ini hanya sebatas mengetahui kalor yang dibutuhkan untuk menguapkan air, yang selanjutnya nilai kalor tersebut

digunakan untuk merencanakan kondensor. Dalam perhitungan ini, telah diketahui beberapa data, antara lain:

- Massa jenis kaca,  $\rho_{kaca} = 2579 \text{ kg/m}^3$
- Kalor jenis kaca,  $C_{kaca} = 670 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$
- Panjang kaca,  $l_{kaca} = 0,75 \text{ meter}$
- Lebar kaca,  $w_{kaca} = 0,55 \text{ meter}$
- Luas permukaan kaca,  $A_{kaca} = 0,4125 \text{ meter}$
- Tebal kaca,  $t_{kaca} = 0,005 \text{ meter}$
- Massa kaca,  $m_{kaca} = 5,319 \text{ kg}$
- Koefisien transmisi kaca,  $\tau = 1$
- Adsorbsivitas kaca,  $\alpha = 0,96$
- Suhu lingkungan,  $T_{lingkungan} = 35^\circ\text{C}$
- Tanggal pratikum, 20 April 2014
- Jumlah hari,  $n = 121 \text{ hari}$

Yang kemudian data-data tersebut, akan diproses dalam perhitungan berikut:

- a. Intensitas matahari

$$IT = G_R \left[ 1 + 0,333 \cos \left( \frac{360n}{365,25} \right) \right]$$

Dengan:

$$\text{Konstanta surya, } G_R = 1353 \text{ Watt/m}^2$$

Maka:

$$IT = 1353 \left[ 1 + 0,333 \cos \left( \frac{360 \times 121}{365,25} \right) \right]$$

$$IT = 1800,3229 \text{ Watt}$$

- b. Konveksi karena angin

$$h_{wind} = 5,7 \times 3,8v$$

Dengan:

$$\text{Kecepatan angin, } v = 8,33 \text{ m/s}$$

Maka:

$$h_{wind} = 5,7 + (3,8 \times 8,33)$$

$$h_{wind} = 27,79$$

- c. Keseimbangan energi yang masuk ke panel

$$Q_{nett} = Q_{in} - Q_{loss}$$

$$Q_{nett} = (\alpha \times IT \times A_{kaca} \times \tau) - (h_{wind} \times A_{kaca} \times \Delta T_1)$$

- d. Temperatur permukaan kaca berdasarkan percobaan sebelumnya

$$\text{Suhu permukaan kaca, } T_{o.kaca} = 40^\circ\text{C}$$

$$\text{Sehingga, } \Delta T_1 = 5^\circ\text{C}$$

e. Daya yang masuk ke panel

$$Q_{nett} = (\alpha \times IT \times A_{kaca} \times \tau) - (h_{wind} \times A_{kaca} \times \Delta T_1)$$

$$Q_{nett} = (0,96 \times 1800,3229 \times 0,4125 \times 1) - (27,79 \times 0,4125 \times 5)$$

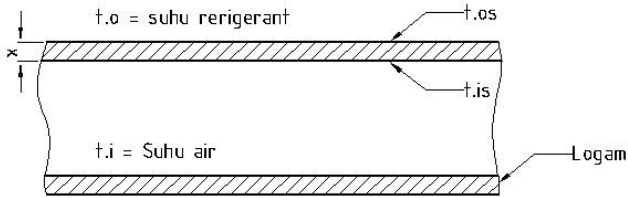
$$Q_{nett} = 712,928 - 57,316$$

$$Q_{nett} = 655,611 \text{ Watt}$$

#### 4.2.2. Perhitungan Desain Kondensor

a. Menghitung kebutuhan panjang pipa tembaga

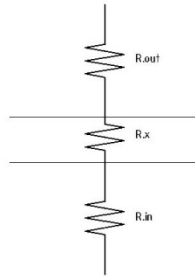
Panjang pipa ini merupakan fungsi dari luas permukaan yang mengalami perpindahan kalor.



**Gambar 4. 1** *Perpindahan kalor antara refrigeran dan air melalui sebuah pipa*

Apabila kalor mengalir menembus pipa, seperti terlihat dalam Gambar, yaitu antara refrigeran di sisi luar dan air di sisi dalam, maka kondisi mantap (steady state) laju perpindahan kalor  $q$  (dalam Watt) dari refrigerasi ke permukaan pipa, dari permukaan-luar pipa ke permukaan-dalam pipa, dan dari permukaan dalam pipa ke air, sama besarnya (Stoecker: 1982).





**Gambar 4. 2** Heat Resistance

Sehingga diasumsikan bahwa nilai  $q$  untuk mengembunkan ( $Q_{kondensasi}$ ), sama dengan nilai  $q$  untuk menguapkan ( $Q_{net}$ ). Dan untuk menentukan panjang pipa digunakan persamaan (12-7) dan (12-8),

$$T_o - T_i = \frac{q}{U_o A_o} = \frac{q}{U_i A_i} \quad (12-7)$$

$$\Delta T = q \left( \frac{1}{U_o A_o} \right) \quad (1)$$

$$\frac{1}{U_o A_o} = \frac{1}{U_i A_i} = \frac{1}{h_o A_o} + \frac{x}{k A_m} + \frac{1}{h_i A_i}$$

$$\frac{1}{U_o A_o} = \frac{1}{h_o \pi d_o l} + \frac{x}{k \pi l \frac{(d_o + d_i)}{2}} + \frac{1}{h_i \pi d_i l}$$

$$\frac{1}{U_o A_o} = \frac{1}{\pi l} \left( \frac{1}{h_o d_o} + \frac{2x}{k(d_o + d_i)} + \frac{1}{h_i d_i} \right) \quad (2)$$

Substitusi persamaan (2) ke (1)

$$\Delta T = \frac{q}{\pi l} \left( \frac{1}{h_o d_o} + \frac{2x}{k(d_o + d_i)} + \frac{1}{h_i d_i} \right)$$

Sehingga didapatkan panjang pipa:

$$l = \frac{q}{\pi \Delta T} \left( \frac{1}{h_o d_o} + \frac{2x}{k(d_o + d_i)} + \frac{1}{h_i d_i} \right)$$

Dimana telah diketahui data-data berikut:

$q_{net}$  = kalor untuk menguapkan air = 655,611 *Watt*

$T_i$  = Suhu uap air = 343,15 *K*

$h_i$  = koefisien perpindahan panas untuk uap air (*condensing water vapour*) = 100.000 *W/m<sup>2</sup>K*

$T_o$  = Suhu air pendingin = 303,15 *K*

$h_o$  = koefisien perpindahan panas air = 100 *W/m<sup>2</sup>K*

$k$  = konduktivitas termal tembaga = 400 *W/mK*

$x$  = tebal pipa tembaga = 1,2 *mm* = 0,0012 *m*

$d_o$  = diameter luar pipa = 1/4 inci = 0,0064 *m*

$d_i$  = diameter dalam pipa = 0,00395 *m*

maka:

$$l = \frac{q}{\pi \Delta t} \left( \frac{1}{h_o d_o} + \frac{2x}{k(d_o + d_i)} + \frac{1}{h_i d_i} \right)$$

$$l = \frac{655,611}{3,14 \times 40} \left( \frac{1}{100 \times 0,0064} + \frac{2 \times 0,0012}{400(0,0064 + 0,00395)} + \frac{1}{100.000 \times 0,00395} \right)$$

$$l = \frac{655,611}{125,6} \left( \frac{1}{0,64} + \frac{0,0024}{4,12} + \frac{1}{395} \right)$$

$$l = \frac{655,611}{125,6} \left( \frac{4,12+0,0015}{2,6162} + \frac{1}{395} \right)$$

$$l = \frac{655,611}{125,6} \left( \frac{4,1215}{2,6162} + \frac{1}{395} \right)$$

$$l = \frac{655,611}{125,6} \left( \frac{1.628,00+2,6162}{1.033,40} \right)$$

$$l = \frac{655,611}{125,6} \times \frac{1.630,62}{1.033,40} = \frac{1.069.051}{129.795} = 8,24 \text{ m}$$

Sehingga didapatkan panjang minimum pipa tembaga sepanjang 8,24 meter.

#### b. Perencanaan coil

Setelah didapatkan panjang minimum pipa tembaga, dilakukan perhitungan untuk bentuk desain spiral coil dari kondensor. Dimana perencanaannya sebagai berikut:

- Coil berbentuk persegi dengan sisi-sisinya sepanjang 20 cm
- Coil persegi memiliki radius sebesar 2,5 cm
- Sehingga untuk setiap satu keliling persegi dari coil memiliki panjang  $l' = \left( \frac{1}{2} \times \pi \times r \right) + (4 \times s)$

$$l' = \left( \frac{1}{2} \times \pi \times 2,5 \right) + (4 \times 15) = 63,925 \text{ cm}$$

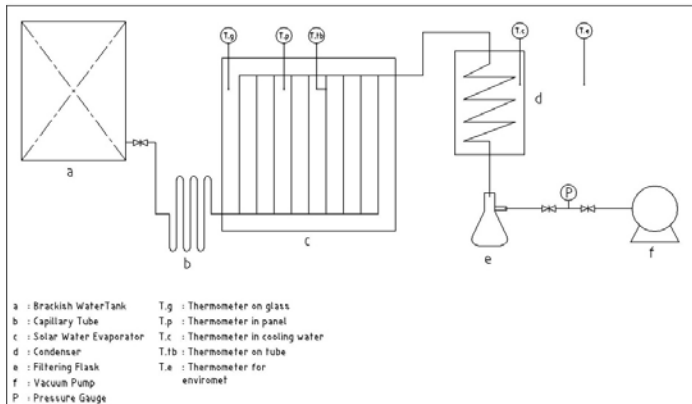
- Sedangkan untuk jumlah keliling coil adalah  $n = \frac{l}{l'}$

$$n = \frac{l}{l'} = \frac{886}{63,925} = 13,8 \sim 14$$

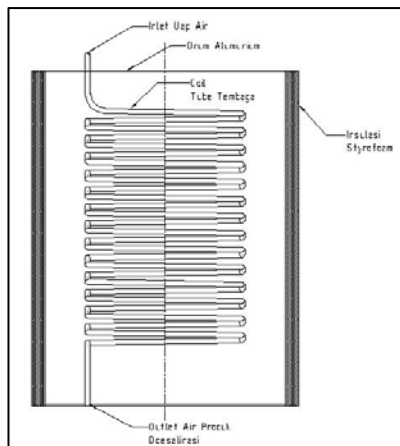
- Sedangkan untuk gaps antar coil adalah 1,5 cm

### 4.3. Desain dan Spesifikasi

Pada kegiatan ini, selain dilakukan perhitungan pada tahap sebelumnya, pada tahap ini juga dilakukan survey pasar untuk mengetahui ketersediaan material bahan pembuat evaporator dan kondensor. Diantaranya ketersediaan untuk perpipaan sistem, dan fitting yang digunakan pada sistem.



**Gambar 4. 3** Skema sistem desalinasi yang telah dibuat



**Gambar 4. 4** Desain Kondensor

Berikut ini adalah spesifikasi dari komponen-komponen sistem desalinasi air payau dengan menggunakan tenaga matahari, antara lain:

#### 4.3.1. Evaporator tenaga matahari

Komponen ini berfungsi menyerap panas matahari dan mentransfernya ke air yang ada di dalam pipa tembaga, dan menguapkan air.



**Gambar 4. 5** *Panel Evaporator*

Di mana evaporator tersebut memiliki spesifikasi,berikut:

- Panjang : 780 mm
- Lebar : 550 mm
- Tinggi : 60 mm
- Diameter *tube* tembaga : 12.7 mm

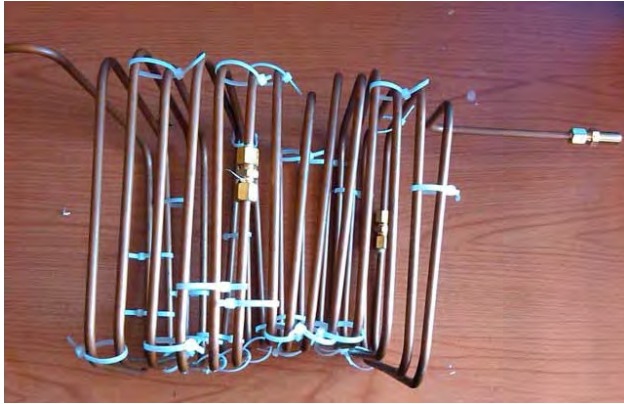
#### 4.3.2. Kondensor

##### a. Kondensor

Komponen ini berfungsi sebagai pendingin uap yang telah dihasilkan oleh *Solar Evaporator*, dimana terdiri dari komponen dan dengan spesifikasi berikut:

1. *Copper tube coil*

- Panjang : 9,677 mm
- OD : 6,35 mm
- Material : tembaga



**Gambar 4. 6** *Coil Tembaga*

2. *Cooling water container*

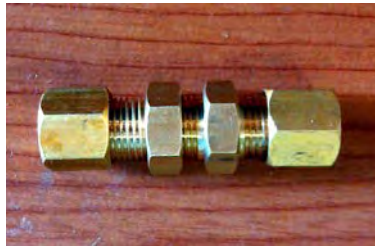
- Tinggi : 420 mm
- OD : 300 mm
- Material : aluminium



**Gambar 4. 7** *Drum Alumunium*

3. *Bulkhead union*

- *Tube OD* :  $\frac{1}{4}$ " x  $\frac{1}{4}$ "
- *Material* : kuningan



**Gambar 4. 8** *Bulkhead Union*

b. Gelas penampung air produk desalinasi

Komponen ini berfungsi sebagai penampung air hasil desalinasi yang keluar dari koil kondensor. Selain itu juga berfungsi untuk mengetahui jumlah air hasil dari kondensasi.

Penampung ini berupa *Filtering Flask* (500 mL) dengan dua leher yang dipasang prob.



**Gambar 4. 9** *Filtering Flask dan prob karet*

#### **4.3.3. Penurun tekanan (pompa vakum)**

Komponen ini berfungsi untuk menurunkan tekanan udara di dalam sistem (*tube*). Sehingga mampu membantu turunnya titik didih air yang akan diuapkan di evaporator. Berikut spesifikasinya:



**Gambar 4. 10** *Vacuum Pump*

- *Free air displacement* : 20 cfm



- *Ultimate vacuum* : 10 Pa
- *Power* : ¼ HP
- *Voltage* : 220 V – 240 V / 60 Hz
- *Oil capacity* : 250 mL

#### 4.4. Analisa Awal Desain Kondensor

##### 4.3.1 Kalor serap kondensor

Pada tahap sebelumnya telah dilakukan desain dan pembuatan kondensor, selanjutnya dilakukan analisa pada kemampuan kondensor untuk menyerap panas dari uap. Sebelumnya di dapatkan data *scantling* dari ukuran aktual kondensor, yang dilakukan pada panjang pipa coil tembaga. Berikut adalah perhitungan analisa untuk kalor yang mampu diserap kondensor:

Dimana telah diketahui data-data berikut:

$$l_{aktual} = \text{panjang aktual pipa coil tembaga} = 9,677 \text{ m}$$

$$T_i = \text{Suhu uap air} = 343,15 \text{ K}$$

$$h_i = \text{koefisien perpindahan panas untuk uap air (condensing water vapour)} = 100.000 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$T_o = \text{Suhu air pendingin} = 303,15 \text{ K}$$

$$h_o = \text{koefisien perpindahan panas air} = 100 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$k = \text{konduktivitas termal tembaga} = 400 \text{ W/mK}$$

$$x = \text{tebal pipa tembaga} = 1,2 \text{ mm} = 0,0012 \text{ m}$$

$$d_o = \text{diameter luar pipa} = \frac{1}{4} \text{ inci} = 0,0064 \text{ m}$$

$$d_i = \text{diameter dalam pipa} = 0,00395 \text{ m}$$

dalam analisa ini digunakan persamaan 12-6; 12-7; dan 12-8 (Stoecker: 1982. P 222-223).

$$q = U_o A_o (t_o - t_i)$$

Dengan,

$$\frac{1}{U_o A_o} = \frac{1}{h_o A_o} + \frac{x}{k A_m} + \frac{1}{h_i A_i}$$

$$\frac{1}{U_o A_o} = \frac{1}{h_o \pi d_o l} + \frac{x}{k \pi l \left( \frac{d_o + d_i}{2} \right)} + \frac{1}{h_i \pi d_i l}$$

$$\frac{1}{U_o A_o} = \frac{1}{h_o \pi d_o l} + \frac{2x}{k \pi l (d_o + d_i)} + \frac{1}{h_i \pi d_i l}$$

$$\frac{1}{U_o A_o} = \frac{1}{\pi l} \left( \frac{1}{h_o d_o} + \frac{2x}{k (d_o + d_i)} + \frac{1}{h_i d_i} \right)$$

$$\frac{1}{U_o A_o} = \frac{1}{3,14 \times 9,677} \left( \frac{1}{100 \times 0,00635} + \frac{2 \times 0,0012}{400(0,0063 + 0,0039)} + \frac{1}{100.000 \times 0,00395} \right)$$

$$\frac{1}{U_o A_o} = \frac{1}{30,39} \left( \frac{1}{0,635} + \frac{0,0024}{4,12} + \frac{1}{395} \right)$$

$$\frac{1}{U_o A_o} = \frac{1}{30,39} \left\{ \left( \frac{4,12 + 0,00152}{2,62} \right) + \frac{1}{395} \right\}$$

$$\frac{1}{U_o A_o} = \frac{1}{30,39} \left( \frac{4,1215}{2,62} + \frac{1}{395} \right)$$

$$\frac{1}{U_o A_o} = \frac{1}{30,39} \left( \frac{1.628,0020 + 2,62}{1.033,40} \right)$$

$$\frac{1}{U_o A_o} = \frac{1}{30,39} \times \frac{1.6030,618}{1.033,40}$$

$$\frac{1}{U_o A_o} = \frac{1.630,618}{31400,63}$$

$$1.630,618 U_o A_o = 31400,63$$

$$U_o A_o = \frac{1.630,618}{31400,63}$$

$$U_o A_o = 19,26 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Sehingga didapatkan penyerapan kalor oleh kondensor sebesar:

$$q = 19,26 (303,15 - 343,15)$$

$$q = 19,26(-40)$$

$$q = -770,28 \text{ Watt} \sim q_{\text{serap kondensor}} \text{ sebesar } 770,28 \text{ Watt}$$

#### 4.3.2 Beban panas luar

Penempatan peralatan sistem desalinasi yang harus ditempatkan di ruang terbuka, yakni berada di bawah sinar matahari, tidak memungkinkan bahwa pada kondensor menerima radiasi dari matahari juga. Hal ini merupakan beban panas untuk kondensor itu sendiri, oleh karena itu digunakan insulasi guna meminimalisir aliran panas dari luar terhadap stabilitas suhu air pendingin di dalam kondensor. Untuk insulasi panas dari kondensor ini, dilakukan penambahan lapisan *Styrofoam* setebal 1,5 cm di luar lapisan *cooling water container* yang berupa Aluminium.

Dimana telah diketahui data-data berikut:

$$h_i = \text{koefisien konveksi air pendingin} = 100 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$h_o = \text{koefisien konveksi udara luar} = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$x_{stf} = \text{tebal styrofoam} = 0,015 \text{ m}$$

$$k_{stf} = \text{konduktivitas termal styrofoam} = 0,033 \text{ W/mK}$$

([www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d\\_429](http://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d_429))

$x_{Al}$  = tebal Aluminium = 0,002 m

$k_{Al}$  = konduktivitas termal aluminium = 205,8 W/mK dimana suhu air pendingin adalah 32°C (305,15K)

$T_o$  = suhu lingkungan = 38°C = 311,15K

$A$  = Luas permukaan *cooling water container* =  $h\pi D = 0,42 \times 3,14 \times (0,3 + 0,002 + 0,015) = 0,4181 \text{ m}^2$

$$R = \frac{1}{U_o} = \frac{1}{100} + \frac{0,002}{205,8} + \frac{0,015}{0,033} + \frac{1}{25}$$

$$\frac{1}{U_o} = \frac{205,8 + 0,2}{20580} + \frac{0,015}{0,033} + \frac{1}{25}$$

$$\frac{1}{U_o} = \frac{206}{20580} + \frac{0,015}{0,033} + \frac{1}{25}$$

$$\frac{1}{U_o} = \frac{6,798 + 308,7}{679,14} + \frac{1}{25}$$

$$\frac{1}{U_o} = \frac{315,5}{679,14} + \frac{1}{25}$$

$$\frac{1}{U_o} = \frac{7.887,5 + 679,14}{16.978,5}$$

$$\frac{1}{U_o} = \frac{8.566,6}{16.978,5}$$

Sehingga didapatkan koefisien perpindahan panas,  $U_o = \frac{16.978,5}{8.566,6} =$

$1,98 \text{ W/m}^2\text{K}$

Dan beban panas luar yang melalui dinding insulasi tersebut sebesar:

$$Q_{beban\ luar} = A_o U_o \Delta T$$

$$Q_{beban\ luar} = 0,4405 \times 1,98 \times 6$$

$$Q_{beban\ luar} = 5,238 \text{ Watt}$$

## **BAB V**

### **ANALISA DATA**

#### **5.1 Data Hasil Percobaan**

Pada studi experimental tentang sistem kondensasi uap hasil evaporasi pada sistem desalinasi menggunakan tenaga matahari ini, terdapat beberapa data percobaan yang diambil, diantaranya dengan variasi derajat kemiringan evaporator, jumlah air yang masuk ke evaporator, tingkat sistem desalinasi, dan variasi suhu air pendingin. Dengan durasi percobaan (pengambilan data) selama 6 jam per hari, dan dengan penurunan tekanan vakum sampai 0,3 bar.

Berikut ini adalah hasil dari experiment sistem desalinasi air payau:

##### **5.1.1 Data Percobaan**

Data ini merupakan data percobaan alat desalinasi tenaga matahari, berupa volume air yang masuk dan air yang dihasilkan, suhu rata-rata air pendingin, dan juga data analisa performa sistem berupa  $Q_{\text{nett}}$  yang dihasilkan panel evaporator, suhu uap yang dihasilkan panel evaporator, Kalor yang mampu diserap kondensor, dan efisiensi dari sistem desalinasi tenaga matahari ini.

Tabel 5. 1 Data Percobaan

Tingkat Desalinasi	Es (kg)	Volume Air (ml)		$\bar{T}_c$ (°C)	Laju Desalinasi (m/jam)	Q.nett (watt)	$T_{vap}$ (°C)	Q <sub>c</sub> (watt)	$\eta$ ( $\frac{V_{out}}{V_{in}}$ )
		in	out						
1	4	535	15	8	0,0117	435,86	59	985,33	0,03
1	6	535	15	14	0,0117	467,27	58	848,83	0,03
1	0	535	13	31	0,0101	448,90	56	475,92	0,02
1	0	535	10	32	0,0078	461,34	54	425,04	0,02
1	0	535	9	33	0,0070	486,83	56	446,89	0,02
1	7	705	15	8	0,0117	579,28	38	585,65	0,02
1	7	705	17	8	0,0132	425,19	60	986,41	0,02
1	4	705	14	17	0,0109	484,46	53	689,33	0,02
1	0	705	11	31	0,0086	511,12	55	475,54	0,02
1	0	705	11	31	0,0082	384,89	59	537,96	0,01
2	6	130	7	15	0,0055	442,97	58	834,25	0,05
2	4	123	10	13	0,0078	457,19	49	682,46	0,08

### 5.1.2 Data Hasil Pengujian Air Hasil Desalinasi

Adapun data hasil pengujian laboratorium terhadap salinitas air hasil desalinasi dengan parameter ukur kadar NaCl dan pH.

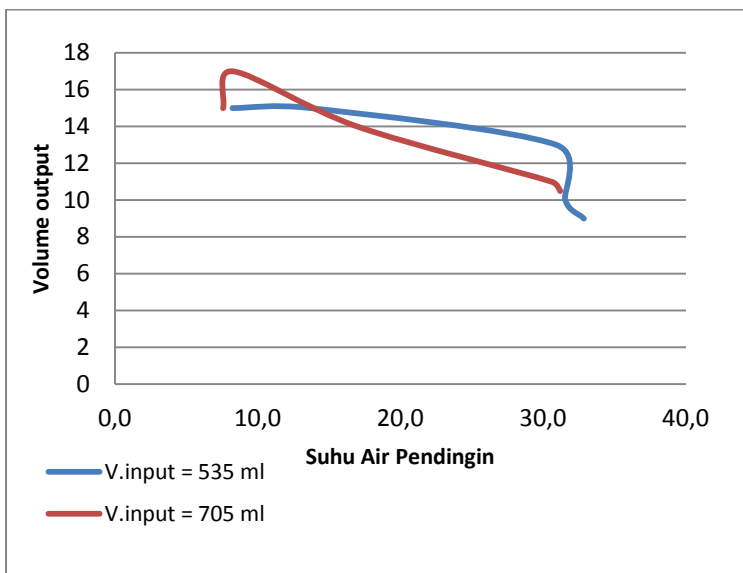
Tabel 5. 2 Hasil Uji NaCl dan pH pada air hasil desalinasi

	Parameter			
	NaCl	Metode Analisa	pH	Metode Analisa
Standar Maksimum (492/MenKes/Per/I V/2010)	250		6,5 -8,5	

	Parameter			
	NaCl	Metode Analisa	pH	Metode Analisa
Air Payau	235,31	Flamephotometri	7,56	pHmetri
Air Desalinasi	95	Flamephotometri	8,25	pHmetri

## 5.2 Analisa Hasil Percobaan

- a. Pengaruh suhu air pendingin terhadap volume air yang dihasilkan.

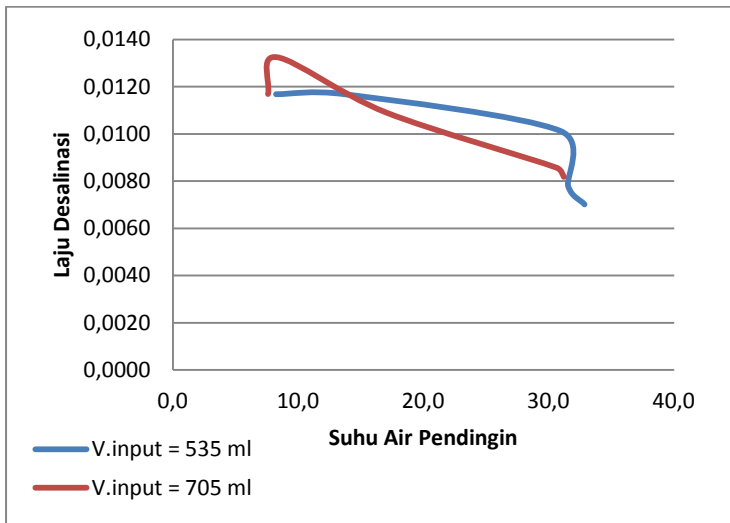


**Gambar 5.1** Pengaruh suhu air pendingin terhadap volume air yang dihasilkan

Pada percobaan sistem desalinasi air payau dengan menggunakan tenaga matahari ini, dilakukan pemvariasian suhu air pendingin pada kondensor dengan melakukan

penambahan es batu pada air pendingin. Hal ini turut mempengaruhi air kondensat yang dihasilkan oleh sistem ini. Di mana, ketika air pendingin yang tanpa diberi tambahan es batu menghasilkan air kondensat yang sedikit. Berbeda ketika air pendingin diberi tambahan es, air kondensat yang dihasilkan sistem lebih banyak, karena suhu air yang semakin turun. Sehingga penurunan suhu pada air pendingin berbanding terbalik dengan jumlah air desalinasi yang dihasilkan. Ketika semakin turun suhu pendingin maka jumlah air hasil desalinasi yang dihasilkan semakin banyak.

- b. Pengaruh variasi suhu air pendingin kondensor terhadap waktu proses desalinasi (laju desalinasi).



**Gambar 5. 2** Pengaruh variasi suhu air pendingin kondensor terhadap laju desalinasi



Pemvariasian suhu air pendingin ini berpengaruh juga pada laju desalinasi pada setiap pengoperasian sistem selama 6 jam. Di mana laju desalinasi didefinisikan sebagai:

$$\frac{\text{Volume air produk [liter]}}{\text{Luas ruang pemanasan [m}^2\text{]} \times \text{Waktu pengoperasian [jam]}}$$

Di mana:

$$\begin{aligned} V_{out} &= 10 \text{ ml} \\ A_{panel} &= 0,2139 \text{ m}^2 \\ t &= 6 \text{ jam} \end{aligned}$$

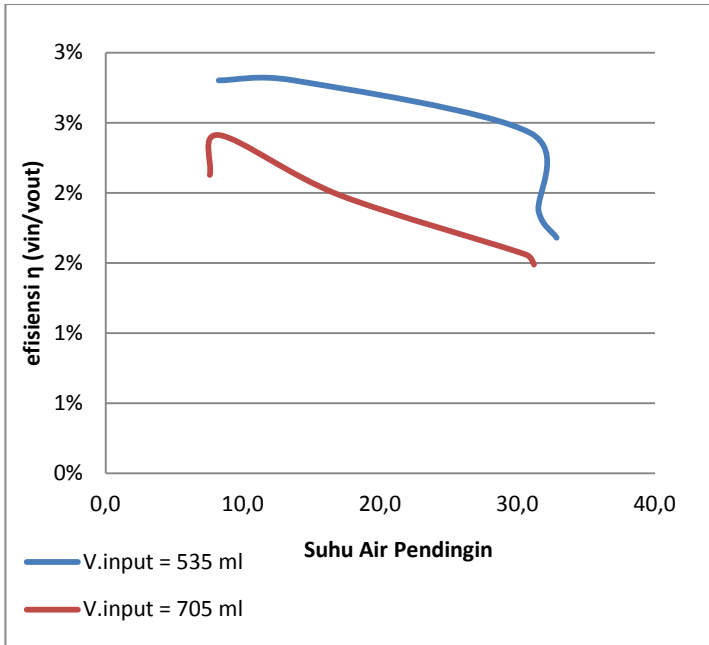
Sehingga didapatkan:

$$v_{desalinasi} = \frac{0,01 \text{ l}}{0,2139 \text{ m}^2 \times 6 \text{ jam}} = 0,0078 \text{ m/jam}$$

Pemvariasian suhu tersebut berbanding terbalik terhadap nilai laju desalinasi, dimana ketika suhu semakin diturunkan maka nilai laju desalinasi semakin besar. Karena nilai laju desalinasi ini merupakan fungsi dari volume air hasil desalinasi, yang juga berbanding terbalik terhadap penurunan suhu air pendingin.

- c. Pengaruh variasi suhu air pendingin terhadap efisiensi sistem desalinasi.

Definisi efisiensi dalam analisa ini adalah perbandingan volume air yang masuk ke sistem desalinasi dengan volume air yang dihasilkan.



**Gambar 5.3** Pengaruh penurunan suhu terhadap efisiensi sistem

Efisiensi yang merupakan fungsi dari volume air hasil desalinasi juga berbanding terbalik ketika suhu pendingin diturunkan. Semakin rendah suhu air pendingin, maka sistem desalinasi ini semakin efisien. Namun dari data volume air yang dihasilkan persentasenya jauh lebih kecil dari pada volume air yang dimasukkan ke dalam sistem yang tidak mampu mencapai 50% atau lebih – dari volume air yang dimasukkan ke sistem. Hal ini membuat sistem yang diuji masih jauh dari perencanaan yang diharapkan, sehingga masih jauh dari efisiensi yang diharapkan.

Beberapa hal bisa menjadi penyebab dari kecilnya efisiensi ini, hal-hal tersebut bisa meliputi antara lain:

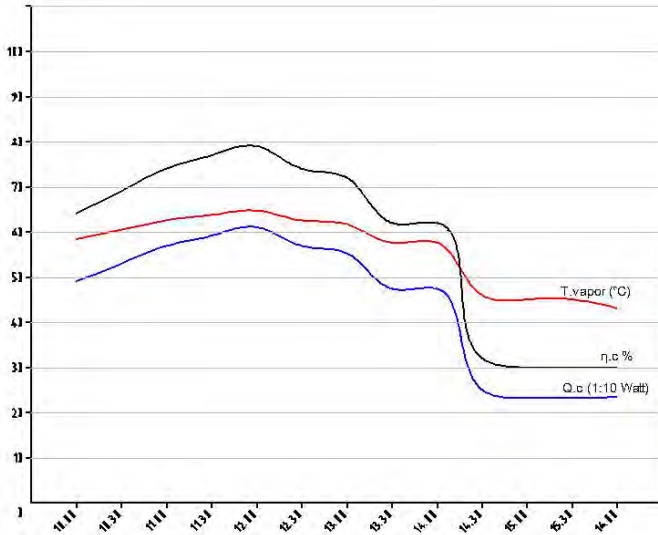
- Suhu dan tekanan yang masih kurang untuk mendidihkan air pada sistem, sehingga uap air yang dihasilkan sedikit.
- Perbedaan tekanan yang tidak cukup besar antara panel evaporator dan kondensor, di mana tidak bisa mengalirkan uap yang dihasilkan evaporator mengalir ke kondensor.

Oleh karena itu, sistem desalinasi ini masih membutuhkan pengembangan lebih lanjut, agar tercapai hasil yang diinginkan seperti pada proses perencanaan sebelumnya.

- d. Perbandingan suhu uap yang dihasilkan dengan besar kalor yang diserap, dan efisiensi kalor yang diserap terhadap desain.

*Tabel 5. 3 Analisa Suhu uap, kalor serap kondensor, dan efisiensi terhadap desain*

<b>Waktu</b>	<b>T.p</b>	<b>T.vap</b>	<b>Q.c</b>	<b><math>\eta.c</math></b>
10:00	33	58,47	490,45	0,64
10:30	33	60,47	528,97	0,69
11:00	33	62,55	569,04	0,74
11:30	33	63,71	591,42	0,77
12:00	33	64,71	610,68	0,79
12:30	33	62,55	569,04	0,74
13:00	33	61,71	552,91	0,72
13:30	33	57,63	474,32	0,62
14:00	33	57,63	474,32	0,62
14:30	33	45,98	250,00	0,32
15:00	33	45,06	232,30	0,30
15:30	33	45,06	232,30	0,30
16:00	31	43,14	233,87	0,30



**Gambar 5.4** Analisa Suhu uap, kalor serap kondensor, dan efisiensi terhadap desain

Sesuai grafik di atas, ketika suhu uap yang dihasilkan oleh panel evaporator semakin tinggi, maka jumlah kalor yang diserap oleh kondensor juga ikut meningkat. Dan ketika suhu uap yang dihasilkan rendah, maka kalor serap yang dibutuhkan juga turun. Kalor yang diserap ini berbanding lurus dengan efisiensi, antara kalor yang diserap pada alat dengan hasil analisa perhitungan desain, dengan nilai efisiensi tertinggi pada 79% dan dengan suhu pendingin yang cukup konstan pada 33 °C.

Meskipun memiliki efisiensi tertinggi 79% dan mampu mendinginkan dengan suhu air pendingin yang stabil, namun kondensor ini masih belum cukup efisien untuk mencapai nilai kalor serap yang sesuai dengan perhitungan desain. Hal ini bisa disebabkan oleh kurangnya penyerapan panas dari uap, yang diterima permukaan pipa tembaga pada kondensor. Selain itu juga terdapat faktor *losses* yang

ditimbulkan oleh beban panas yang ada di luar sistem (kondensor) yang masuk, yang merupakan *losses* dari kebocoran insulasi.

Oleh karena itu, perlu dilakukan pengembangan pada kondensor, terhadap proses penyerapan panas dari uap dan insulasi. Pengembangan ini bisa dilakukan dengan memodifikasi coil tembaga, dengan menambahkan fin (sirip) pada coil tembaga. Dan modifikasi pada bahan dan cara penginsulasian yang kedap.

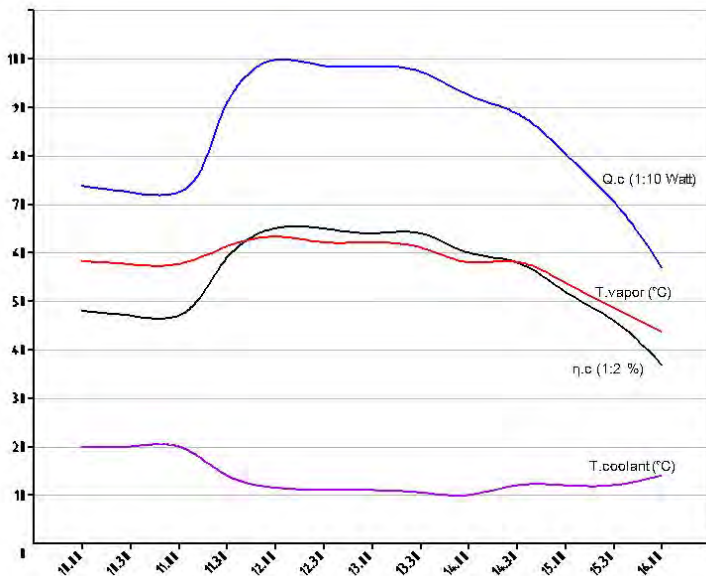
- e. Perbandingan suhu uap yang dihasilkan dengan besar kalor yang diserap, dan efisiensi kalor yang diserap terhadap desain, ketika dilakukan penurunan suhu air pendingin.

**Tabel 5. 4** Analisa Suhu uap, kalor serap kondensor, dan efisiensi terhadap desain

Waktu	T <sub>p</sub>	T <sub>vap</sub>	Q <sub>c</sub>	η <sub>c</sub>
10:00	20	58,30	737,45	0,96
10:30	20	57,62	724,44	0,94
11:00	20	57,62	724,44	0,94
11:30	14	61,25	909,98	1,18
12:00	11,5	63,30	997,42	1,29
12:30	11	62,17	985,45	1,28
13:00	11	62,13	984,66	1,28
13:30	10,5	61,05	973,47	1,26
14:00	10	58,05	925,33	1,20
14:30	12	58,05	886,82	1,15
15:00	12	53,81	805,11	1,05
15:30	12	48,65	705,70	0,92
16:00	14	43,61	570,12	0,74

Pada data di atas diambil dari saah satu percobaan dengan dilakukan penambahan es batu sehingga suhu air pendingin bisa turun sampai 10 °C. sehingga ketika kalor yang mampu diserap kondesor bisa meningkat dibandingkan dengan percobaan tanpa penurunan suhu pendingin. Dengan efisiensi perbandingan kalor serap pada alat dan perhitungan desain , yang hampir mendekati dari perhitungan desain.

Namun dalam aplikasi lapangan penambahan es batu ini masih belum efisien karena masih harus mengeluarkan biaya lagi saat operasional. Sehingga perlu dilakukan pengkajian ulang dan improvisasi pada desain kondensor dan metode untuk menstabilkan suhu pendingin.



**Gambar 5. 5** Analisa Suhu uap, kalor serap kondensor, dan efisiensi terhadap desain, ketika suhu pendingin diturunkan

- f. Pengaruh desalinasi terhadap faktor-faktor penentu kemurnian air hasil produksi.

Pengujian dilakukan pada hasil air desalinasi di Laboratorium Team Afiliasi dan Konsultasi Industri, Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember – Surabaya. Berikut hasil pengujian dan perbandingannya dengan standar maksimum dari PerMenKes No.492 Tahun 2010.

Dalam skala laboratorium kandungan NaCl air, setelah dilakukan desalinasi sudah cukup baik dengan kadar 95 mg/l, di mana jumlah NaCl tersebut jauh dari batasan maksimum. sedangkan kadar pH maksimum yang dianjurkan untuk air bersih, nilai pH mendekati batas maksimum, yaitu 8,22. Sehingga air hasil desalinasi ini masih laik untuk keperluan konsumsi sehari-hari. Namun perlu peninjauan ulang untuk unsur-unsur yang lain di dalamnya agar air hasil desalinasi ini benar-benar laik konsumsi, terutama untuk diminum.

- g. Rasio kapasitas alat desalinasi dengan aplikasi nyata untuk kebutuhan sehari-hari.

Jika disimpulkan bahwa sistem desalinasi dengan volume air payau yang dimasukkan sebanyak 535 ml, akan menghasilkan air desalinasi sebanyak 3%, yakni 10ml, per hari (diambil sampel pada percobaan III; terlampir). Dan apabila diterapkan dalam kehidupan sehari-hari dalam suatu keluarga, dengan anggota 5 orang, maka akan didapatkan rasio perbandingan sistem saat percobaan dengan penerapan sehari-hari sebagai berikut:

Diketahui:

Volume input = 500 ml (setengah penuh dengan 8 tube pipa ½")

Volume output = 10 ml

Volume tube pada panel = 750ml

Kebutuhan air = 20liter/orang

1 kepala keluarga = 5 orang = 100liter/kepala keluarga

Jika rasio antara volume input dan output adalah 1:50, maka untuk kebutuhan 100 liter, diperlukan suplai air payau sebanyak 5000 liter. Dan jika digunakan spesifikasi tube pipa yang sama, dengan diameter ½" dan panjang 67 cm, maka akan dibutuhkan tube sebanyak 80 batang.



# **BAB VI**

## **PENUTUP**

### **6.1 Kesimpulan**

Dari penelitian ini didapatkan beberapa kesimpulan, untuk menjawab tujuan dari penelitian. Berikut kesimpulan dari studi eksperimental mengenai sistem kondensasi uap hasil evaporasi pada sistem desalinasi air payau dengan menggunakan tenaga matahari:

#### **6.1.1 Efisiensi**

- a. ketika suhu uap yang dihasilkan oleh panel evaporator semakin tinggi, maka jumlah kalor yang diserap oleh kondensor juga ikut meningkat. Dan ketika suhu uap yang dihasilkan rendah, maka kalor serap yang dibutuhkan juga turun. Kalor yang diserap ini berbanding lurus dengan efisiensi, antara kalor yang diserap pada alat dengan hasil analisa perhitungan desain, dengan nilai efisiensi tertinggi pada 79% dan dengan suhu pendingin yang cukup konstan pada 33 °C.
- b. Pada data di atas diambil dari saah satu percobaan dengan dilakukan penambahan es batu sehingga suhu air pendingin bisa turun sampai 10 °C. sehingga ketika kalor yang mampu diserap kondesor bisa meningkat dibandingkan dengan percobaan tanpa penurunan suhu pendingin. Dengan efisiensi perbandingan kalor serap pada alat dan perhitungan desain , yang hampir mendekati dari perhitungan desain, yang bisa mencapai 128% dari perhitungan desain.
- c. Suhu air pendingin mempengaruhi besar laju desalinasi, terhadap air yang dihasilkan dari sistem desalinasi ini. Di mana ketika suhu semakin diturunkan maka tingkat laju

- desalinasi semakin meningkat dengan tingkat laju desalinasi tertinggi sebesar  $0,0117 \text{ m}^2/\text{jam}$
- d. Namun, jika dilihat dari data volume air yang dihasilkan persentasenya jauh lebih kecil dari pada volume air yang dimasukkan ke dalam sistem, yakni hanya sampai 1-3 %, sehingga belum mampu mencapai 50% atau lebih – dari volume air yang dimasukkan ke sistem. Hal ini membuat sistem yang diuji masih jauh dari perencanaan yang diharapkan, sehingga masih jauh dari efisiensi yang diharapkan.
  - e. Kecilnya efisiensi bisa disebabkan oleh perbedaan tekanan yang tidak cukup besar antara panel evaporator dan kondensor, yang mana tidak bisa mengalirkan uap yang dihasilkan evaporator mengalir ke kondensor.
  - f. Kalor yang diserap ini berbanding lurus dengan efisiensi, antara kalor yang diserap pada alat dengan hasil analisa perhitungan desain, dengan nilai efisiensi tertinggi pada 79% dan dengan suhu pendingin yang cukup konstan pada  $33 \text{ }^\circ\text{C}$ .
  - g. Meskipun memiliki efisiensi tertinggi 79% dan mampu mendinginkan dengan suhu air pendingin yang stabil, namun kondensor ini masih belum cukup efisien untuk mencapai nilai kalor serap yang sesuai dengan perhitungan desain. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengembangan pada kondensor, terhadap proses penyerapan panas dari uap dan insulasi. Pengembangan ini bisa dilakukan dengan memodifikasi coil tembaga, dengan menambahkan fin (sirip) pada coil tembaga. Dan modifikasi pada bahan dan cara penginsulasian yang kedap.

### **6.1.2 Kadar Garam Air Hasil Desalinasi**

Dari hasil uji flamephotometri didapatkan hasil kadar NaCl yang cukup rendah dari pada standar maksimum kandungan

garam untuk air bersih, yakni sebesar 95 mg/l. sehingga untuk parameter kadar garam, air desalinasi ini sudah sesuai standar. Sedangkan nilai pH yang telah diuji dengan pH-metri, menunjukkan nilai sebesar 8,22, yang mana nilai ini hampir mendekati batas standar pH untuk air bersih. Sehingga air hasil desalinasi ini masih laik untuk keperluan konsumsi sehari-hari. Namun perlu peninjauan ulang untuk unsur-unsur yang lain di dalamnya agar air hasil desalinasi ini benar-benar laik konsumsi, terutama untuk diminum.

## **6.2 Saran**

- a. Perlu dilakukan pengkajian ulang terhadap sistem terutama pada perencanaan dan desain agar perbedaan tekanan antara evaporator dan kondensor, cukup untuk mengalirkan uap hasil evaporasi masuk ke dalam kondensor.
- b. Perlu dilakukan pengkajian ulang terhadap desain kondensor agar bisa optimal menyerap panas dari uap, dan metode pendinginan agar suhu pendinginan bisa lebih stabil, serta pengembangan sistem insulasi untuk menghindari pengaruh panas dari luar.
- c. Selain NaCl dan pH, perlu dilakukan pengkajian terhadap unsur-unsur lain yang terkandung di dalam air, agar mengetahui apakah air hasil desalinasi memenuhi standar.

*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*



## BIODATA PENULIS

Khilmi Affandi, yang merupakan anak ketiga dari pasangan Mohammad Farhan dan Siti Djuwarijah, lahir di Sidoarjo pada tanggal 31 Mei 1990. Selama hidupnya pendidikan yang telah ditempuhnya antara lain: di SD Negeri Suko 1 Sidoarjo lulus di tahun 2002, SMP Negeri 2 Sidoarjo lulus tahun 2005, SMA Negeri 4 Sidoarjo lulus tahun 2008, dan pada 2008 mendapat kesempatan melanjutkan pendidikan di D3 Teknik Perancangan dan Konstruksi Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Pengalaman Kerja sampai saat ini, pernah mengikuti *on the job training* di sebuah galangan PT. Dumas Tanjung Perak Shipyard Surabaya, selama tiga bulan di bagian Quality Control dan Design Engineer. Selepas wisuda pada September 2011, penulis melanjutkan studinya melalui program Lintas Jalur di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan – ITS, pada semester genap tahun ajaran 2011-2012. Penulis aktif sebagai *member* Laboratorium Mesin Fluida, Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, pada perkuliahan semester ketiga, dan sempat aktif pula sebagai *Grader* pratikum Turbin Pelton. Puji syukur kehadiran Allah SWT, pada 2014 penulis lulus dari studinya, setelah menyelesaikan skripsi yang berjudul "*Studi Eksperimental Sistem Kondensasi Uap Hasil Evaporasi pada Sistem Desalinasi Tenaga Matahari*".

Motto Hidup: "*Kebahagiaan tidak dicari, tetapi diciptakan. Yakin dengan selalu bersyukur dan bersabar.*"

E-mail : khilminithardjo@gmail.com

No. Telepon : +6285648889485

## DAFTAR PUSTAKA

2010. *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia: tentang Persyaratan Kualitas Air Minum*. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, Jakarta.
- Assomadi, dan Lahif. 2009. *Model Alat Desalinasi dengan Evaporasi dan Kondensasi Menjadi Satu Sistem Ruangan*. Teknik Lingkungan – ITS, Surabaya.
- Hermana, Joni dan Boedisantoso, Rachmat. 2010. *Kondensasi*. Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, ITS, Surabaya.
- Hahne E, N. Fisch, A. Arafa. 1978. The Flat solar Collector: Its Steady State behavior. *Solar energy international Progress*. Vol 1, halaman 159-185.
- Holman, J.P. 1984. *Perpindahan Kalor*. Erlangga, Jakarta Pusat.
- Indra Wibawa, Dwi. *Heat Exchanger*. Teknik Kimia, Universitas Lampung, Lampung.
- Irawan, B. 2001. *Penyerapan energy matahari dengan Kolektor pelat Datar*. Jurnal Bisnis dan Teknologi, vol. 9 (2). Halaman 314-318.
- Karnaningroem, N.1990. Efisiensi Evaporasi Sebagai Metoda Penyediaan Air Minum Dari Sumber Air Payau. FTSP. Puslit-ITS
- Kharagpur. *Condensers and Evaporators. Lesson 22, Version 1 ME*.
- Kristanto, dan Laeyadi. 2000. *Kolektor Surya Prismatic*. Jurnal Teknik Mesin. 2 (1). Halaman 22-28.
- Stoecker, Wilbert F. 1982. *Refrigrasi dan Pengkondisian Udara, edisi 2, terjemahan Supratman Hara*. Erlangga, Bandung.
- Wikipedia. 2013. *Insulasi Termal*. Diambil 20 Mei 2014 dari : [http://id.wikipedia.org/wiki/Insulasi\\_termal](http://id.wikipedia.org/wiki/Insulasi_termal)

William R., Hamburg. 1986. *WRL Research Report 86/4: Optimal Finned Heat Sinks*. WRL 100 Hamilton Avenue, California.

Yudi, Hendra. 2013. *Kondensasi*. Diambil 10 April 2014 dari: <http://ilmupembangkit.wordpress.com/2013/05/11/kondensa/>

Yunus, A. Cengel. 2003. *Heat Transfer A Practical Approach*.

## DAFTAR LAMPIRAN

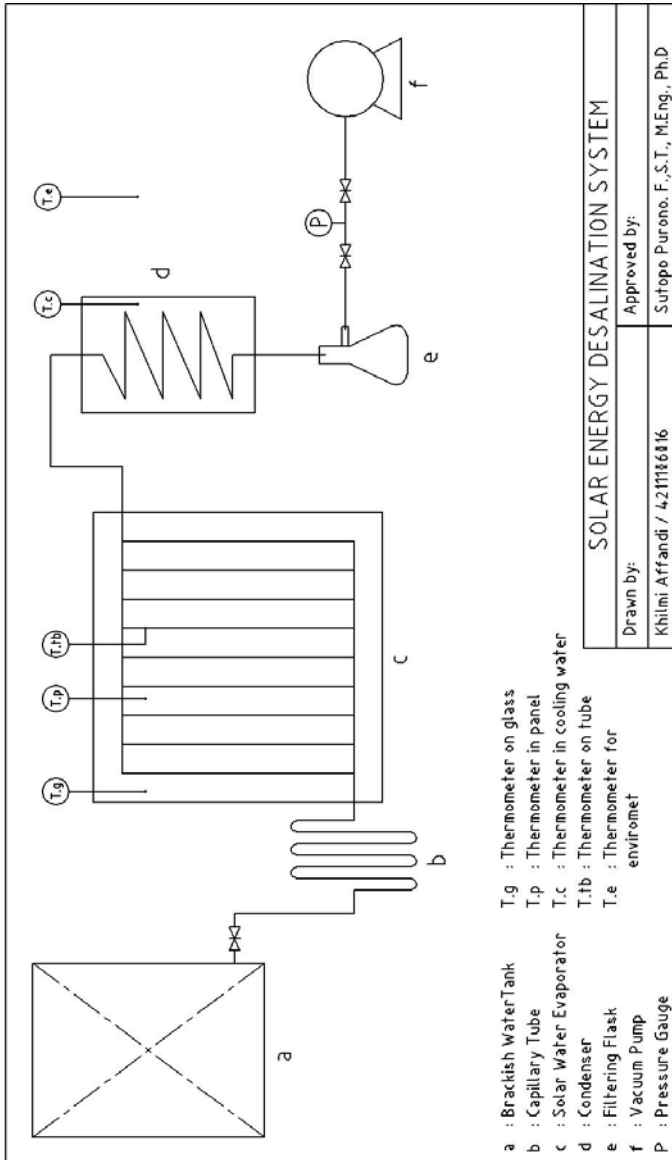
<b>LAMPIRAN 1</b> Desain Sistem Desalinasi.....	83
<b>LAMPIRAN 2</b> Desain Kondensor.....	84
<b>LAMPIRAN 3</b> Data Hasil Percobaan.....	85
<b>LAMPIRAN 4</b> Data Hasil Uji Kandungan Air Payau.....	94
<b>LAMPIRAN 5</b> Data Hasil Uji Kandungan Air Desalinasi.....	95
<b>LAMPIRAN 6</b> Dokumentasi Percobaan .....	96



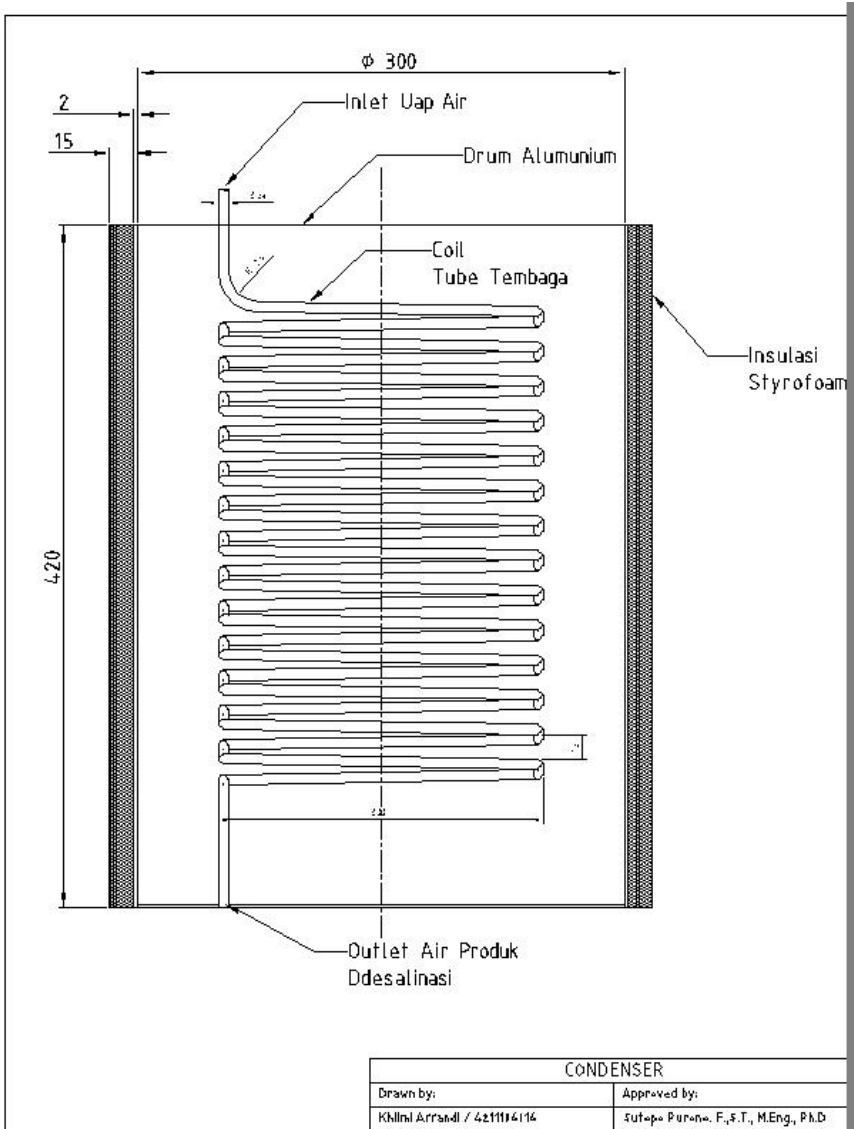
*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

# LAMPIRAN

## 1. Desain Sistem Desalinasi



## 2. Desain Kondensor



### 3. Data Hasil Percobaan

#### Percobaan I

Tanggal: 01/07/14

Jumlah hari		152						
Input Air payau		535,1658 ml (kondisi tube 1/2 penuh)						
Output Air produk		9 ml						
Waktu	Tekanan (bar)		Sudut Kemiringan, $\alpha$ ( $^{\circ}$ )	Suhu ( $^{\circ}$ C)				
	P1	P2		T.l	T.k	T.u	T.tb	T.p
10:00	1	0,3	20	34	44	56	61	33
10:30	1	0,3	20	36	46	58	63	33
11:00	1	0,3	20	36	47	59	65	33
11:30	1	0,3	20	33	46	59	66	33
12:00	1	0,3	20	36	49	59	67	33
12:30	1	0,3	20	34	45	58	65	33
13:00	1	0,3	20	32	45	57	64	33
13:30	1	0,3	20	34	46	54	60	33
14:00	1	0,3	20	33	45	53	60	33
14:30	1	0,3	20	33	37	44	49	33
15:00	1	0,3	20	33	38	44	48	33
15:30	1	0,3	20	33	38	44	48	33
16:00	1	0,3	20	33	39	42	46	31

Keterangan:

T.l = Temperatur lingkungan

T.k = Temperatur permukaan kaca

T.u = Temperatur udara dalam panel

T.tb = Temperatur tube tembaga dalam panel

T.p = Temperatur air pendingin

**Percobaan II**

Tanggal: 02/07/14

Jumlah hari			152					
Input Air payau			704,9666 mL (kondisi tube 3/4 penuh)					
Output Air produk			46 mL					
Waktu	Tekanan (bar)		Sudut Kemiringan, $\alpha$ ( $^{\circ}$ )	Suhu ( $^{\circ}$ C)				
	P1	P2		T.l	T.k	T.u	T.tb	T.p
10:00	1	0,3	20	33	42	54	58	29
10:30	1	0,3	20	33	48	58	63	30
11:00	1	0,3	20	34	49	59	65	30
11:30	1	0,3	20	35,5	47	60	67	30
12:00	1	0,3	20	34	48	60	68	30
12:30	1	0,3	20	36	50	59	66	30
13:00	1	0,3	20	39	45	59	66	31
13:30	1	0,3	20	39	44	54	58	31
14:00	1	0,3	20	39	44	54	58	31
14:30	1	0,3	20	39	45	54	60	32
15:00	1	0,3	20	32	34	41	48	32
15:30	1	0,3	20	32	34	37	41	32
16:00	1	0,3	20	30	30	34	36	30

**Percobaan:****III**

Tanggal:

03/07/14

Jumlah hari			152					
Input Air payau			535 mL			(kondisi tube 1/2 penuh)		
Output Air produk			45 mL					
Waktu	Tekanan (bar)		Sudut Kemiringan, $\alpha$ (°)	Suhu (°C)				
	P1	P2		T.l	T.k	T.u	T.tb	T.p
10:00	1	0,3	21	31	42	54	57,5	30
10:30	1	0,3	21	33	44	54	57	31
11:00	1	0,3	21	33	43,5	50	55	31
11:30	1	0,3	21	34	47	55,5	60	31
12:00	1	0,3	21	34	53	58	64	32
12:30	1	0,3	21	35	54	59	66	32
13:00	1	0,3	21	34	48	54	62	32
13:30	1	0,3	21	34	48	53	60	31
14:00	1	0,3	21	34	50	53	60	32
14:30	1	0,3	21	33	41	52	58	32
15:00	1	0,3	21	31	40	45	51	32
15:30	1	0,3	21	30	31	37	41	32
16:00	1	0,3	21	30	31	34	37	32

**Percobaan:****IV**

Tanggal:

04/07/14

Jumlah hari			152					
Input Air payau			705 mL			(kondisi tube 3/4 penuh)		
Output Air produk			5,5 mL					
Waktu	Tekanan (bar)		Sudut Kemiringan, $\alpha$ (°)	Suhu (°C)				
	P1	P2		T.l	T.k	T.u	T.tb	T.p
10:00	1	0,3	21	42	52	55	59	30
10:30	1	0,3	21	43	58	56	61	30
11:00	1	0,3	21	42	62	58	65	30
11:30	1	0,3	21	36	64	59	67	30,5
12:00	1	0,3	21	45	60	58	68	31

Waktu	Tekanan (bar)		Sudut Kemiringan, $\alpha$ (°)	Suhu (°C)				
	P1	P2		T.l	T.k	T.u	T.tb	T.p
12:30	1	0,3	21	39	58	58	68	31
13:00	1	0,3	21	35	62	58	66	31
13:30	1	0,3	21	35	58	57	63	32
14:00	1	0,3	21	39	56	55	63	32
14:30	1	0,3	21	43	56	54	60	32
15:00	1	0,3	21	42	53	51	57	32
15:30	1	0,3	21	39	46	45	50	32
16:00	1	0,3	21	37	43	43	48	32

**Percobaan:****V**

Tanggal:

05/07/14

Jumlah hari :			152					
Input Air payau :			535 mL					
Output Air produk:			52 mL					
Waktu	Tekanan (bar)		Sudut Kemiringan, $\alpha$ (°)	Suhu (°C)				
	P1	P2		T.l	T.k	T.u	T.tb	T.p
10:00	1	0,3	22	40	56	58	61	30
10:30	1	0,3	22	43	59	56	61	30
11:00	1	0,3	22	44	57	55	62	30
11:30	1	0,3	22	41,5	58	55	63	30
12:00	1	0,3	22	41	56	55	63	31
12:30	1	0,3	22	45	57	55	63	31
13:00	1	0,3	22	41	57	55	63	31
13:30	1	0,3	22	42	56	54	61	31
14:00	1	0,3	22	41	54	52	59	31
14:30	1	0,3	22	39	51	49	56	31
15:00	1	0,3	22	36,5	44	46	51	32
15:30	1	0,3	22	36	43	43	48	32
16:00	1	0,3	22	36	35	39	43	32

**Percobaan: VI**

Tanggal: 06/07/14

Jumlah hari :		152		<i>Tubes</i>	3/4 penuh			
Input Air payau :		705 mL		<i>Improve</i>	Es batu 4 kg			
Output Air produk:		9 mL						
Waktu	Tekanan (bar)		Sudut Kemiringan, $\alpha$ (°)	Suhu (°C)				
	P1	P2		T.l	T.k	T.u	T.tb	T.p
10:00	1	0,3	22	38,5	49	50	55	19
10:30	1	0,3	22	40	50	51,5	58	15
11:00	1	0,3	22	40,5	54	53	60	14
11:30	1	0,3	22	42	53	53	61	13
12:00	1	0,3	22	41	53	53	61	14
12:30	1	0,3	22	41	54	52,5	61	15
13:00	1	0,3	22	40,5	51	51	59	17
13:30	1	0,3	22	40	53	50	57,5	17
14:00	1	0,3	22	40	51	49	56	18
14:30	1	0,3	22	38	46	47	53	19
15:00	1	0,3	22	36,5	43	44	49	19
15:30	1	0,3	22	36	41	42	46	20
16:00	1	0,3	22	35	38	39	43	21

**Percobaan: VII**

Tanggal: 07/07/14

Jumlah hari :		153		<i>Tubes</i>	Setengah penuh			
Input Air payau :		535 mL		<i>Improve</i>	Es batu 4 kg			
Output Air produk:		53 mL						
Waktu	Tekanan (bar)		Sudut Kemiringan, $\alpha$ (°)	Suhu (°C)				
	P1	P2		T.l	T.k	T.u	T.tb	T.p
10:00	1	0,3	23	37	58	62	60	7
10:30	1	0,3	23	38	58	63	61	8
11:00	1	0,3	23	58	67	69,5	67	7



Waktu	Tekanan (bar)		Sudut Kemiringan, $\alpha$ (°)	Suhu (°C)				
	P1	P2			P5	P6		
11:30	1	0,3	23	42	50	68,5	65,5	8
12:00	1	0,3	23	42	59	71	69	7
12:30	1	0,3	23	44	60	70	68,5	8
13:00	1	0,3	23	45	60	66	68	8
13:30	1	0,3	23	44	58	65	65	8
14:00	1	0,3	23	42	55	63	62,5	8
14:30	1	0,3	23	41	53,5	60	60	9
15:00	1	0,3	23	39	49	55	56	9
15:30	1	0,3	23	37,5	45,5	52	52,5	10
16:00	1	0,3	23	36,5	41	47	47	10

**Percobaan:****VIII**

Tanggal: 10/07/14

Jumlah hari :	152		<i>Tubes</i>	Setengah penuh				
Input Air payau :	705 mL		<i>Improve</i>	Es batu 7 kg				
Output Air produk:	10 mL							
Waktu	Tekanan (bar)		Sudut Kemiringan, $\alpha$ (°)	Suhu (°C)				
	P1	P2		T.l	T.k	T.u	T.tb	T.p
10:00	1	3	23	38	58	63	61	8
10:30	1	3	23	38	58	63	61	8
11:00	1	3	23	58	67	69,5	67	7
11:30	1	3	23	42	60	68,5	65,5	8
12:00	1	3	23	42	59	71	69	7
12:30	1	3	23	44	60	70	68,5	8
13:00	1	3	23	45	60	66	68	8
13:30	1	3	23	44	58	65	65	8
14:00	1	3	23	42	55	63	62,5	8
14:30	1	3	23	41	53,5	60	60	9
15:00	1	3	23	39	49	55	56	9
15:30	1	3	23	37,5	45,5	52	52,5	10
16:00	1	3	23	36,5	41	47	47	10

**Percobaan:****IX**

Tanggal: 11/07/14

Jumlah hari :		152		<i>Tubes</i>	3/4 penuh			
Input Air payau :		535 mL		<i>Improve</i>	Es batu 7 kg			
Output Air produk:		12 mL						
Waktu	Tekanan (bar)		Sudut Kemiringan, $\alpha$ (°)	Suhu (°C)				
	P7	P8		T.1	T.k	T.u	T.tb	T.p
10:00	1	3	23	44	57	61	61	20
10:30	1	3	23	41	58	60	60	20
11:00	1	3	23	43	60	65	60	20
11:30	1	3	23	46,5	59	68	64	14
12:00	1	3	23	46	59	69	66	11,5
12:30	1	3	23	47	58,5	68	65	11
13:00	1	3	23	46	57	65	65	11
13:30	1	3	23	46	56	64	64	10,5
14:00	1	3	23	46	56	62	61	10
14:30	1	3	23	45	55	60	61	12
15:00	1	3	23	41	48	56	57	12
15:30	1	3	23	40	45	52	52	12
16:00	1	3	23	36,5	41	47	47	14

**Percobaan:****X**

Tanggal: 12/07/14

Jumlah hari :		152		<i>Tubes</i>				
Input Air payau :		300 mL		<i>Improves</i>	Es batu 6 kg			
Output Air produk:		2 mL			2nd Stage			
Waktu	Tekanan (bar)		Sudut Kemiringan, $\alpha$ (°)	Suhu (°C)				
	P7	P8		T.1	T.k	T.u	T.tb	T.p
10:00	1	3	24	42	53	61	57	15
10:30	1	3	24	43	57	62	58	11
11:00	1	3	24	42	58	64	62	11
11:30	1	3	24	46	61	71	66	11,5
12:00	1	3	24	44	58	64,5	60	12
12:30	1	3	24	46	62	67	65	14

Waktu	Tekanan (bar)		Sudut Kemiringan, $\alpha$ (°)	Suhu (°C)				
	P7	P8		T.l	T.k	T.u	T.tb	T.p
13:00	1	3	24	45	59	66	66	14
13:30	1	3	24	45	58	65,5	65,5	15
14:00	1	3	24	44	57	63	63	18
14:30	1	3	24	42	54	61	62	18
15:00	1	3	24	43	53	59	60	18
15:30	1	3	24	39	48	54	54	18
16:00	1	3	24	38	43	49,5	49,5	19

**Percobaan:****XI**

Tanggal: 13/07/14

Jumlah hari :		152		<i> Tubes</i>	3/4 penuh			
Input Air payau :		705 mL		<i> Improve</i>	Es batu 7 kg			
Output Air produk:		10 mL						
Waktu	Tekanan (bar)		Sudut Kemiringan, $\alpha$ (°)	Suhu (°C)				
	P7	P8		T.l	T.k	T.u	T.tb	T.p
10:00	1	3	24	33	36	39	36	13
10:30	1	3	24	33	35	37	36	11
11:00	1	3	24	32	34,5	37	36	7
11:30	1	3	24	32,5	35	37	37	7
12:00	1	3	24	33	36	38	38	6
12:30	1	3	24	34	35	38	38	6
13:00	1	3	24	38	45	45	43	6,5
13:30	1	3	24	41	49	50,5	48	7
14:00	1	3	24	36,5	44	51	51	7
14:30	1	3	24	36,5	40	46	46	7
15:00	1	3	24	34	37	41,5	43	7
15:30	1	3	24	35	36	40	40,5	7
16:00	1	3	24	33	36	41	41	7

**Percobaan:****XII**

Tanggal: 15/07/14

Jumlah hari :		152		<i>Tubes</i>				
Input Air payau :		298 mL		<i>Improve</i>		Es batu 4 kg		
Output Air produk:		10 mL				2nd stage		
Waktu	Tekanan (bar)		Sudut Kemiringan, $\alpha$ (°)	Suhu (°C)				
	P9	P10		T.l	T.k	T.u	T.tb	T.p
10:00	1	0,3	24	38	60	63	68	17
10:30	1	0,3	24	38	58	62	57	17
11:00	1	0,3	24	40	57	64	60	14
11:30	1	0,3	24	41	58	66	61	12
12:00	1	0,3	24	38	54	58	55	11
12:30	1	0,3	24	35	48	42	42	11
13:00	1	0,3	24	38	47	47	45	11
13:30	1	0,3	24	40	46	48	47	12
14:00	1	0,3	24	38	45	48	48	12
14:30	1	0,3	24	38	45	47	47	13
15:00	1	0,3	24	36	42	47	47	14
15:30	1	0,3	24	35	42	46	46	15
16:00	1	0,3	24	33	36	44	44	16

## 4. Data Hasil Uji Kandungan Air Payau



### JURUSAN TEKNIK KIMIA FTI - ITS TEAM AFILIASI DAN KONSULTASI INDUSTRI

KAMPUS ITS, SUKOLILO - SURABAYA, TELP. (031) 5922935 FAX. (031) 5999282

#### KETERANGAN HASIL ANALISA

No. 71/LTAK/IX/2013

Terima dari : **Sdr. Nadia Handayani**  
Mhs. System Perkapalan ITS  
Surabaya  
Jenis contoh : Air  
Kode contoh : Chemical analysis  
Diterima tgl. : 16 September 2013

Parameter	Satuan	Hasil analisa	Metode analisa
NaCl	mg/l	235,31	Flamephotometri
Ca	mg/l	12,40	Titrimetri
Mg	mg/l	4,56	Titrimetri
SO <sub>4</sub>	mg/l	24,93	Spektrophotometri
Konduktivitas	µmhos/cm	1500	Konduktimetri
pH	-	7,56	pHmetri

Keterangan :

➤ Hasil analisa tersebut diatas berdasarkan contoh yang kami terima.

Surabaya, 23 September 2013



**Prof. Dr. Ir. Achmad Roesvadi, DEA**  
Kepala Laboratorium TAKI

## 5. Data Hasil Uji Kandungan Air Desalinasi



**JURUSAN TEKNIK KIMIA FTI - ITS**

**TEAM AFILIASI DAN KONSULTASI INDUSTRI**

KAMPUS ITS, SUKOLILO - SURABAYA, TELP. (031) 5922935 FAX. (031) 5999282

### KETERANGAN HASIL ANALISA

No.60/LTAKI/VII/2014

Terima dari : **Sdr. Khilmi**  
Mhs. System Perkapalan -ITS  
Surabaya  
Jenis contoh : Air destilation  
U.analisa : pH, NaCl  
Diterima tgl. : 14 Juli 2014

Parameter	Satuan	Hasil analisa	Methoda analisa
pH	-	8,22	-
NaCl	Mg/l	95	Flamephotometri

Keterangan :

- ♦ Hasil analisa tersebut diatas berdasarkan contoh yang kami terima.



## 6. Dokumentasi







