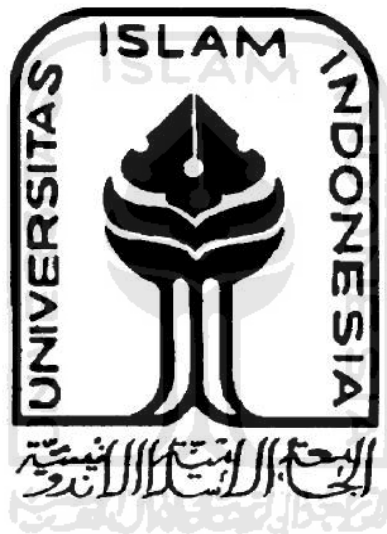


**PEMBUATAN ALAT DAN ANALISIS PENURUNAN SUHU  
AIR YANG DIDAPAT DARI VARIASI BENTUK *FILLER* PADA  
PROSES PENDINGINAN *COOLING TOWER***

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk  
Memenuhi Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Strata Satu Teknik  
Mesin**



**Disusun Oleh :**

**Nama : Sulistyanto Sulaiman**

**No. Mahasiswa : 05525018**

**NIRM : 2005050110**

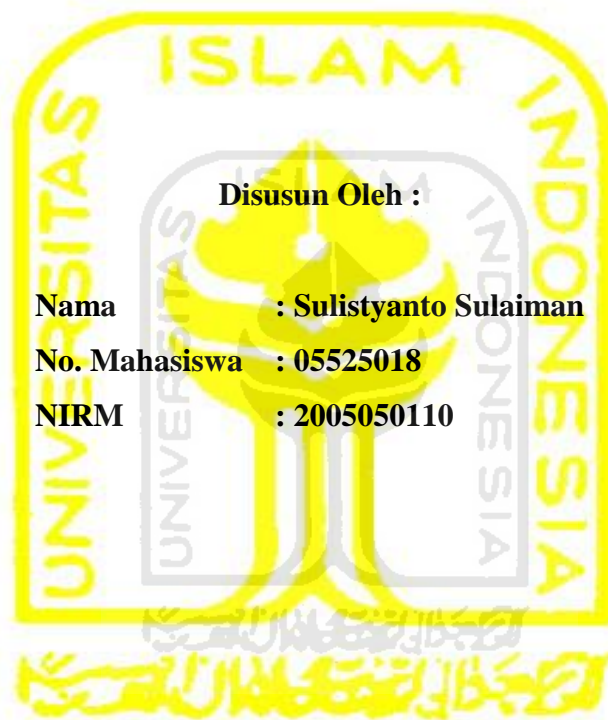
**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA**

**2012**

**LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING**

**PEMBUATAN ALAT DAN ANALISIS PENURUNAN SUHU  
AIR YANG DIDAPAT DARI VARIASI BENTUK *FILLER* PADA  
PROSES PENDINGINAN *COOLING TOWER***

**TUGAS AKHIR**



**Disusun Oleh :**

**Nama : Sulistyanto Sulaiman**

**No. Mahasiswa : 05525018**

**NIRM : 2005050110**

Yogyakarta, April 2012

Menyetujui :

Dosen Pembimbing

**Agung Nugroho Adi, ST.,MT.**

**LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI**

**PEMBUATAN ALAT DAN ANALISIS PENURUNAN SUHU AIR  
YANG DIDAPAT DARI VARIASI BENTUK *FILLER* PADA  
PROSES PENDINGINAN *COOLING TOWER***

**TUGAS AKHIR**

**Disusun Oleh :**

**Nama : Sulistyanto Sulaiman**

**No. Mahasiswa : 05525018**

**NIRM : 2005050110**

**Tim Penguji**

**Agung Nugroho Adi, ST.,MT.**

Ketua

Tanggal : 01/05/2012

**Risdiyono, ST., M.Eng.**

Anggota I

Tanggal : 01/05/2012

**Mohammad Faizun, ST., M.Eng.**

Anggota II

Tanggal : 30/04/12

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin



**Agung Nugroho Adi, ST.,MT.**



*Sebuah kebangga yang terlambat...  
Untuk yang membanggakan dan dibanggakan  
Alm. Ayahanda Sulaiman Sukimin (22-Mei-1940 s/d 2-Juli-2011)  
Ibunda Noer Seha Sulaiman  
Kakak-kakakku tersayang  
Seseorang yang dicinta  
Teman, sahabat serta saudara seperjuangan  
Terimakasih atas kesabaran, dukungan dan cintanya selama ini*

## MOTTO

*“Orang-orang yang kurang akalnya diantara manusia akan berkata: “Apakah yang memalingkan mereka dari kiblatnya yang dahulu mereka telah berkiblat kepadanya?”  
Katakanlah: “Kepunyaan Allah-lah timur dan barat; Dia member petunjuk kepada siapa yang dikehendaki-Nya kejalan yang lurus”  
(Q.S. Al-Baqarah 142)*

*“Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila kamu telah selesai (dari sesuatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh urusan yang lain, dan hanya kepada Tuhanlah hendaknya kamu berharap”  
(Q.S. Alam Nasyrah, 6-8)*

*“Keinginan untuk mencari tahu adalah sesuatu kewajiban bagi setiap umat muslim”  
Muhammad SAW*

*“Kaum muda, yang diperlukan adalah orang-orang yang mampu memimpikan sesuatu yang tak pernah diimpikan siapapun”  
John F Kennedy*

*“Tak akan pernah ada sebuah langkah besar yang dapat dicapai tanpa adanya langkah-langkah kecil yang diawali niat yang teguh serta ridha-Nya melalui orang-orang yang menyangi kita”  
Sulistyanto Sulaiman*

## KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

**Assalamu'alaikum Wr.Wb.**

Alhamdulillah rabbil 'alamin. Puji dan syukur dihaturkan kehadirat Allah SWT atas karunia-Nya hingga dapat terselesaikannya laporan tugas akhir ini.

Sesuai dengan kurikulum dan persyaratan akademis, untuk menempuh derajat Sarjana Teknik Mesin program strata satu (S-1) di Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, maka setiap mahasiswa diwajibkan melaksanakan tugas akhir sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana strata satu (S-1).

Selama melaksanakan penelitian tugas akhir dan penyusunan laporan, telah banyak didapatkan bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, untuk itu dalam kesempatan ini disampaikan terimakasih kepada :

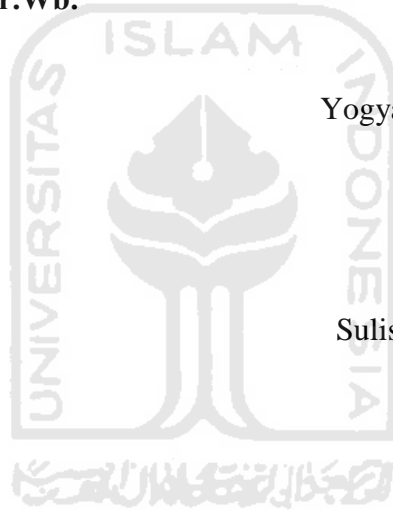
1. Agung Nugroho Adi ,ST,.MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Dan selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, terimakasih atas bimbingan, nasehat dan dukungan yang diberikan dalam penyusunan tugas akhir ini.
2. Muhammad Ridlwan, ST,.MT. selaku Sekertaris Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Terimakasih atas saran, masukan dan nasihat yang membangun untuk penyempurnaan tugas akhir ini.
3. Segenap staf dan karyawan Laboratorium Mekatronika dan Proses Produksi Jurusan Teknik Mesin FTI UII.
4. Segenap staf dan karyawan Administrasi Teknik Jurusan Teknik Mesin FTI UII yang telah membantu demi kelancaran dan kesuksesan penyelesaian tugas akhir.
5. Sahabat-sahabat seperjuangan dan yang sama-sama sebagai penunggu lab PP, *Composite team* (Roni Eko P, Pungka T, Rafiq S, Yustha D), dan masih banyak lagi sahabat-sahabat yang belum tersebutkan, terimakasih

atas bantuannya selama proses penelitian berlangsung, berkat sahabat-sahabat juga lah penelitian tugas akhir ini selesai.

6. Semua Pihak yang menunjang kesuksesan, kelancaran dan kesempurnaan tugas akhir yang belum disebutkan, terimakasih atas bantuannya selama ini.

Laporan tugas akhir ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, diharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun demi perbaikan laporan tugas akhir ini, semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak yang membutuhkan.

**Wassalaamu'alaikum Wr.Wb.**



Yogyakarta, April 2012

Sulistyanto Sulaiman

05 525 018

## ABSTRAK

Pada proses pendinginan atau sistem pengkondisian udara, suatu menara pendingin memiliki peranan penting dalam proses pendinginan. Dalam proses tersebut, ada beberapa faktor yang mempengaruhi penurunan suhu air keluar dari *cooling tower*. Temperatur udara dan kelembaban relatif adalah beberapa faktor yang mempengaruhi penurunan suhu air yang dihasilkan oleh *cooling tower*. Penelitian ini dilakukan untuk membandingkan efektivitas antara model *splash filler* dengan model *crossflow splash filler*. Peralatan uji yang digunakan adalah *thermometer*, *thermohygrometer*, *anemometer*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa model *crossflow splash filler* memiliki hasil lebih baik dibanding model *splash filler*. Temperatur air ( $T_2$ ) antara kedua model semakin besar seiring penurunan debit air masukan.

**Kata kunci** : *cooling tower*, *splash filler*, *crossflow splash filler*, temperatur udara, kelembaban relatif, *thermometer*, *thermohygrometer*, *anemometer*, temperatur air.

## ABSTRACT

*In the cooling process or air conditioning system, a cooling tower has an important role in a cooling process. In that process, there are several factors that affect the drop in temperature of the water coming out of the cooling tower. Air temperature and relative humidity are some of the factors affecting the decrease in temperature of water produced by cooling tower. This research was conducted to compare the effectiveness between crossflow splash filler and splash filler. The test equipment used is thermometer, thermohygrometer, the anemometer. The test results showed that the results of crossflow splash filler model is better than splash filler model. The temperature of exit water ( $T_2$ ) between the two models is getting bigger as the drop in the water debit entries.*

**Keywords** : *cooling tower*, *splash filler*, *crossflow splash filler*, air temperature, relative humidity, *thermometer*, *thermohygrometer*, *anemometer*, water temperature.



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
MOTTO .....	iv
PERSEMBAHAN .....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
ABSTRAK/ <i>ABSTRACT</i> .....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR NOTASI .....	vii
DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	1
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Tugas Akhir .....	2
1.5 Manfaat Tugas Akhir .....	2
1.6 Sistematika Penulisan .....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	4
2.1 <i>Cooling Tower</i> .....	4
2.1.1 Pengertian <i>Cooling Tower</i> .....	4
2.1.2 Fungsi <i>Cooling Tower</i> .....	4
2.1.3 Prinsip Kerja <i>Cooling Tower</i> .....	4
2.2 Klasifikasi <i>Cooling Tower</i> .....	6
2.2.1 Menara Pendingin Basah ( <i>Wet Cooling Tower</i> ) .....	7
2.2.2 Menara Pendingin Kering ( <i>Dry Cooling Tower</i> ) .....	11
2.2.3 Menara Pendingin Basah Kering .....	

	( <i>Wet-Dry Cooling Tower</i> ) .....	14
2.3	Konstruksi <i>Cooling Tower</i> .....	15
2.4	Jenis Bahan Pengisi ( <i>Filler</i> ) .....	17
	2.4.1 Bahan Pengisi Jenis Percikan ( <i>Splash Fill</i> ) .....	17
	2.4.2 Bahan Pengisi Jenis Lembaran ( <i>Film Fill</i> ) .....	18
	2.4.3 Bahan Pengisi Jenis Sumbatan Rendah ( <i>Low-clog Film Fill</i> ) .....	19
2.5	Parameter <i>Cooling Tower</i> .....	19
2.6	Prestasi <i>Cooling Tower</i> .....	20
	2.6.1 Diagram Psikrometrik .....	23
 BAB III METODE PENELITIAN .....		26
3.1	Alur Penelitian .....	26
3.3	Alat dan Bahan .....	27
	3.2.1 Alat .....	27
	3.2.2 Bahan .....	28
3.3	Diagram Sistem <i>Cooling Tower</i> .....	28
3.4	Pembuatan Desain Alat .....	30
3.5	Pembuatan Kerangka Dasar <i>Cooling Tower</i> .....	30
3.6	Pembuatan Variasi Bentuk <i>Filler</i> .....	31
3.7	Perbaikan dan Penambahan Komponen .....	34
3.8	Panel Kendali .....	34
3.9	Pemercik Air .....	36
3.10	Sensor Ketinggian Air .....	37
3.11	Konsep Uji Coba .....	38
3.12	Langkah-langkah Uji Coba .....	39
3.13	Analisis Keseimbangan Energi .....	40
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....		41
4.1	Hasil Perancangan .....	41
	4.1.1 Desain Kerangka Dasar Mesin <i>Cooling Tower</i> .....	41
	4.1.2 Pembuatan Kerangka Dasar Mesin <i>Cooling Tower</i> .....	41
	4.1.3 Pembuatan Plat <i>Filler</i> .....	43

4.1.4	Pengaturan Debit Air Masuk <i>Cooling Tower</i> .....	46
4.1.5	Penempatan Bak Penampung ( <i>Basin</i> ) .....	46
4.2	Hasil Percobaan .....	47
4.2.1	Percobaan Filler Model <i>Splash</i> .....	47
4.2.2	Percobaan Filler Model Kombinasi <i>Splash dan Crossflow</i> .....	48
4.2.3	Perbandingan Antara <i>Splash Filler dan Crossflow Splash Filler</i> .....	49
4.3	Perhitungan Laju Aliran Massa .....	52
4.3.1	Perhitungan Laju Aliran Massa Udara .....	52
4.3.2	Perhitungan Laju Aliran Massa Air .....	53
4.3	Perhitungan Kelembaban Absolut ( $w$ ), Entalpi Uap Air di Udara ( $h_g$ ), Dan Kalor Spesifik ( $C_p$ ) Untuk Data Udara .....	54
4.4.1	Perhitungan Kelembaban Absolut ( $w$ ) .....	54
4.4.2	Perhitungan Entalpi ( $h_g$ ) .....	54
4.4.3	Perhitungan Kalor Spesifik ( $C_p$ ) .....	55
4.5	Perhitungan Persamaan Kestimbangan Energi .....	56
4.6	Analisis Pengujian .....	58
BAB V PENUTUP .....		59
5.1	Kesimpulan .....	59
5.2	Saran .....	60
DAFTAR PUSTAKA .....		61
LAMPIRAN .....		62

## DAFTAR NOTASI

$A_I$	: Luas penampang motor pada cerobong cooling tower, $m^2$
$A_{II}$	: Luas penampang cerobong keseluruhan, $m^2$
$A_3$	: Luas penampang masukkan udara ke cooling tower, $m^2$
$A_4$	: Luas penampang keluaran udara dari cooling tower, $m^2$
$C_{p1}$	: Spesifik kalor air masuk cooling tower, $KJ/Kg^{\circ}C$
$C_{p2}$	: Spesifik kalor air keluar cooling tower, $KJ/Kg^{\circ}C$
$C_{p3}$	: Spesifik kalor udara masuk cooling tower, $KJ/Kg^{\circ}C$
$C_{p4}$	: Spesifik kalor udara keluar cooling tower, $KJ/Kg^{\circ}C$
$hg_3$	: entalpi uap air pada udara masuk cooling tower, $KJ/Kg$
$hg_4$	: entalpi uap air pada udara keluar cooling tower, $KJ/Kg$
$\dot{m}_1$	: laju aliran massa air masuk cooling tower, $Kg/s$
$\dot{m}_2$	: laju aliran massa air keluar cooling tower, $Kg/s$
$\dot{m}_3$	: laju aliran massa udara masuk cooling tower, $Kg/s$
$\dot{m}_4$	: laju aliran massa udara keluar cooling tower, $Kg/s$
$Q_{air}$	: Debit air, $m^3/s$
$Q_{in}$	: Energi masuk cooling tower, $KJ/s$
$Q_{out}$	: Energi keluar cooling tower, $KJ/s$
$T_1$	: Temperatur air masuk cooling tower, $^{\circ}C$
$T_2$	: Temperatur air keluar cooling tower, $^{\circ}C$
$T_3$	: Temperatur udara masuk cooling tower, $^{\circ}C$
$T_4$	: Temperatur udara keluar cooling tower, $^{\circ}C$
$T_{reff}$	: Temperatur referensi, $^{\circ}C$
$v_3$	: Kecepatan udara masuk cooling tower, $m/s$
$v_4$	: Kecepatan udara keluar cooling tower, $m/s$
$w_3$	: kelembaban absolut udara masuk cooling tower, $Kg\ air/ kg\ udara\ kering$
$w_4$	: kelembaban absolut udara keluar cooling tower, $Kg\ air/ kg\ udara\ kering$
$\rho_{air}$	: massa jenis air, $kg/m^3$
$\rho_{udara}$	: massa jenis udara, $kg/m^3$

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Data udara dalam keadaan <i>steady</i> percobaan <i>filler</i> model <i>splash</i>	48
Tabel 4.2	Data percobaan <i>filler</i> model <i>splash</i> .....	48
Tabel 4.3	Data udara percobaan <i>filler</i> model kombinasi <i>splash</i> dan <i>crossflow</i>	49
Tabel 4.4	Data air percobaan <i>filler</i> model kombinasi <i>splash</i> dan <i>crossflow</i>	50
Tabel 4.5	Kelembaban absolut, entalpi uap air di udara masuk, dan kalor spesifik .....	55
Tabel 4.6	Hasil perhitungan kesetimbangan energi dan suhu air keluar teoritis	57



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Skema <i>cooling tower</i> .....	5
Gambar 2.2	<i>Range</i> dan <i>approach</i> temperatur pada <i>cooling tower</i> .....	6
Gambar 2.3	Menara pendingin aliran angin alami aliran lawan arah ( <i>Natural-Draft Counterflow Cooling Tower</i> ) .....	7
Gambar 2.4	Menara pendingin aliran angin alami aliran silang ( <i>Natural-Draft Crossflow Cooling Tower</i> ) .....	8
Gambar 2.5	Menara pendingin aliran angin mekanik .....	9
Gambar 2.6	<i>Induced draft cooling tower</i> dengan aliran berlawanan .....	10
Gambar 2.7	<i>Induced draft cooling tower</i> dengan aliran melintang .....	10
Gambar 2.8	Menara pendingin aliran angin gabungan ( <i>combined draft cooling tower</i> ) .....	11
Gambar 2.9	Menara pendingin kering langsung ( <i>direct dry-cooling tower</i> ) ..	12
Gambar 2.10	Skematik instalasi menara pendingin kering tak langsung ( <i>indirect dry-cooling tower</i> ) dengan kondensor permukaan konvensional .....	13
Gambar 2.11	Skematik instalasi menara pendingin kering tak langsung ( <i>indirect dry cooling tower</i> ) dengan sirkulasi bahan pendingin 2 fase ....	14
Gambar 2.12	Menara pendingin basah-kering ( <i>wet-dry cooling tower</i> ) .....	15
Gambar 2.13	Konstruksi <i>cooling tower</i> .....	15
Gambar 2.14	<i>Splash Fill</i> .....	18
Gambar 2.15	<i>Film Fill</i> .....	18
Gambar 2.16	<i>Low-clog Film Fill</i> .....	19
Gambar 2.17	Penampang cerobong udara <i>cooling tower</i> .....	21
Gambar 2.18	Diagram menara pendingin .....	22
Gambar 2.19	Diagram Psikrometrik .....	24
Gambar 3.1	Diagram alir .....	26
Gambar 3.2	<i>Anemometer</i> Lutron AM-4200 .....	27
Gambar 3.3	<i>Thermohygrometer</i> Dekko 642 .....	27
Gambar 3.4	Diagram Sistem <i>Cooling Tower</i> .....	28
Gambar 3.5	Desain 3D kerangka dasar <i>cooling tower</i> .....	30
Gambar 3.6	Proses pembuatan kerangka dasar .....	30

Gambar 3.7	Pembentukan pola pada seng lembaran .....	31
Gambar 3.8	Proses pemotongan plat <i>filler</i> .....	31
Gambar 3.9	Alat bantu pada proses pelubangan plat <i>filler filler</i> .....	32
Gambar 3.10	Proses penekukan plat <i>filler</i> .....	32
Gambar 3.11	<i>Filler</i> model <i>splash</i> .....	33
Gambar 3.12	<i>Filler</i> model kombinasi <i>splash</i> dan <i>crossflow</i> .....	34
Gambar 3.13	Panel Kendali .....	35
Gambar 3.14	Rangkaian kelistrikan <i>cooling tower</i> .....	35
Gambar 3.15	Pemercik air .....	36
Gambar 3.16	Proses pengujian komponen pemercik air .....	36
Gambar 3.17	Sensor ketinggian air .....	37
Gambar 3.18	Rangkaian sensor ketinggian air .....	37
Gambar 3.19	Arah aliran <i>cooling tower</i> .....	38
Gambar 3.20	Diagram Psikrometrik .....	39
Gambar 4.1	Kerangka Awal .....	42
Gambar 4.2	Kerangka Perbaikan Pertama .....	42
Gambar 4.3	Kerangka Perbaikan Kedua .....	43
Gambar 4.4	Kerangka dasar <i>cooling tower</i> yang digunakan .....	43
Gambar 4.5	Hasil percobaan pertama .....	44
Gambar 4.6	Bingkai persegi .....	44
Gambar 4.7	Hasil percobaan kedua .....	45
Gambar 4.8	Alat bantu penjepit dan bingkai .....	45
Gambar 4.9	Hasil percobaan ketiga .....	45
Gambar 4.10	Rangkaian pipa pendistributor dan pengatur debit air masuk <i>cooling tower</i> .....	46
Gambar 4.11	Rancangan pertama posisi bak penampung .....	46
Gambar 4.12	Rancangan kedua posisi bak penampung .....	47
Gambar 4.13	Diagram Psikrometrik untuk debit air 0,302 ltr/s .....	50
Gambar 4.14	Diagram Psikrometrik untuk debit air 0,270 ltr/s .....	50
Gambar 4.15	Diagram Psikrometrik untuk debit air 0,118 ltr/s .....	51
Gambar 4.16	Penampang masukan udara ke <i>cooling tower</i> .....	52
Gambar 4.17	Penampang cerobong udara <i>cooling tower</i> .....	52

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Energi tidak dapat diciptakan maupun dimusnahkan tapi hanya dapat diubah bentuknya dari suatu bentuk ke bentuk yang lain atau dapat dipindahkan dari suatu tempat ketempat yang lain. Salah satu bentuk dari energi adalah panas. Dalam suatu proses, panas dapat menyebabkan kenaikan suhu suatu zat, dan kenaikan tekanan.

Dalam dunia industri, perpindahan panas merupakan proses yang sering dilakukan. *Cooling tower* merupakan alat pendukung yang memiliki peranan penting dalam usaha penghematan energi dalam dunia industri. Jika suatu *cooling tower* memiliki efisiensi yang cukup tinggi, maka penggunaan air baru sebagai *fluida* pendingin bisa ditekan seminimal mungkin, sehingga biaya penyediaan air suatu pabrik bisa diminimalisir dibandingkan dengan penggunaan air baru. Contoh penggunaan *cooling tower* terdapat pada pendingin mesin-mesin produksi, pendingin reaktor nuklir, dan pendingin ruangan.

Secara umum ada dua jenis *cooling tower* berdasarkan arah aliran udara terhadap arah aliran airnya yang banyak dipakai, yaitu:

1. *Cross flow* (aliran silang) *cooling tower*.
2. *Counter flow* (aliran berlawanan arah) *cooling tower*.

*Cooling tower* merupakan suatu alat pendingin udara yang digunakan dalam proses penukaran panas atau kalor dari kalor fluida yang panas ke kalor fluida yang dingin.

### 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka timbul permasalahan bagaimana merancang dan membuat suatu *cooling tower* yang dapat memiliki efisiensi yang baik dan dapat digunakan sebagai media pembelajaran mahasiswa di laboratorium.



### 1.3 Batasan Masalah

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

1. Perancangan dan pembuatan desain *cooling tower* menggunakan *software AutoCAD*.
2. Sistem penggerak pada alat ini menggunakan motor AC.
3. *Cooling tower* berada di lingkungan semi terbuka.
4. *Cooling tower* yang digunakan adalah jenis *induced draft crossflow cooling tower* (aliran silang paksa).
5. Jenis *filler* yang digunakan adalah tipe *splash filler* dan *filler* kombinasi (*crossflow splash*)

### 1.4. Tujuan Tugas Akhir

Penelitian ini bertujuan untuk membuat mesin *cooling tower* sederhana dan dapat menentukan prestasi dari mesin *cooling tower* tersebut berdasarkan variasi bentuk *filler* yang digunakan.

### 1.5. Manfaat Tugas Akhir

Merupakan penjelasan mengenai manfaat penelitian yang akan diperoleh jika tujuan penelitian dapat dicapai :

1. Dapat menerapkan ilmu yang di dapat di bangku kuliah dalam dunia kerja sehingga bersifat aplikatif.
2. Efisiensi penggunaan air yang berdampak pada penghematan biaya oprasional.
3. Mengetahui kinerja suatu *cooling tower* berdasarkan hasil data yang dikumpulkan.
4. Membantu mahasiswa mengerti dengan cara kerja dari *cooling tower* dengan langsung mengoperasikan alat ini.

## **1.6. Sistematika Penulisan**

Penulisan tugas akhir ini ditulis bab demi bab yang disusun secara berurutan untuk mempermudah pembahasan. Dalam penulisan tugas akhir ini dibagi menjadi empat pokok bahasan. Bab I berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian dan manfaat penelitian. Bab II memberikan gambaran-gambaran dasar-dasar teori yang digunakan sebagai acuan dalam pelaksanaan penelitian dan pemecahan masalah yang dihadapi. Metode penelitian yang dilakukan dalam Bab III. Bab IV dilakukan dengan pengolahan data dan pembahasan berdasarkan data yang didapatkan dari percobaan penelitian yang telah dilakukan. Sedangkan bab V berisi tentang kesimpulan dari pembahasan dan saran untuk proses penelitian selanjutnya.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 *Cooling Tower***

##### **2.2.1 Pengertian *cooling tower***

Menurut El. Walkil (1992), menara pendingin didefinisikan sebagai alat penukar kalor yang fluida kerjanya adalah air dan udara yang berfungsi mendinginkan air dengan kontak langsung dengan udara yang mengakibatkan sebagian kecil air menguap. Dalam kebanyakan menara pendingin yang bekerja pada sistem pendinginan udara menggunakan pompa sentrifugal untuk menggerakkan air vertikal ke atas melintasi menara.

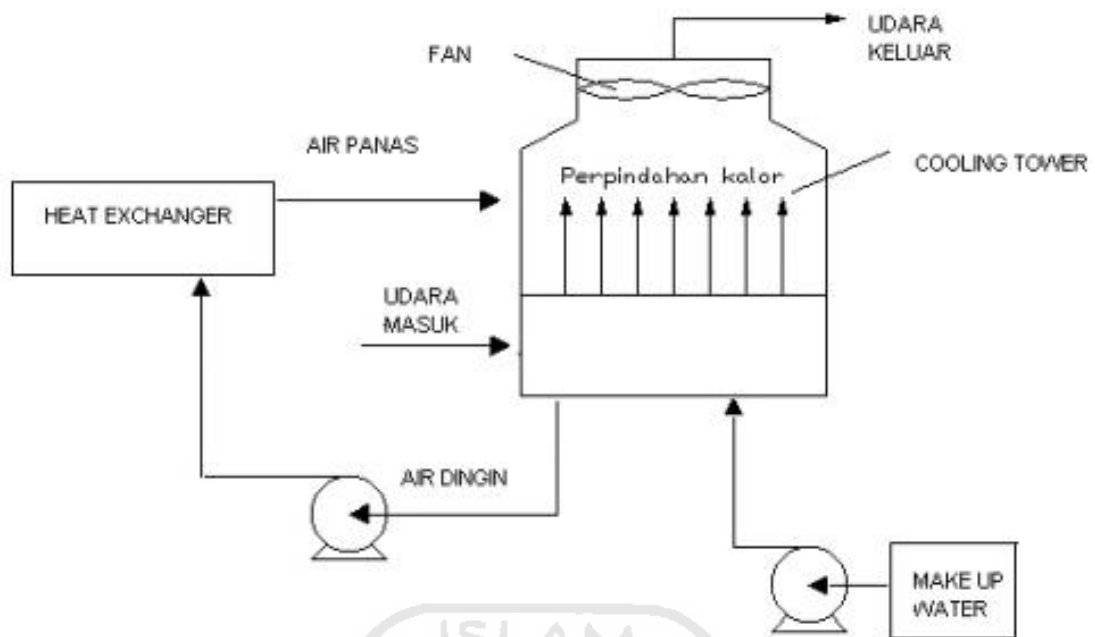
##### **2.2.2 Fungsi *cooling tower***

*Cooling tower* secara garis besar berfungsi untuk menyerap kalor dari air yang memiliki suhu tinggi dan menyediakan sejumlah air yang relatif sejuk (dingin) untuk dipergunakan kembali. Dengan kata lain *cooling tower* berfungsi untuk menurunkan suhu aliran air dengan cara mengekstraksi panas dari air dan mengemisikannya ke atmosfer.

*Cooling tower* mampu menurunkan suhu air lebih rendah dibandingkan dengan peralatan-peralatan yang hanya menggunakan udara untuk membuang panas, seperti radiator dalam mobil, karena penurunan suhu yang terjadi pada *cooling tower* adalah kontak langsung antara air yang memiliki suhu tinggi dengan udara yang memiliki suhu lebih rendah. Sehingga biaya dengan menggunakan *cooling tower* efektif dan efisien energinya.

##### **2.2.3 Prinsip kerja *cooling tower***

Dalam *cooling tower*, perpindahan kalor berlangsung dari air ke udara. *Cooling tower* menggunakan penguapan dimana sebagian air diuapkan ke aliran udara yang bergerak dan kemudian dibuang ke atmosfer.



Gambar 2.1 Skema *cooling tower*

Prinsip kerja *cooling tower* dapat dilihat pada gambar 2.1. Air dari bak/basin dipompa menuju *heater* untuk dipanaskan dan dialirkan ke *cooling tower*. Air panas yang keluar tersebut secara langsung melakukan kontak dengan udara sekitar yang bergerak secara paksa karena pengaruh *fan* atau *blower* yang terpasang pada bagian atas *cooling tower*, lalu mengalir jatuh ke bahan pengisi. Proses penguapan membutuhkan kalor yang besar, beberapa molekul air akan menyerap kalor dari molekul air lainnya hingga kebutuhan kalor yang dibutuhkan untuk proses penguapan tercapai. Maka air yang kalornya diserap itulah yang menjadi air yang didinginkan.

Sistem ini sangat efektif dalam proses pendinginan air karena suhu kondensasinya sangat rendah mendekati suhu *wet-bulb* udara. Air yang sudah mengalami penurunan suhu ditampung ke dalam bak/basin. Pada *cooling tower* juga dipasang katup *make up water* untuk menambah kapasitas air pendingin jika terjadi kehilangan air ketika proses *evaporative cooling* tersebut sedang berlangsung.

Prestasi *cooling tower* biasanya dinyatakan dalam *range* dan *approach* seperti yang terlihat pada gambar 2.2 berikut.



Gambar 2.2 *Range* dan *approach* temperatur pada *cooling tower*

*Range* adalah perbedaan suhu antara tingkat suhu air masuk *cooling tower* dengan tingkat suhu air yang keluar *cooling tower* atau selisih antara suhu air panas dan suhu air dingin, sedangkan *approach* adalah perbedaan antara temperatur air keluar menara pendingin dengan temperatur bola basah udara yang masuk atau selisih antara suhu air dingin dan temperatur bola basah (*wet bulb*) dari udara atmosfer.

Pada kelembaban tinggi, penguapan akan berlangsung lambat dan temperatur bola basah ( $T_{wb}$ ) identik dengan temperatur bola kering ( $T_{db}$ ). Namun pada kelembaban rendah sebagian air akan menguap, sehingga temperatur bola basah akan semakin jauh perbedaannya dengan temperatur bola kering.

## 2.2 Klasifikasi *Cooling tower*

Ada banyak jenis klasifikasi *cooling tower*, namun pada umumnya pengklasifikasian dilakukan berdasarkan sirkulasi air yang terdapat di dalamnya. Menurut J.R. Singham *cooling tower* dapat diklasifikasikan atas tiga bagian, yaitu:

1. Menara pendingin basah (*wet cooling tower*)
2. Menara pendingin kering (*dry cooling tower*)
3. Menara pendingin basah-kering (*wet-dry cooling tower*)

### 2.2.1 Menara Pendingin Basah (*Wet Cooling Tower*)

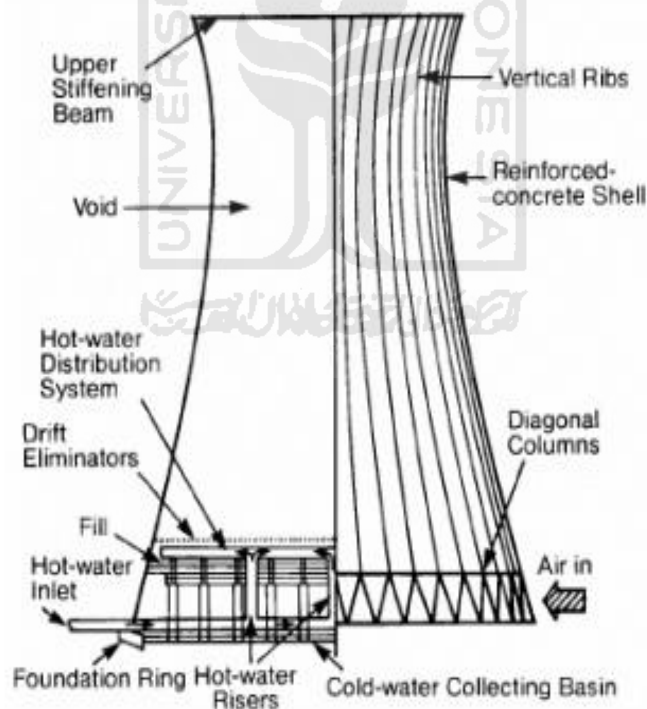
Menara pendingin basah (*wet cooling tower*) mempunyai sistem distribusi air panas yang disemprotkan secara merata ke kisi-kisi, lubang-lubang atau batang-batang horizontal pada sisi *cooling tower* yang disebut *filler*. Udara masuk dari luar menara melalui kisi-kisi yang berbentuk celah-celah horizontal yang terpancang pada sisi *cooling tower*. Celah ini biasanya mengarah miring ke bawah supaya air tidak keluar.

Berdasarkan El. Wakil (1992), menara pendingin basah (*wet cooling tower*) dapat dibagi menjadi:

1. Menara Pendingin Basah Aliran Angin Alami (*Natural-Draft wet Cooling Tower*)

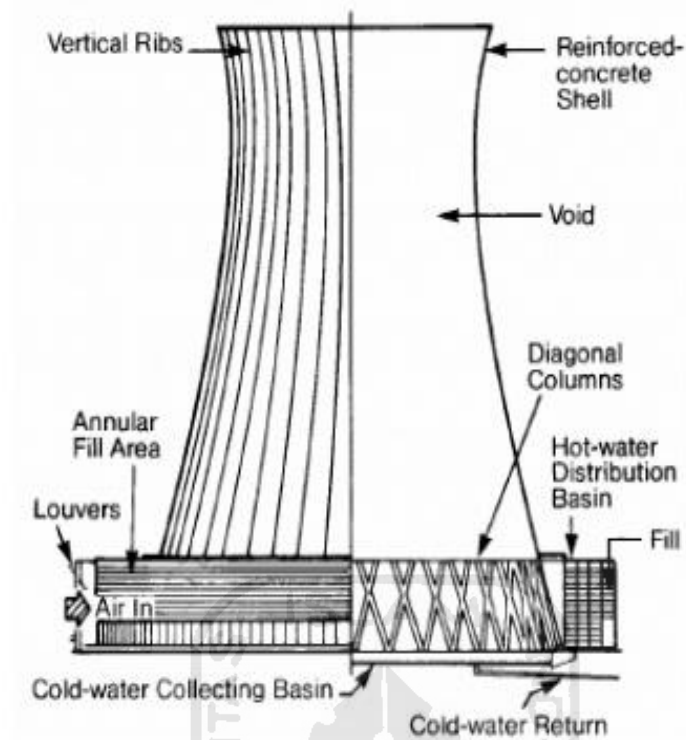
Menara pendingin aliran angin alami (*Natural-Draft Cooling Tower*) dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

- a. Menara pendingin aliran angin alami aliran lawan arah (*counterflow*)



Gambar 2.3 Menara pendingin aliran angin alami aliran lawan arah (*Natural-Draft Counterflow Cooling Tower*). (Mungan, I. And Wittek, U., 2004)

- b. Menara pendingin aliran angin alami aliran silang (*crossflow*)



Gambar 2.4 Menara pendingin aliran angin alami aliran silang (*Natural-Draft Crossflow Cooling Tower*). (Kementrian Tenaga India, 2004)

2. Menara Pendingin Aliran Angin Mekanik (*Mechanical-Draft Cooling Tower*)

Pada menara pendingin aliran angin mekanik (*mechanical-draft cooling tower*), udara mengalir karena adanya satu atau beberapa kipas (*fan*) yang digerakkan secara mekanik. Fungsi kipas disini adalah untuk mendorong udara (*forced-draft*) atau menarik udara (*induced-draft*) melalui cerobong yang dipasang pada bagian bawah atau atas *cooling tower*.

Berdasarkan fungsi kipas yang digunakan menara pendingin aliran angin mekanik dapat dibagi menjadi 2 jenis yaitu:

- a. Tipe aliran angin dorong (*forced-draft*)
- b. Tipe aliran angin tarik (*induced draft*)

Pada tipe aliran angin dorong (*forced-draft*), kipas yang dipasang pada bagian bawah, mendorong udara melalui cerobong. Jenis ini secara teoritis lebih disukai karena kipas beroperasi dengan udara yang lebih dingin, sehingga konsumsi daya menjadi lebih kecil. Pada menara pendingin aliran

tarik (*mechanical-draft cooling tower*), udara masuk dari sisi *cooling tower* melalui bukaan-bukaan yang cukup besar pada kecepatan rendah dan bergerak melalui bahan pengisi (*filling material*). Kipas dipasang pada puncak *cooling tower* dan membuang udara kalor dan lembab ke atmosfer.

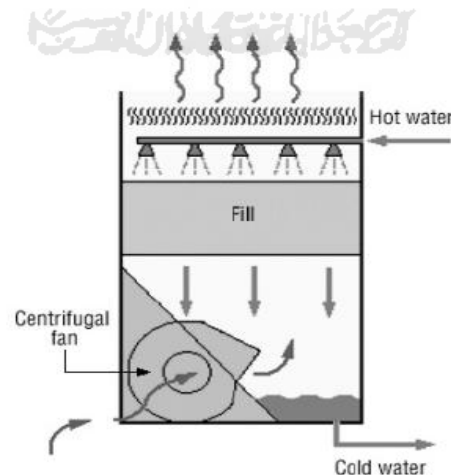
Aliran udara masuk *cooling tower* pada dasarnya horizontal, tetapi aliran di dalam bahan pengisi (*filling material*) ada yang horizontal seperti yang terdapat pada *cooling tower* aliran silang (*cross flow*) dan ada pula yang vertikal seperti *cooling tower* aliran lawan arah (*counter flow*). Aliran lawan arah lebih sering dipakai dan dipilih karena efisiensi termalnya lebih baik daripada aliran silang.

Keunggulan menara pendingin aliran angin mekanik (*mechanical-draft cooling tower*) adalah:

1. Mudah untuk di kontrol
2. Ukuran dimensinya lebih kecil.

Kelemahan menara pendingin aliran angin mekanik adalah:

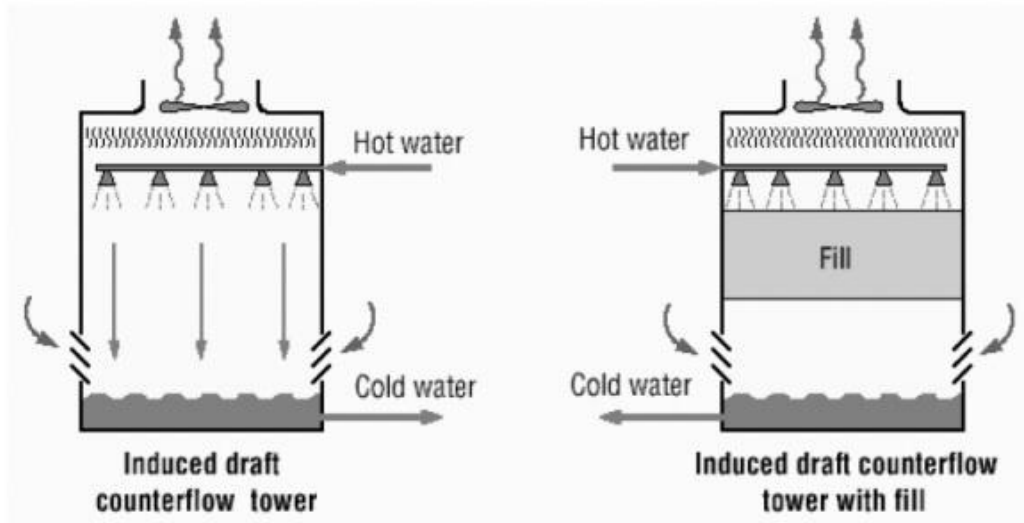
1. Kebutuhan daya yang besar.
2. Biaya operasi dan pemeliharaan yang besar.
3. Bunyinya lebih ribut.



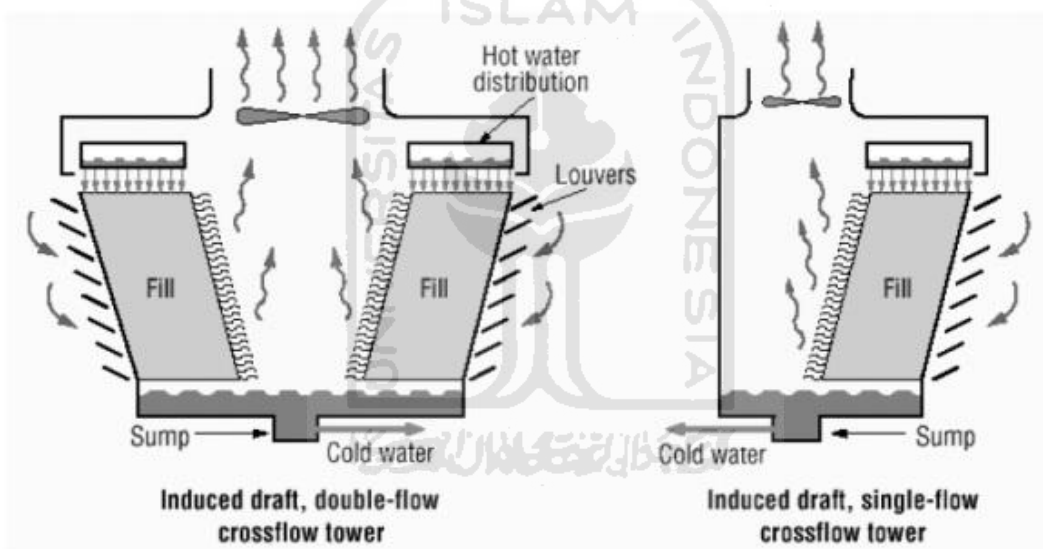
Gambar 2.5 Menara pendingin aliran angin mekanik

(*Department of Human Services' booklet Evaporative Coolers, 2008*)





Gambar 2.6 *Induced draft cooling tower* dengan aliran berlawanan  
(*Department of Human Services' booklet Evaporative Coolers, 2008*)



Gambar 2.7 *Induced draft cooling tower* dengan aliran melintang  
(*Department of Human Services' booklet Evaporative Coolers, 2008*)

3. Menara Pendingin Aliran Angin Gabungan (*Combined Draft Cooling Tower*)

Menara pendingin aliran angin (*combined draft cooling tower*) alami biasanya mempunyai ukuran yang besar dan membutuhkan lahan yang luas, tetapi dengan konsumsi daya dan biaya operasi yang kecil. Sebaliknya menara pendingin aliran angin mekanik ukurannya lebih kecil, namun membutuhkan daya yang besar. Oleh sebab itu, kedua hal tersebut digabungkan di dalam menara pendingin aliran angin gabungan (*combined*

*draft cooling tower*). Menara ini disebut juga menara pendingin hiperbola berkipas (*fan assisted hyperbolic tower*) atau hibrida (*hybrid tower*).

*Cooling tower* jenis hibrida terdiri dari cangkang beton, tetapi ukurannya lebih kecil dimana diameternya sekitar dua pertiga diameter menara aliran angin mekanik (*mechanical-draft cooling tower*). Disamping itu, terdapat sejumlah kipas listrik yang berfungsi untuk mendorong angin. *Cooling tower* ini dapat dioperasikan pada musim dingin tanpa menggunakan kipas, sehingga lebih hemat listrik.



Gambar 2.8 Menara pendingin aliran angin gabungan (*combined draft cooling tower*)

### 2.2.2 Menara Pendingin Kering (*Dry Cooling Tower*)

Menara pendingin kering (*dry cooling tower*) adalah *cooling tower* yang air sirkulasinya dialirkan di dalam tabung-tabung bersirip yang dialiri udara. Semua kalor yang dikeluarkan dari air sirkulasi diubah. Menara pendingin kering (*dry cooling tower*) dirancang untuk dioperasikan dalam ruang tertutup. Menara pendingin kering (*dry cooling tower*) mempunyai beberapa kelemahan, yaitu efisiensinya lebih rendah, sehingga mempengaruhi efisiensi siklus keseluruhan.

Ada dua jenis menara pendingin kering (*dry cooling tower*), yaitu:

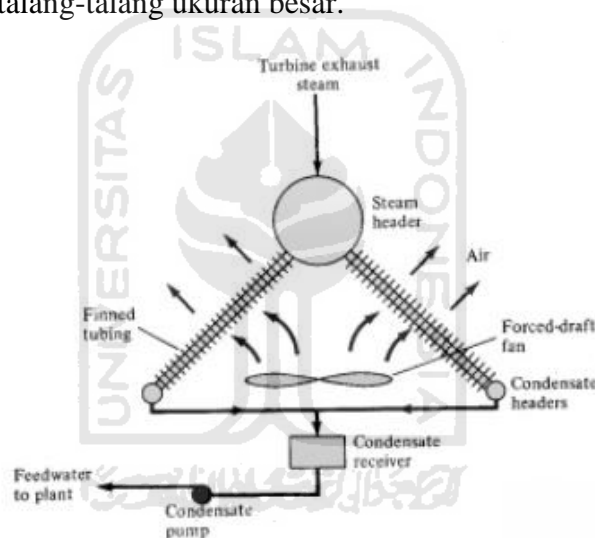
1. Menara pendingin kering langsung (*direct dry-cooling tower*)

Menara pendingin kering jenis (*direct dry-cooling tower*) langsung merupakan gabungan antara kondensor dan *cooling tower*. Uap buangan

turbin dimasukkan ke kotak uap melalui talang-talang besar supaya jatuh pada tekanan yang tidak terlalu besar dan dapat terkondensasi pada waktu mengalir ke bawah melalui sejumlah besar tabung atau kumparan bersirip. Tabung ini didinginkan dengan udara atmosfer yang mengalir di dalam atmosfer. Kondensat mengalir karena gaya gravitasi ke penampung kondensat dan dipompakan lagi ke sistem air umpan instalasi dengan bantuan pompa kondensat. Terdapat pula sistem untuk menyingkirkan gas dan mencegah pembekuan pada cuaca dingin.

Beberapa kelemahan dari menara pendingin jenis ini adalah:

- a. Hanya dapat beroperasi dengan volume besar.
- b. Memerlukan talang-talang ukuran besar.



Gambar 2.9 Menara pendingin kering langsung (*direct dry-cooling tower*)

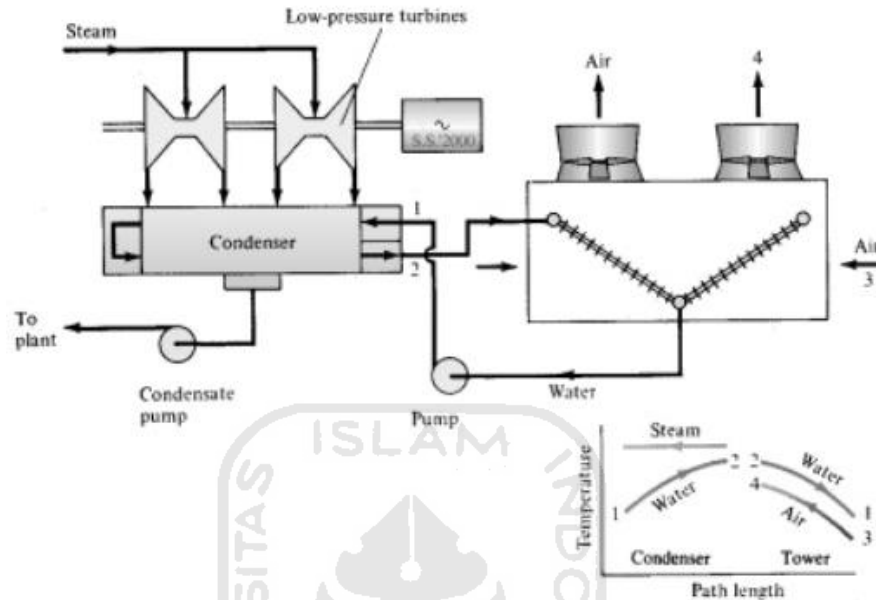
2. Menara pendingin kering tak langsung (*indirect dry-cooling tower*)

Menara pendingin jenis tak langsung (*indirect dry-cooling tower*) dapat dibagi menjadi dua jenis lagi, yaitu:

- a. Menara pendingin kering tak langsung (*indirect dry-cooling tower*) dengan menggunakan kondensor permukaan konvensional.

Air sirkulasi yang keluar dari kondensor masuk melalui tabung bersirip dan didinginkan oleh udara atmosfer di dalam *cooling tower*. *Cooling tower* ini boleh menggunakan jujut jenis alami seperti pada gambar. Operasi kondensor pada jenis ini harus dilakukan pada tekanan

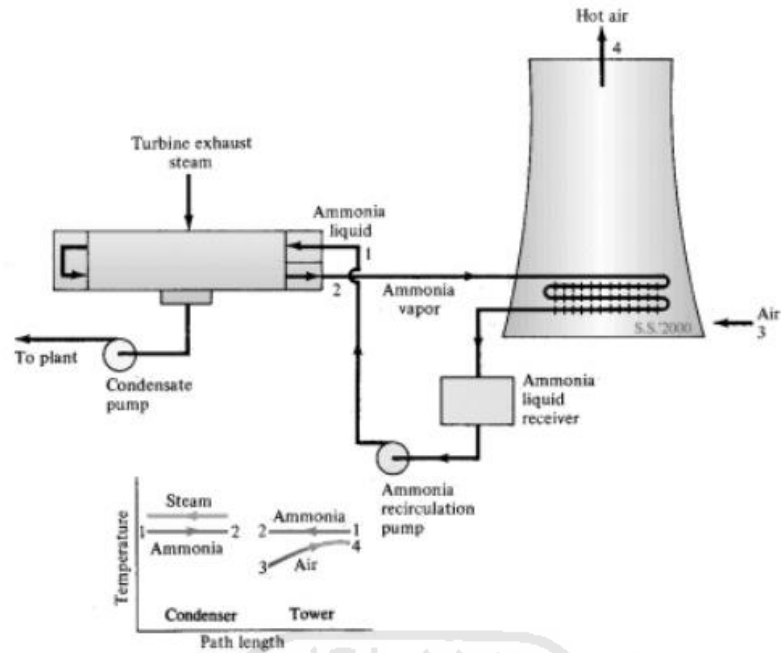
0,17 sampai 0,27 kPa. Pada jenis ini, digunakan kondensor terbuka atau kondensor jet. Kondensat jatuh ke dasar kondensor dan dari situ dipompakan oleh pompa resirkulasi ke kumparan bersirip di dalam *cooling tower*, yang kemudian didinginkan dan dikembalikan ke kondensor.



Gambar 2.10 Skematik instalasi menara pendingin kering tak langsung (*indirect dry-cooling tower*) dengan kondensor permukaan konvensional

- b. Menara pendingin kering tak langsung (*indirect dry-cooling tower*) dengan sirkulasi bahan pendingin 2 fase.

*Cooling tower* ini tidak menggunakan air pendingin, tetapi menggunakan suatu bahan pendingin, seperti dengan menggunakan amoniak sebagai bahan perpindahan kalor antara uap dan air, sehingga perpindahan kalor dapat terjadi dengan perubahan fasa, yaitu pendidihan di dalam tabung kondensor dan kondensasi di dalam tabung *cooling tower*. Amoniak cair yang hampir jenuh masuk kondensor permukaan dan diuapkan menjadi uap jenuh dan uap jenuh tersebut dipompakan lagi ke kondensor. Pendidihan dan kondensasi ini mempunyai koefisien perpindahan kalor yang lebih tinggi dari pada sisi tabung, sehingga menghasilkan beda suhu yang lebih rendah antara uap dan amoniak dan antara amoniak dan udara.



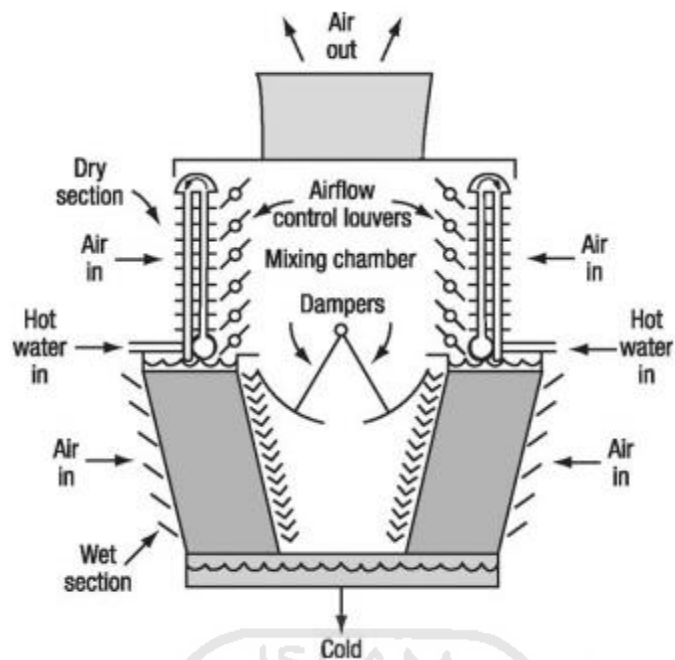
Gambar 2.11 Skematik instalasi menara pendingin kering tak langsung (*indirect dry cooling tower*) dengan sirkulasi bahan pendingin 2 fase

### 2.2.3. Menara Pendingin Basah-Kering (*Wet-Dry Cooling Tower*)

Menara pendingin basah-kering (*wet-dry cooling tower*) merupakan gabungan antara menara pendingin basah (*wet cooling tower*) dan menara pendingin kering (*dry cooling tower*). *Cooling tower* ini mempunyai dua jalur udara paralel dan dua jalur udara seri. Bagian atas *cooling tower* di bawah kipas adalah bagian kering yang berisi tabung-tabung bersirip. Bagian bawah adalah ruang yang lebar yang merupakan bagian yang basah yang terdiri dari bahan pengisi (*filling material*). Udara pertama dipanaskan secara kering dan keluar dalam keadaan yang kering (kelembaban relatif rendah) daripada udara sekitar, sedangkan arus kedua biasanya jenuh.

Menara pendingin basah-kering (*wet-dry cooling tower*) mempunyai keunggulan:

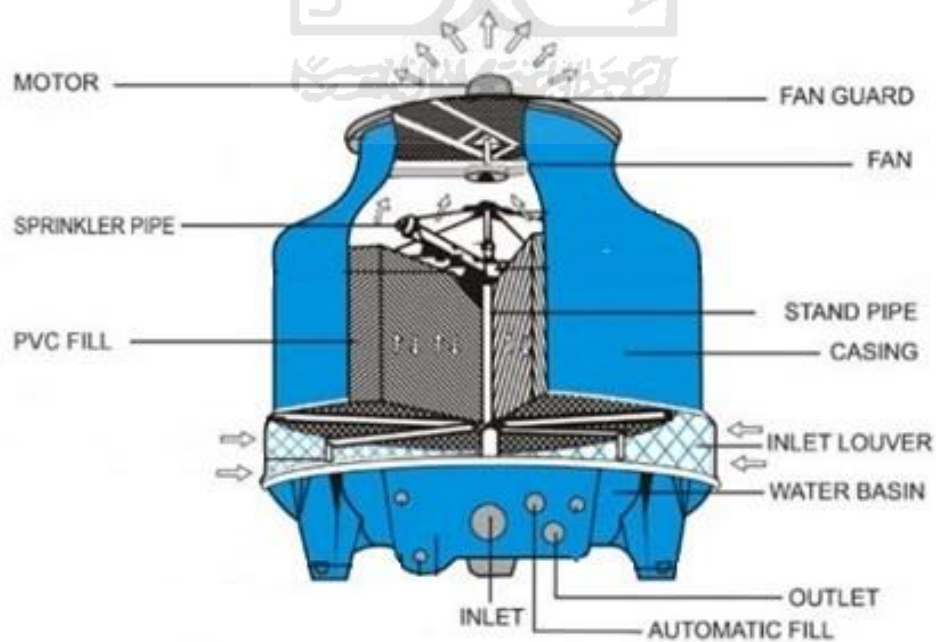
1. Udara keluar tidak jenuh sehingga mempunyai kepulan yang lebih sedikit.
2. Karena airnya mengalami pendinginan awal di bagian kering, penyusutan karena penguapan jauh berkurang, demikian juga dengan kebutuhan air tambahan.



Gambar 2.12 Menara pendingin basah-kering (*wet-dry cooling tower*)

### 2.3 Konstruksi *Cooling tower*

Adapun konstruksi *cooling tower* jenis aliran angin tarik mekanik (*mechanical-draft cooling tower*) pada umumnya adalah sebagai berikut:



Gambar 2.13 Konstruksi *cooling tower* (Alfacool,2007)

Konstruksi *cooling tower* secara garis besar terdiri atas:

**a. Kipas (*fan*)**

Kipas merupakan bagian terpenting dari sebuah *cooling tower* karena berfungsi untuk menarik udara dingin dan mensirkulasikan udara tersebut di dalam menara untuk mendinginkan air. Jika kipas tidak berfungsi maka kinerja *cooling tower* tidak akan optimal. Kipas digerakkan oleh motor listrik yang dikopel langsung dengan poros kipas.

**b. Pelindung Kipas (*fan guard*)**

Pelindung kipas berfungsi untuk mencegah kotoran/hewan yang bisa mengganggu kinerja dari *cooling tower* masuk ke dalam *cooling tower*.

**c. Pipa pendistribusi (*Distribution Pipe*)**

Pipa pendistribusi atau pada gambar 2.3 disebut sebagai *sprinkler pipe* berfungsi untuk mendistribusikan air panas merata ke permukaan *filler*. sehingga perpindahan kalor air dapat menjadi efektif dan efisien. Pipa pendistribusi dilengkapi dengan lubang-lubang kecil untuk menyalurkan air.

**d. Kerangka pendukung menara (*tower supporter*)**

Kerangka pendukung menara berfungsi untuk mendukung *cooling tower* agar dapat berdiri kokoh dan tegak. *Tower supporter* biasanya terbuat dari baja.

**e. Rumah *cooling tower* (*casing*)**

Rumah *cooling tower* (*casing*) harus memiliki ketahanan yang baik terhadap segala cuaca dan umur pakai (*life time*) yang lama. *Casing* biasanya terbuat dari seng.

**f. Penampung air (*water basin*)**

*Water basin* berfungsi sebagai pengumpul air sementara yang jatuh dari *filling material* sebelum disirkulasikan kembali ke kondensor. *Water basin* biasanya terbuat dari seng.

**g. Lubang udara (*inlet louvre*)**

*Inlet louvre* berfungsi sebagai tempat masuknya udara melalui lubang-lubang yang ada. Melalui *inlet louvre* akan terlihat kualitas dan kuantitas air yang akan didistribusikan. *Inlet louvre* terbuat dari seng.

#### **h. Bahan Pengisi (*filling material*)**

*Filling material* merupakan bagian dari *cooling tower* yang berfungsi untuk mencampurkan air yang jatuh dengan udara. Air masuk yang mempunyai suhu yang cukup tinggi akan disemprotkan ke *filling material*. Pada *filling material* inilah air yang mengalir turun ke *water basin* akan bertukar kalor dengan udara dari atmosfer. Oleh sebab itu, *filling material* harus dapat menimbulkan kontak yang baik antara air dan udara agar terjadi laju perpindahan kalor yang baik. *Filling material* harus kuat, ringan dan tahan lapuk.

*Filling material* ini mempunyai peranan sebagai memecah air menjadi butiran-butiran tetes air dengan maksud untuk memperluas permukaan pendinginan sehingga proses perpindahan panas dapat dilakukan seefisien mungkin.

### **2.4 Jenis bahan pengisi (*filler*)**

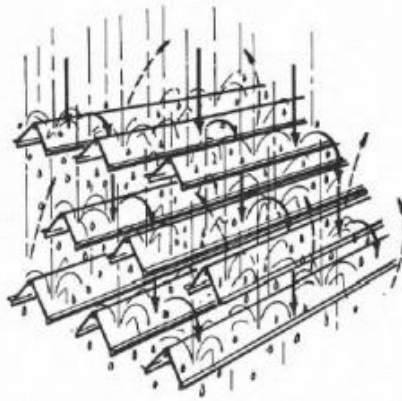
Bahan pengisi (*filler*) adalah komponen yang paling penting pada proses penurunan suhu di *cooling tower*. Pada umumnya bahan pengisi (*filler*) dibagi menjadi:

1. Bahan pengisi jenis percikan (*Splash fill*)
2. Bahan pengisi jenis lembaran (*film fill*)
3. Bahan pengisi sumbatan rendah (*Low-clog film fill*)

#### **2.4.1 Bahan pengisi jenis percikan (*Splash fill*)**

Air jatuh diatas lapisan yang berurut dari batang pemercik horisontal, secara terus menerus pecah menjadi tetesan yang lebih kecil, sambil membasahi permukaan bahan pengisi. Luas permukaan butiran air adalah luas permukaan perpindahan kalor dengan udara.

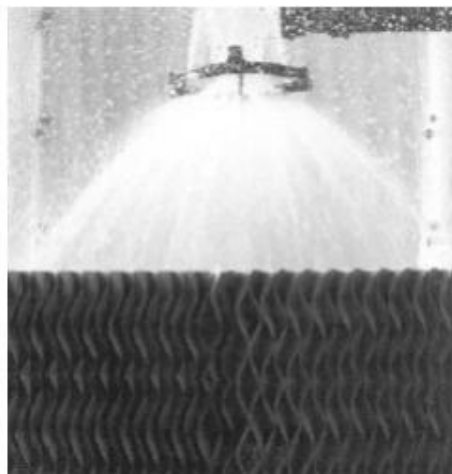




Gambar 2.14 *Splash Fill* (El-Walkil, 1992)

### 2.4.2 Bahan pengisi jenis lembaran (*film fill*)

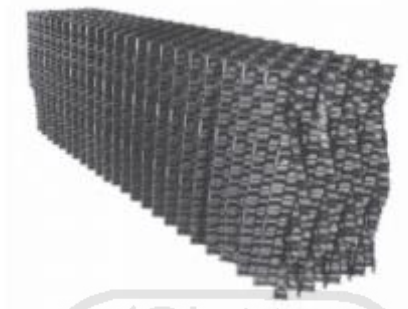
Terdiri dari permukaan plastik tipis dengan jarak yang berdekatan dimana di atasnya terdapat semprotan air, membentuk lapisan lembaran yang tipis dan melakukan kontak dengan udara. Permukaannya dapat berbentuk datar, bergelombang, berlekuk, atau pola lainnya. Pada bahan pengisi lembaran, air membentuk lapisan tipis pada sisi-sisi lembaran pengisi. Luas permukaan dari lembaran pengisi adalah luas perpindahan kalor dengan udara sekitar. Jenis bahan pengisi lembaran lebih efisien dan memberi perpindahan kalor yang sama dalam volume yang lebih kecil daripada bahan pengisi jenis splash. Bahan pengisi film dapat menghasilkan penghematan listrik yang signifikan melalui kebutuhan air yang lebih sedikit dan head pompa yang lebih kecil.



Gambar 2.15 *Film Fill* (El-Walkil, 1992)

### 2.4.3 Bahan pengisi sumbatan rendah (*Low-clog film fill*)

Bahan pengisi sumbatan rendah dengan ukuran *flute* yang lebih tinggi saat ini dikembangkan untuk menangani air yang keruh. Jenis ini merupakan pilihan terbaik untuk air laut karena adanya penghematan daya dan kinerjanya dibandingkan tipe bahan pengisi jenis percikan konvensional.



Gambar 2.16 *Low-clog Film Fill* (El-Walkil, 1992)

### 2.5 Parameter *Cooling tower*

Kinerja *cooling tower* dievaluasi untuk mengkaji tingkat *approach* dan *range* operasi terhadap nilai rancangan, mengidentifikasi area terjadinya pemborosan energi, dan juga untuk mendapatkan saran perbaikan.

Sebagai evaluasi kinerja, pemantauan dilaksanakan untuk mengukur parameter-parameter signifikan berikut ini:

1. Temperatur udara masuk *wet bulb*
2. Temperatur udara masuk *dry bulb*
3. Temperatur air masuk *cooling tower*
4. Temperatur air keluar *cooling tower*
5. Temperatur udara keluar *wet bulb*
6. Temperatur udara keluar *dry bulb*
7. Laju aliran air
8. Laju aliran udara

## 2.6 Prestasi *Cooling tower*

Parameter terukur tersebut kemudian digunakan untuk menentukan prestasi dari *cooling tower* dalam beberapa cara, yaitu:

### a. *Range*

*Range* merupakan perbedaan antara temperatur air masuk dan keluar *cooling tower*. *Range* yang tinggi berarti bahwa *cooling tower* telah mampu menurunkan temperatur air secara efektif dan kinerjanya baik. Rumusnya adalah sebagai berikut :

$$\text{Range } (^{\circ}\text{C}) = \text{temperatur air masuk } (^{\circ}\text{C}) - \text{temperatur air keluar } (^{\circ}\text{C})$$

### b. *Approach*

*Approach* adalah perbedaan antara temperatur air dingin keluar *cooling tower* dan temperatur *wet bulb* ambien. Semakin rendah *approach* semakin baik kinerja *cooling tower*. Walaupun *range* dan *approach* harus dipantau, akan tetapi, *approach* merupakan indikator yang lebih baik untuk kinerja *cooling tower*.

$$\text{Approach } (^{\circ}\text{C}) = \text{temperatur air keluar } (^{\circ}\text{C}) - \text{temperatur } \textit{wet bulb} (^{\circ}\text{C})$$

### c. Efektivitas pendinginan

Efektivitas pendinginan merupakan perbandingan antara *range* dan *range* ideal. Semakin tinggi perbandingan ini, maka semakin tinggi efektivitas pendinginan suatu *cooling tower*.

$$\text{Efektivitas pendinginan } (\%) = 100\% \times \left( \frac{\text{temperatur air masuk} - \text{temperatur air keluar}}{\text{temperatur air masuk} - \text{temperatur } \textit{wet bulb}} \right) \quad (2.1)$$

### d. Kapasitas pendinginan (*cooling load*)

Kapasitas pendinginan suatu *cooling tower* adalah setara dengan kemampuan *cooling tower* tersebut dalam membuang panas ke lingkungan. Kapasitas pendinginan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$Q = \dot{m}c_p\Delta T \quad (2.2)$$

Dimana :  $Q$  = kapasitas pendinginan (kJ)  
 $\dot{m}$  = debit air (kg/s)  
 $c_p$  = kalor jenis air (kJ/kg°C)  
 $\Delta T$  = selisih suhu (°C)

#### e. Laju aliran udara

laju aliran udara pada *cooling tower* dapat dicari menggunakan rumus :

$$\dot{m}_{udara} = v_{udara}(A2 - A1) \cdot \rho_{udara} \quad (2.3)$$

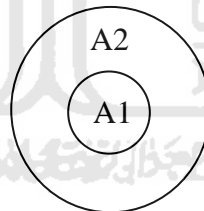
$\rho_{udara}$  = massa jenis udara = 1,2 Kg/m<sup>3</sup>

$A1$  = luas penampang motor *fan* (m<sup>2</sup>)

$A2$  = luas penampang cerobong angin (m<sup>2</sup>)

$v_{udara}$  = kecepatan udara (m/s)

Luas penampang yang dilalui udara keluar dari *cooling tower* adalah luas penampang keseluruhan ( $A2$ ) dikurangi dengan luas penampang motor kipas ( $A1$ ).



Gambar 2.17 Penampang cerobong udara *cooling tower*

#### f. Laju aliran air

laju aliran udara pada *cooling tower* dapat dicari menggunakan rumus :

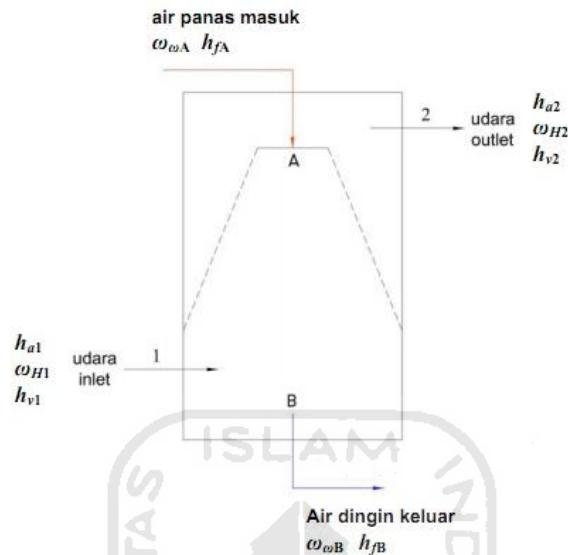
$$\dot{m}_{air} = Q \cdot \rho_{air} \quad (2.4)$$

$\rho_{air}$  = massa jenis air = 1000 Kg/m<sup>3</sup>

$Q$  = debit air (ltr/s)

**g. Kestimbangan energi**

Dengan asumsi adiabatik untuk operasi suatu *cooling tower*, maka akan berlaku persamaan kesetimbangan energi antara energi yang masuk dan keluar dari suatu *cooling tower*.



Gambar 2.18. Diagram menara pendingin

Adapun persamaan kesetimbangan energi yang dimaksud adalah sebagai berikut:

$$\text{Energi Masuk } (Q_{in}) = \dot{m}_1 (Cp_{air1}(T_1 - T_{ref})) + \dot{m}_3 (Cp_3(T_3) + W_3 \cdot h_{g3}) \quad (2.5)$$

$$\text{Energi Masok } (Q_{out}) = \dot{m}_2 (Cp_{air2}(T_2 - T_{ref})) + \dot{m}_4 (Cp_4(T_4) + W_4 \cdot h_{g4})$$

Selisih energi :

$$\Delta Q = Q_{out} - Q_{in}$$

Dimana :

$\dot{m}_1$  = Laju aliran massa air panas masuk *cooling tower* (Kg/s)

$Cp_{air1}$  = Kalor spesifik air masuk *cooling tower* (KJ/Kg °C)

$T_1$  = Suhu air masuk *cooling tower* (°C)

$T_{ref}$  = Suhu referensi (°C)

$\dot{m}_2$  = Laju aliran massa air keluar *cooling tower* (Kg/s)

$Cp_{air2}$  = Kalor spesifik air keluar *cooling tower* (KJ/Kg °C)

$T_2$  = Suhu air keluar *cooling tower* (°C)

$\dot{m}_3$  = Laju aliran udara masuk *cooling tower* (Kg/s)

$Cp_3$  = Kalor spesifik udara masuk *cooling tower* (KJ/Kg °C)

$T_3$  = Suhu udara masuk *cooling tower* (°C)

$w_3$  = kelembaban spesifik udara masuk (Kg air / Kg udara lembab)

$h_{g3}$  = entalpi uap air udara masuk *cooling tower* (Kg air / Kg udara lembab)

$\dot{m}_4$  = Laju aliran udara keluar *cooling tower* (Kg/s)

$Cp_4$  = Kalor spesifik udara keluar *cooling tower* (KJ/Kg °C)

$T_4$  = Suhu udara keluar *cooling tower* (°C)

$w_4$  = kelembaban spesifik udara keluar (Kg air / Kg udara lembab)

$h_{g4}$  = entalpi uap air udara keluar *cooling tower* (Kg air / Kg udara lembab)

$Q_{in}$  = Energi yang masuk ke *cooling tower*

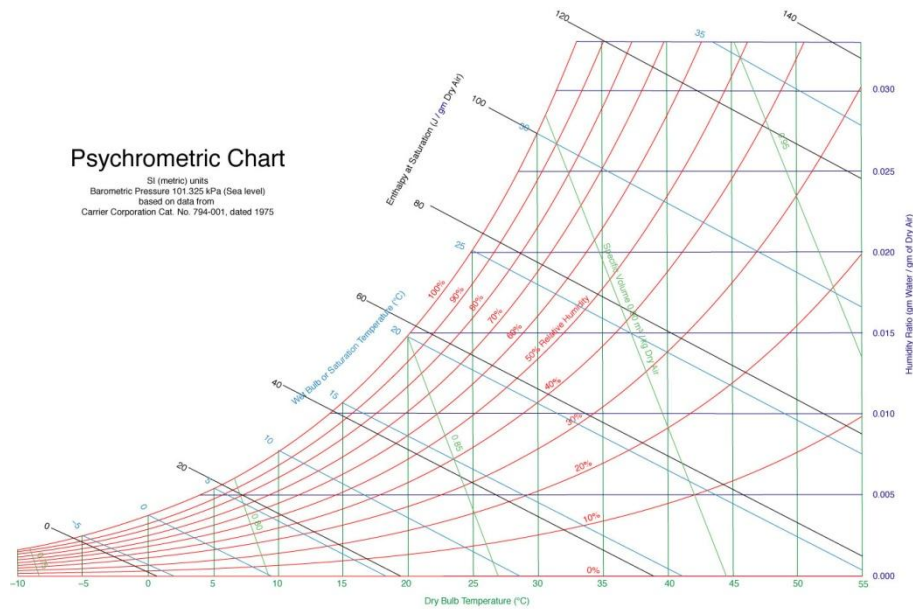
$Q_{out}$  = Energi yang keluar dari *cooling tower*

$\Delta Q$  = Selisih energi masuk dengan energi keluar

### 2.6.1 Diagram Psikrometrik

Diagram Psikrometrik merupakan tampilan secara grafikal dari sifat termodinamika udara, yaitu suhu udara ( $T_{db}$  dan  $T_{wb}$ ), kelembaban relatif (RH), suhu titik embun (DPT), kandungan uap air (MC) dan entalpi (h) serta kelembaban spesifik (w) dari udara ruangan.

Semua sifat udara tersebut telah diskalakan secara proporsional didalam diagram Psikrometrik sehingga memudahkan pemakainya untuk mem-plot data-data hasil pengukuran dan kemudian untuk memperoleh data lainnya.



Gambar 2.19. Diagram Psikrometrik (Ogawa, 2007)

**Dry Bulb Temperature** ( $T_{db}$ ) adalah suhu udara yang terbaca oleh termometer biasa. Unit SI untuk suhu kelvin atau derajat celcius, sedangkan unit lain menggunakan derajat fahrenheit dan derajat rankine.

**Wet Bulb Temperature** ( $T_{wb}$ ) adalah suhu udara ruang yang diperoleh melalui pengukuran dengan *Slink Psikrometer* pada termometer dengan *bulb* basah. Suhu WB diplotkan sebagai garis miring kebawah yang berawal dari garis saturasi yang terletak dibagian samping kanan diagram. Suhu WB ini merupakan ukuran panas total (entalpi). Perubahan suhu WB menunjukkan adanya perubahan panas total.

Untuk menjelaskan apa itu temperatur bola basah, dapat juga digambarkan jika ada suatu kolam dengan panjang tak hingga di atasnya ditutup. Kemudian udara dialirkan melalui permukaan air. Dengan adanya perpindahan kalor dari udara ke permukaan air maka terjadilah penguapan. Udara menjadi jenuh diujung kolam air tersebut. Suhu disinilah yang dinamakan *wet bulb temperature*.

Untuk mengukur dua sifat (*dry dan wet bulb temperature*) ini sekaligus biasanya menggunakan alat yang namanya *slings*, yaitu dua buah termometer yang di satukan pada sebuah tempat yang kemudian tempat tersebut dapat diputar. Satu thermometer biasa dan yang lainnya termometer dengan *bulb* diselimuti kain basah.

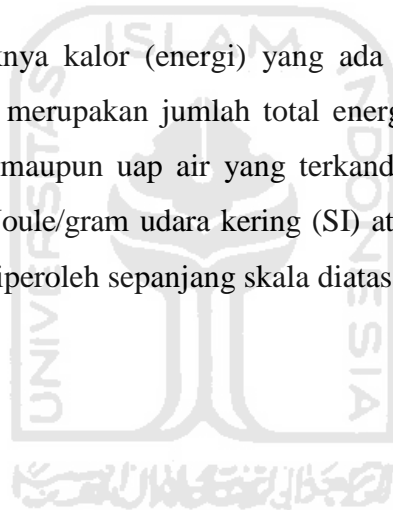
**Dew Point Temperature (DPT)**, yaitu suhu dimana udara telah mencapai saturasi (jenuh). Jika udara tersebut mengalami pelepasan kalor sedikit saja, maka uap air dalam udara akan mengembun. Suhu DP merupakan ukuran dari panas laten yang diberikan oleh sistem. Adanya perubahan suhu DP menunjukkan adanya perubahan panas laten atau adanya perubahan kandungan uap air di udara.

**Humidity Ratio ( $w$ )**, yaitu ukuran massa uap air yang ada dalam satu satuan udara kering (Satuan International: gram air/kilogram udara kering).

**Relative Humidity (RH)**, Perbandingan antara fraksi mol uap dengan fraksi mol udara basah pada suhu dan tekanan yang sama (satunya biasanya dalam persen (%)). Uap air dalam keadaan saturasi adalah 100% RH.

**Spesifik Volume ( $v$ )**, yaitu besarnya volume udara dalam satu satuan massa (SI: m<sup>3</sup>/kg).

**Entalpi ( $h$ )**, yaitu banyaknya kalor (energi) yang ada dalam udara setiap satu satuan massa. Entalpi ini merupakan jumlah total energi yang ada dalam udara tersebut, baik dari udara maupun uap air yang terkandung didalamnya. Entalpi dinyatakan dalam satuan Joule/gram udara kering (SI) atau BTU per pound udara (IP). Harga entalpi dapat diperoleh sepanjang skala diatas garis saturasi.



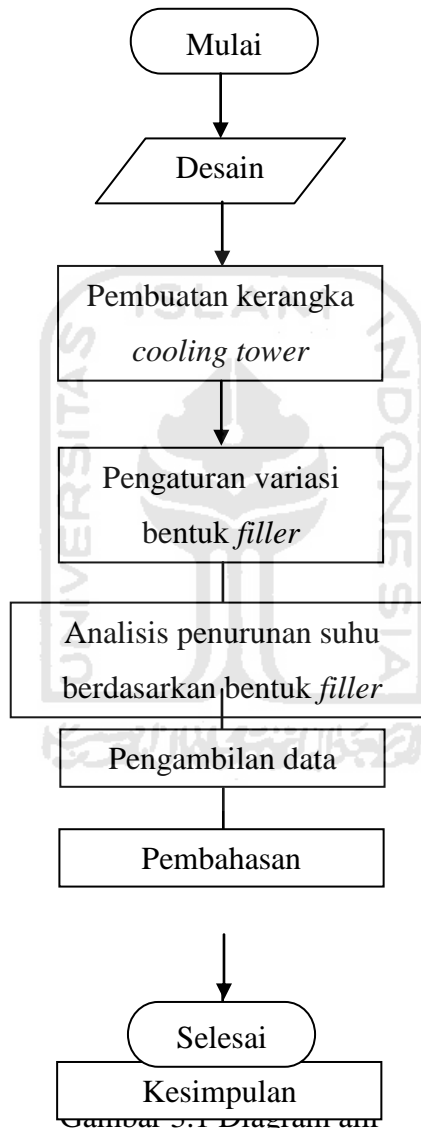


## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Alur Penelitian

Tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini, dapat dilihat pada diagram alir penelitian (gambar 3.1).



#### 3.2 Alat dan Bahan

##### 3.2.1 Alat

1. Gerinda
2. Gergaji

3. Bor tangan
4. Mesin las listrik
5. Mesin bubut
6. *Laser cutting*
7. *Heater spiral*
8. *Thermometer*
9. *Anemometer*

*Anemometer* yang digunakan untuk mengetahui kecepatan udara yang masuk dan keluar pada *cooling tower* adalah *anemometer* Lutron AM-4200.



Gambar 3.2 *Anemometer* Lutron AM-4200

#### 10. *Thermohygrometer*

*Thermohygrometer* yang digunakan untuk pembacaan suhu dan kelembaban udara pada saat pengujian adalah *thermohygrometer* Dekko 642



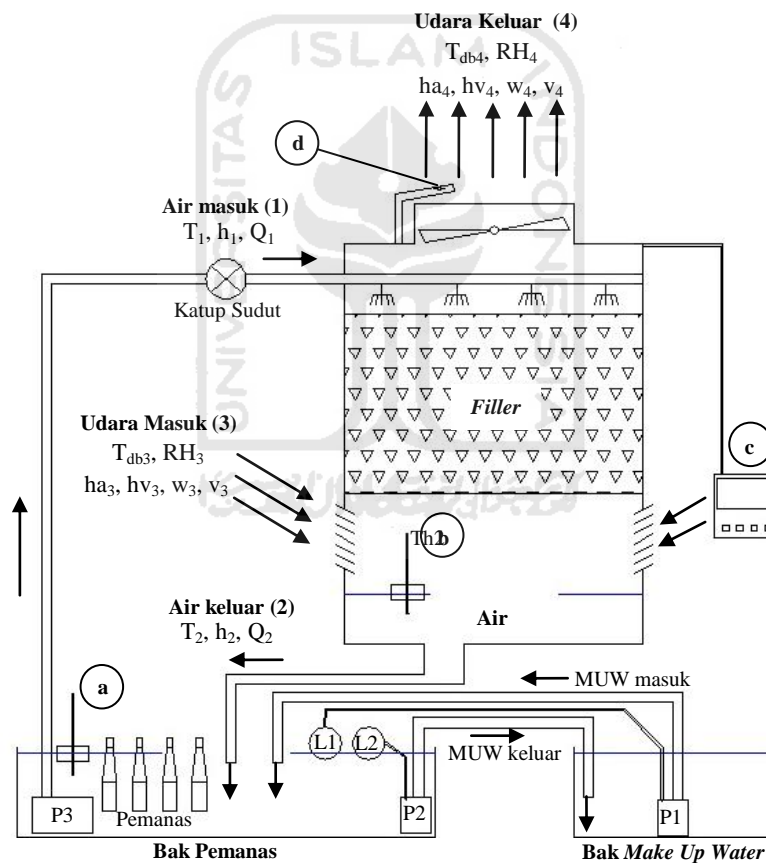
Gambar 3.3 *Thermohygrometer* Dekko 642

### 3.2.2. Bahan

1. Air
2. Elektroda
3. Besi

4. Pipa PVC ½ Inch
5. Pipa aquarium
6. Keran sudut
7. Pompa aquarium 3,5 meter
8. Pompa aquarium 5 meter
9. Kipas fentilasi 1400 rpm
10. Seng 0.2 mm , 25 meter
11. Akrilik 2x1 meter tebal 3 mm
12. Kaca 5 mm

### 3.3 Diagram Sistem *Cooling Tower*



Gambar 3.4 Diagram Sistem *Cooling Tower*

Keterangan :

$T_1$  = Temperatur air masuk *cooling tower*, diukur menggunakan *thermometer* bak pemanas (a)

- $T_2$  = Temperatur air keluar *cooling tower*, diukur menggunakan *thermometer* bak penampung air dari *filler* (b)
- $T_{db3}$  = Temperatur bola kering udara masuk *cooling tower*, diukur menggunakan *thermohygrometer* (c)
- $T_{db4}$  = Temperatur bola kering udara keluar *cooling tower*, diukur menggunakan termokopel *thermohygrometer* (d)
- $RH_3$  = Kelembaban relatif udara masuk *cooling tower*, diukur menggunakan *thermohygrometer* (c)
- $RH_4$  = Kelembaban relatif udara keluar *cooling tower*, diukur menggunakan termokopel *thermohygrometer* (d)
- $h_{a3}$  = Entalpi udara kering masuk ke *cooling tower*
- $h_{a4}$  = Entalpi udara kering keluar dari *cooling tower*
- $h_{v3}$  = Entalpi uap air dalam udara masuk ke *cooling tower*
- $h_{v4}$  = Entalpi uap air dalam udara keluar dari *cooling tower*
- $Q_1$  = Debit air masuk *cooling tower*
- $Q_2$  = Debit air keluar *cooling tower*
- $v_3$  = kecepatan aliran udara masuk *cooling tower*, didapat menggunakan *Anemometer*
- $v_4$  = kecepatan aliran udara keluar *cooling tower*, didapat menggunakan *Anemometer*
- $w_3$  = Kelembaban absolut udara masuk *cooling tower*
- $w_4$  = Kelembaban absolut udara keluar *cooling tower*
- L1 = *Limmit Switch* sensor ketinggian debit minimal bak pemanas
- L2 = *Limmit Switch* sensor ketinggian debit maksimal bak pemanas
- P1 = Pompa *make up water* masuk ke bak pemanas
- P2 = Pompa *make up water* keluar dari bak pemanas
- P3 = Pompa air panas masuk ke *cooling tower*

### 3.4 Pembuatan Desain Alat

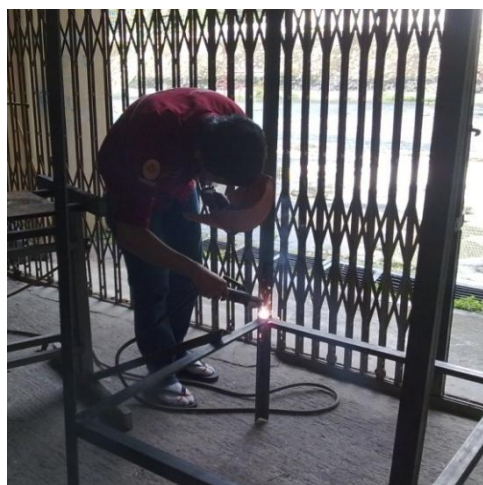
Proses pembuatan desain alat ini dilakukan untuk mempermudah dalam pembuatan kerangka *cooling tower* dan penempatan komponen-komponennya. Pembuatan desain ini menggunakan *Software AutoCAD 2007*. Dimensi *cooling tower* dapat dilihat pada lampiran -1.



Gambar 3.5 Desain 3D kerangka dasar *cooling tower*

### 3.5 Pembuatan Kerangka Dasar *Cooling Tower*

Proses pembuatan kerangka dasar ini dimulai dari perakitan besi siku. Dalam proses pembuatan kerangka dasar ini mengalami beberapa perbaikan bentuk dan material.



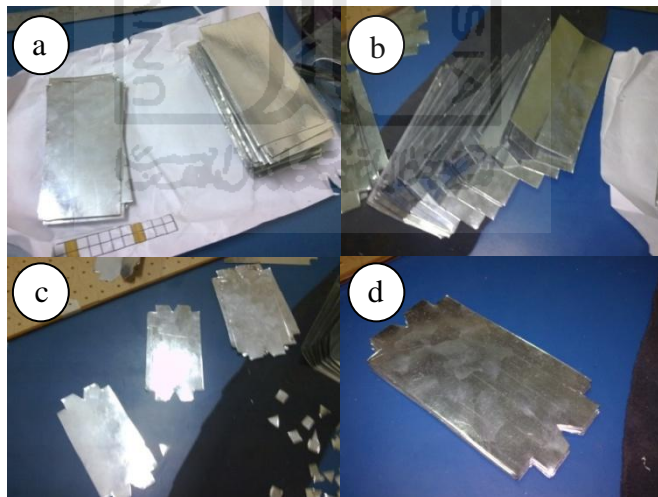
Gambar 3.6 Proses pembuatan kerangka dasar

### 3.6 Pembuatan variasi bentuk *filler*

Pembuatan bentuk *filler* pada penelitian ini menggunakan desain *filler* model *splash* dan kombinasi model *crossflow splash*. *Crossflow splash* merupakan variasi *filler* yang dirancang agar air dapat mengalir dengan dua jenis aliran. Bahan dasar *filler* yang dipakai adalah seng dengan ketebalan 0.2 mm. Proses pembuatan plat *filler* masih dilakukan dengan cara pemotongan plat satu persatu. Proses awal adalah pembentukan pola pada plat seng lembaran dan selanjutnya adalah proses pemotongan plat sesuai pola.

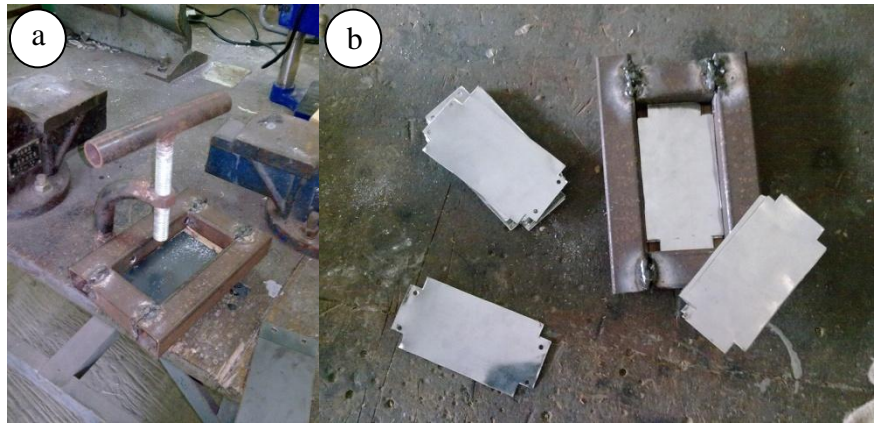


Gambar 3.7 Pembentukan pola pada seng lembaran



Gambar 3.8 Proses pemotongan plat *filler*

Selanjutnya plat yang sudah dipotong dilubangi dengan ukuran diameter 4 mm pada sisi dudukan. Proses pelubangan plat dilakukan dengan alat bantu berupa bingkai besi dan penjepit (gambar 3.8a) agar proses pelubangan plat bisa lebih cepat dan seragam.



Gambar 3.9 Alat bantu pada proses pelubangan plat *filler*

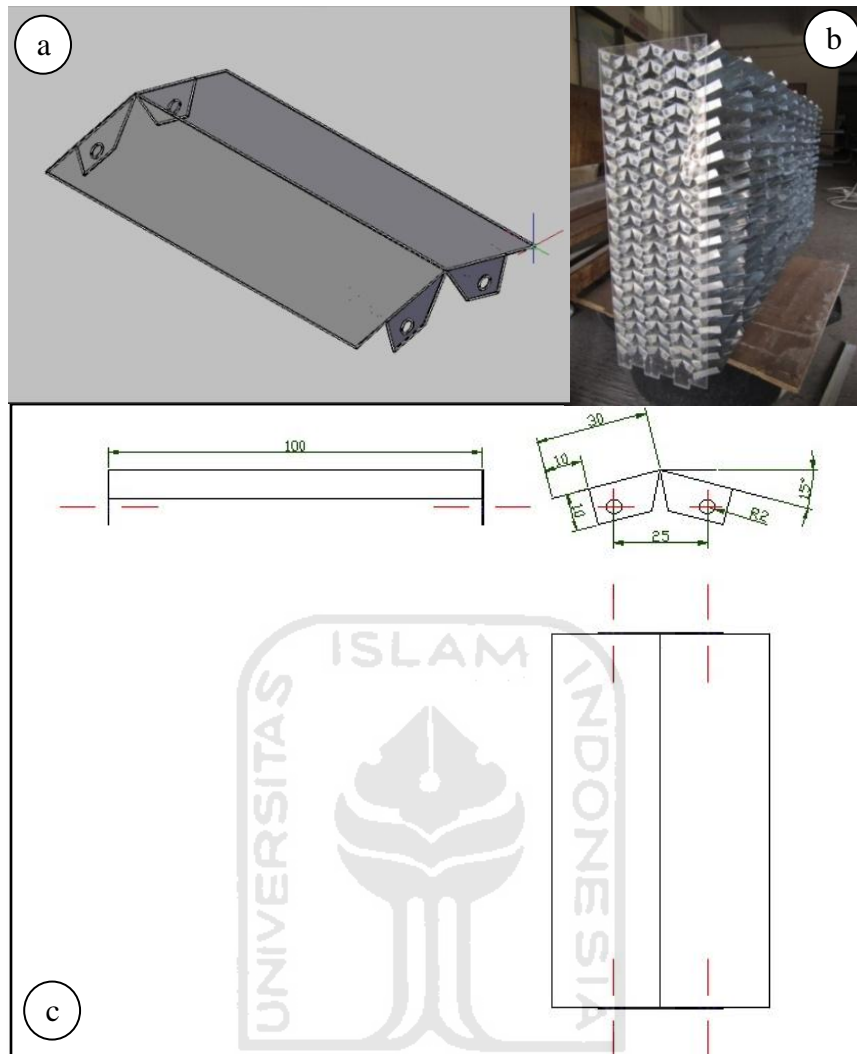
Setelah semua plat *filler* dilubangi selanjutnya adalah proses penekukan plat *filler* sesuai pola. Proses penekukan plat masih menggunakan alat bantu berupa benda-benda siku.



Gambar 3.10 Proses penekukan plat *filler*

Setelah plat *splash filler* sesuai pada gambar 3.10a, kemudian plat *filler* disusun ke akrilik seperti pada gambar 3.10b. Gambar 3.10c menjelaskan dimensi dari plat *splash filler*.

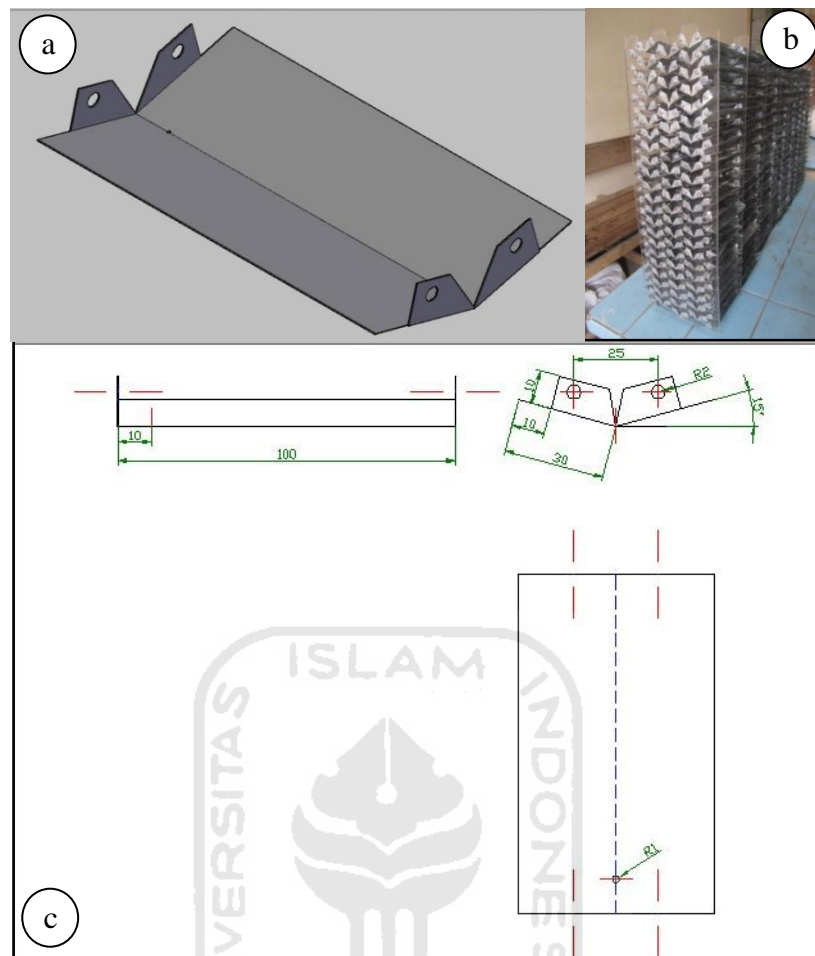




Gambar 3.11 *Filler model splash*

Begitu juga dengan model *crossflow splash filler*. Setelah plat *crossflow splash filler* sesuai pada gambar 3.11a, lalu plat *filler* disusun ke akrilik seperti pada gambar 3.11b. Gambar 3.11c menjelaskan dimensi dari plat *crossflow splash filler*.





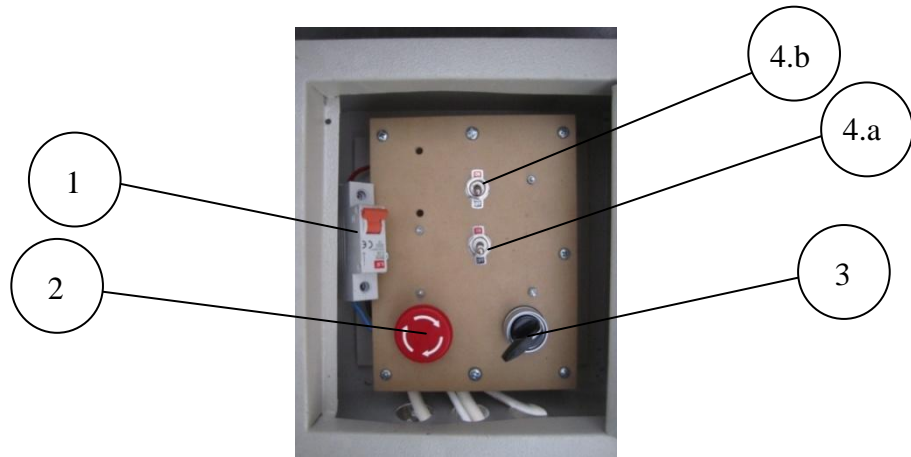
Gambar 3.12 *Filler* model kombinasi *splash* dan *crossflow*

### 3.7 Perbaikan dan penambahan komponen

Perbaikan dan penambahan komponen dilakukan ketika pemasangan komponen-komponen dan dudukan komponen ke konstruksi mesin *cooling tower* dianggap tidak sesuai. Bagian yang tidak sesuai dapat menyebabkan beberapa komponen tidak dapat terpasang secara baik sehingga mengganggu kerja mesin.

### 3.8 Panel Kendali

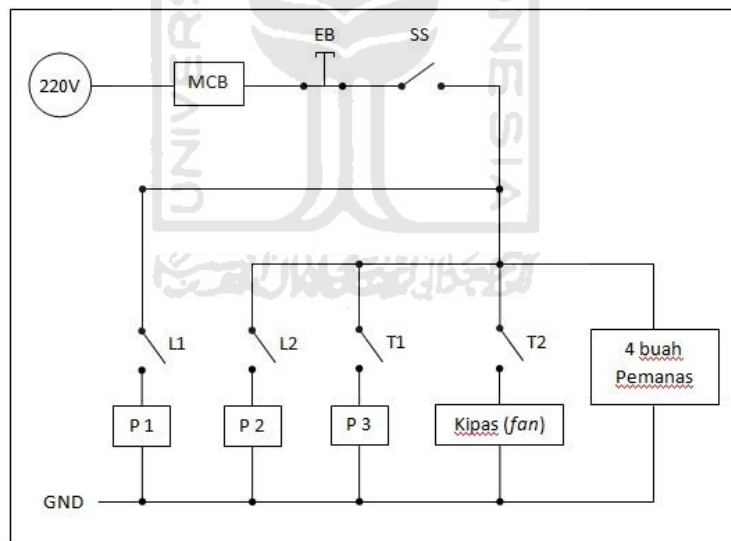
Panel kendali pada mesin *cooling tower* digunakan untuk mengendalikan kerja *cooling tower* agar dapat mempermudah proses pengujian. Panel kendali yang digunakan terdiri dari *emergency button*, saklar pemilih (*selector switch*), dan saklar *toggle*.



Gambar 3.13 Sistem Kendali

Keterangan :

1. *Miniature circuit breaker (MCB) 25 Ampere*
2. *Emergency Button*
3. *Selector switch = 4 buah Pemanas spiral*
4. A. saklar *toggle* motor kipas  
B. saklar *toggle* pompa air



Gambar 3.14 Rangkaian kelistrikan *cooling tower*

Keterangan : EB = *Emergency Button*

SS = *Selector Switch*

T = *Saklar Toggle*

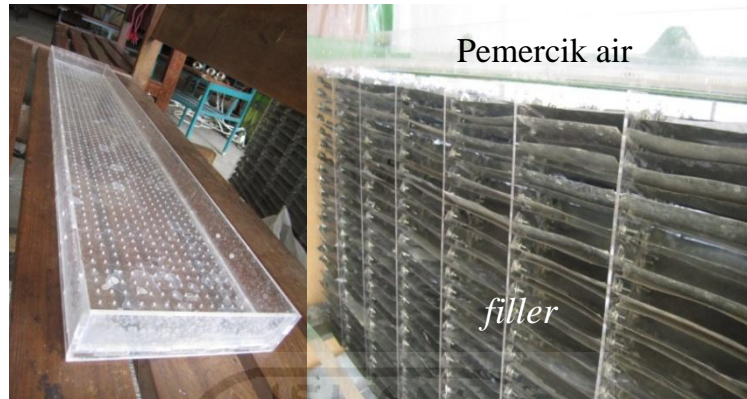
L = *Limmit Switch*

P1 = P2 = *Pompa Make up water*

P3 = *Pompa Air panas ke sprayer*

### 3.9 Pemercik air

Pemercik air digunakan untuk meratakan pendistribusian dari air panas yang akan masuk ke *filler*. Lubang dari pemercik air disesuaikan dengan luas penampang pipa pendistribusi air panas dibagi dengan banyaknya jumlah lubang.



Gambar 3.15 Pemercik air

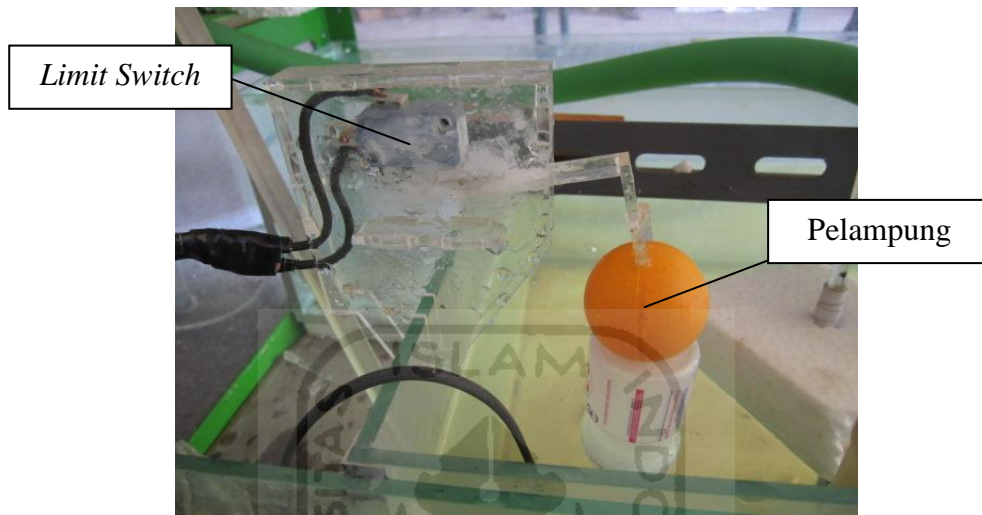
Sebelum komponen pemercik air diaplikasikan ke *cooling tower*, pemercik air diuji terlebih dahulu apakah pendistribusian dari pemercik air merata atau tidak. Pengujian pemercik air (gambar 3.15a) juga diharapkan agar bentuk air yang keluar dari pemercik air berupa butiran-butiran air (gambar 3.15b).



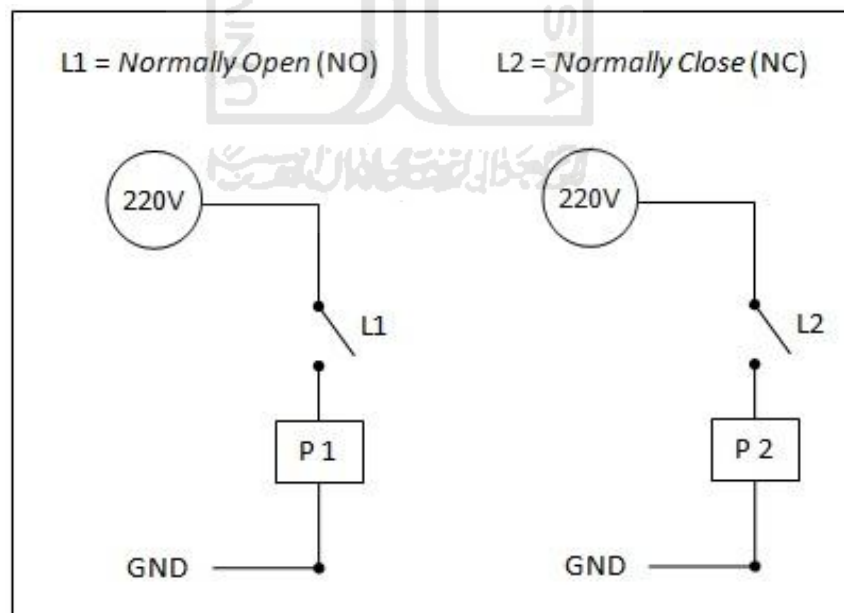
Gambar 3.16 Proses pengujian komponen pemercik air

### 3.10 Sensor ketinggian air

Sensor ketinggian ini menggunakan sensor *limit switch* yang dihubungkan dengan pompa air kecil. Pada mesin *cooling tower* ini terdapat 2 buah sensor ketinggian air yang diletakkan pada bak pemanas agar ketinggian air dibak pemanas tetap stabil.



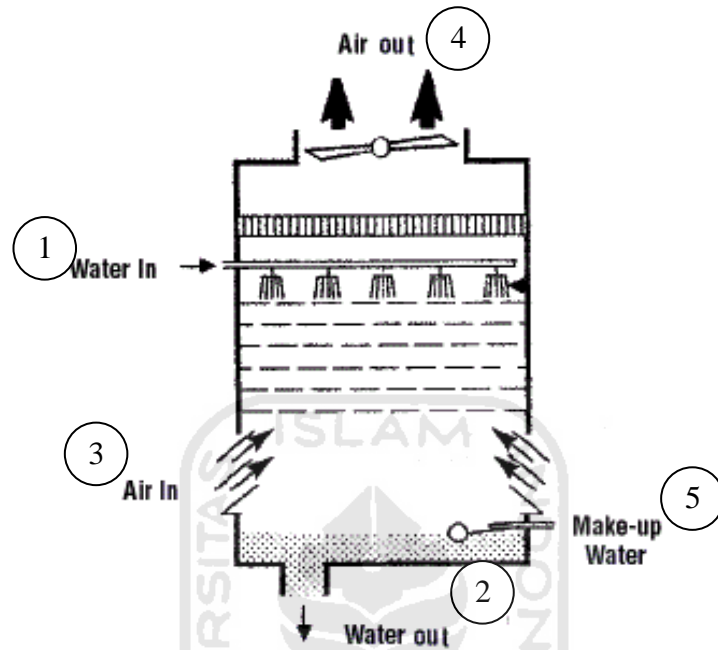
Gambar 3.17 Sensor ketinggian air



Gambar 3.18 Rangkaian sensor ketinggian air

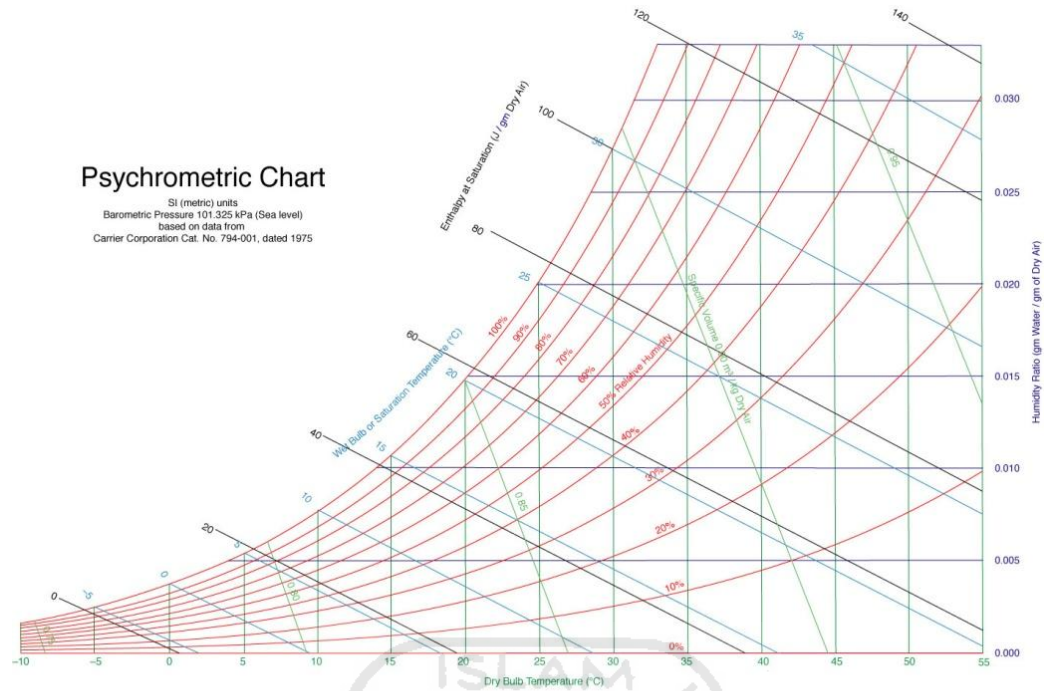
### 3.11 Konsep Uji Coba

Pada pengujian *cooling tower* ini konstanta diseragamkan berdasarkan gambar 3.16. agar pembacaan lebih jelas dan tidak terjadi salah persepsi.



Gambar 3.20 Arah aliran cooling tower

Uji coba pada tiap variasi bentuk *filler* menggunakan prinsip yang sama, yaitu dengan mengubah-ubah variabel debit air yang akan dialirkan ke *filler* lalu mengukur data udara temperatur bola kering awal ( $T_{db3}$ ), kelembaban udara awal ( $RH_3$ ), debit air ( $Q$ ), kecepatan udara ( $v$ ), temperatur bola kering akhir ( $T_{db4}$ ), dan kelembaban udara akhir ( $RH_4$ ). Dari hasil pengukuran tiap-tiap bentuk *filler*, kemudian dibandingkan hasil pengukurannya untuk mencari perbandingan hasil penurunan suhu air antara hasil pengujian dengan hasil teoritis dan kesetimbangan energinya.



Gambar 3.21 Diagram Psikrometrik (Ogawa, 2007)

### 3.12 Langkah-Langkah Uji Coba

1. Uji coba pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan 3 variasi debit air berdasarkan sudut bukaan katupnya, yaitu :
  - a. Katup posisi sudut  $90^\circ = 0,302$  L/detik
  - b. Katup posisi sudut  $45^\circ = 0,270$  L/detik
  - c. Katup posisi sudut  $0^\circ = 0,118$  L/detik
2. Selanjutnya air yang akan digunakan dipanaskan terlebih dahulu hingga  $60^\circ\text{C}$  menggunakan 4 buah pemanas *spiral* 1000 W.
3. Kecepatan udara yang masuk ke *filler* ( $v_3$ ) dan udara yang keluar dari *fan* ( $v_4$ ) diukur menggunakan *Anemometer*.
4. Temperatur udara ( $T_{db3}$ ) dan kelembaban relatif ( $RH_3$ ) lingkungan dihitung setelah mesin dinyalakan selama 1 menit, lalu suhu udara ( $T_{db4}$ ) dan kelembaban relatif udara yang keluar ( $RH_4$ ) dari mesin dihitung menggunakan *Thermohyrometer*.
5. Temperatur air yang sudah didinginkan ( $T_2$ ) dihitung menggunakan termometer air raksa.



### 3.13 Analisis Kesetimbangan Energi

Setelah pengumpulan data temperatur bola kering ( $T_{db}$ ) dan kelembaban relatif (RH) udara masuk dan keluar, serta data penurunan temperatur air keluar ( $T_2$ ) yang didapat. Maka data penurunan suhu yang berada pada keadaan *steady* dapat ditentukan dari hasil tiap-tiap pengujian yang memiliki temperatur air masuk ( $T_1$ ) keadaan konstan.

Setelah temperatur udara masuk ( $T_{db3}$ ) dan keluar ( $T_{db4}$ ), kelembaban relatif masuk (RH<sub>3</sub>) dan keluar (RH<sub>4</sub>) dalam keadaan *steady* didapat dan dirata-rata, maka kelembaban absolut (w) dan entalpi (h) dapat dicari menggunakan diagram psikrometrik atau dalam percobaan ini digunakan *software CYTsoft Psychometric Chart demo version*. Setelah data didapat, data dimasukkan ke dalam diagram perbandingan antara air keluar secara teoritis dengan air keluar secara pengujian, hasil data *filler 1* dan *filler 2* dibandingkan dengan untuk mencari perbandingan efisiensi antara model *filler 1* dengan *filler 2*.

Untuk mencari persamaan kesetimbangan energi dibutuhkan entalpi air masuk ( $h_1$ ) dan keluar ( $h_2$ ) yang dapat dicari menggunakan lampiran -7. Setelah data didapat lalu dimasukkan ke persamaan kesetimbangan energi (2.5) untuk mencari selisih antara energi masuk dan keluar. Persamaan 2.5 juga bisa digunakan untuk mencari suhu air keluar secara teori ( $T_{2 \text{ teoritis}}$ ).

## **BAB IV**

### **HASIL dan PEMBAHASAN**

Pembuatan *prototype* mesin *cooling tower* pada penelitian ini merupakan perancangan awal. Pada penelitian ini diharapkan efektivitas dari mesin yang dirancang memiliki selisih yang sedikit dengan data secara teoritis.

#### **4.1 Hasil Perancangan**

##### **4.1.1 Desain kerangka dasar mesin *cooling tower***

Desain mesin mengalami beberapa perubahan disebabkan banyaknya penyesuaian yang harus dilakukan, diantaranya adalah penyesuaian antara desain mesin dengan bentuk komponen pendukung mesin yang nantinya akan dipakai. Setelah beberapa kali proses penyesuaian dan perbaikan desain, akhirnya didapatkan desain yang sesuai sehingga proses pembuatan kerangka dasar mesin dapat dimulai.

##### **4.1.2 Pembuatan kerangka dasar mesin *cooling tower***

Setelah desain didapatkan, proses pembuatan kerangka dasar mesin dimulai. Terlebih dahulu mempersiapkan proses pembuatan, seperti pemilihan material. Sebagian besar material yang digunakan adalah besi siku dengan 4 mm x 4 cm. Kerangka dasar yang telah dibuat sebelumnya dijadikan patokan penentuan dimensi mesin.

Komponen-komponen pendukung mesin juga digunakan untuk mendapatkan dimensi mesin yang paling sesuai. Kerangka dasar tersebut dibuat dari besi siku yang dilas pada sudut-sudutnya sehingga membentuk kerangka. Kerangka awal pertama kali dibuat menggunakan besi siku berlubang. Penggunaan besi siku berlubang diharapkan dapat mempermudah perangkaian dan modifikasi pada *cooling tower*.





Gambar 4.1 Kerangka Awal

Perbaikan pertama, yaitu mengganti jenis besi yang digunakan dari besi siku berlubang menjadi besi siku padat karena kekuatan besi siku berlubang tidak mampu menahan getaran motor kipas dan beban dari *filler*. Dan mengubah posisi bak pemanas menjadi di atas *cooling tower*.



Gambar 4.2 Kerangka Perbaikan Pertama

Perbaikan kedua, yaitu mengubah bentuk dudukan *filler* bagian atas menjadi lebih sederhana, mengubah dudukan kipas ke posisi *center* bagian atas *cooling tower*, dan mengubah kembali posisi bak pemanas menjadi di bagian bawah dalam *cooling tower*.



Gambar 4.3 Kerangka Perbaikan Kedua

Setelah terjadi beberapa pergantian desain kerangka dasar *cooling tower*, kerangka dasar *cooling tower* yang digunakan dapat dilihat pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Kerangka dasar *cooling tower* yang digunakan

#### **4.1.3 Pembuatan plat *filler***

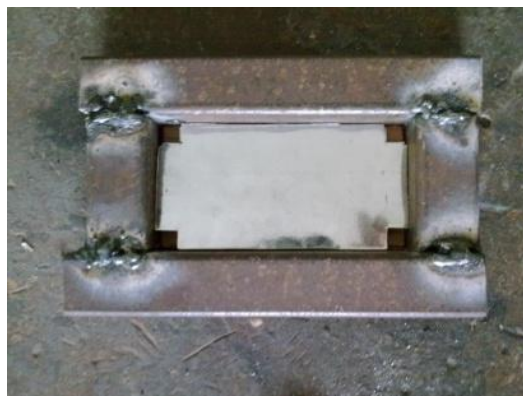
Proses pembuatan plat *filler* pada awalnya dimulai dengan menentukan desain dan material yang akan digunakan. Setelah desain dibuat selanjutnya adalah proses pembuatan plat *filler*. Pada proses pembuatan plat terjadi beberapa kali kegagalan. Sehingga banyak plat *filler* yang tidak bisa digunakan.

Kegagalan yang paling banyak ditemukan adalah pada proses pelubangan dudukan plat *filler*. Pada awalnya proses pelubangan plat dilakukan dengan cara menumpuk beberapa plat lalu dijepit menggunakan tang dan melubanginya secara perlahan. Hasil dari proses ini dapat dilihat di gambar 4.5.



Gambar 4.5 Hasil percobaan pertama

Percobaan kedua dilanjutkan dengan menggunakan alat bantu berupa bingkai persegi (gambar 4.6) agar proses pelubangan diharapkan menjadi lebih cepat dan seragam karena plat bisa ditumpuk sesuai dengan ketebalan bingkai. Tetapi pada saat proses pengeboran berlangsung, tumpukan plat *filler* terangkat karena penekanan plat hanya menggunakan tangan. Sehingga gram hasil pengeboran masuk ke antara tumpukan plat. Dan hasil percobaan kedua dapat dilihat pada gambar 4.7.



Gambar 4.6 Bingkai persegi





Gambar 4.7 Hasil percobaan kedua

Percobaan ketiga dilanjutkan dengan penambahan penjepit (gambar 4.8). Penambahan penjepit ini diharapkan agar gram tidak masuk ke antara plat *filler* yang akan dilubangi. Hasil percobaan ketiga dapat dilihat pada gambar 4.9.



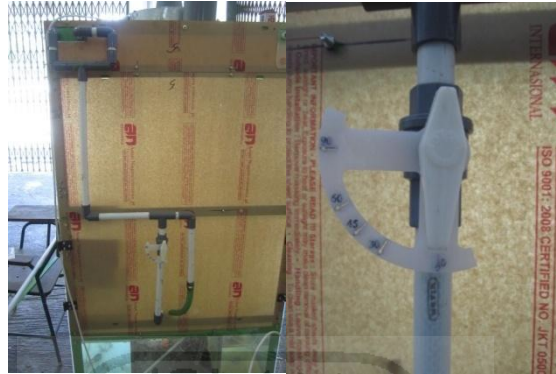
Gambar 4.8 Alat bantu penjepit dan bingkai



Gambar 4.9 Hasil percobaan ketiga

#### **4.1.4 Pengaturan debit air masuk *cooling tower***

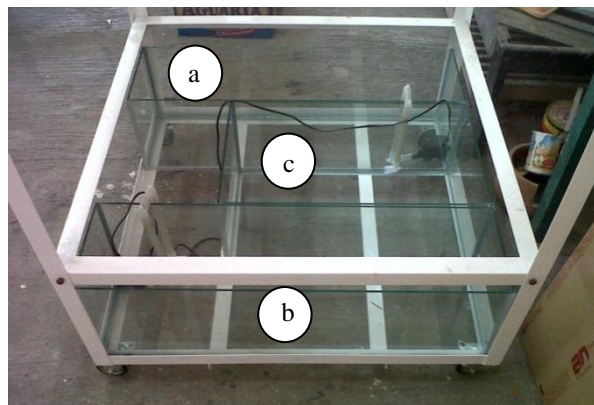
Pengaturan debit air pada *cooling tower* tergantung dari debit pompa yang diletakkan pada bak pemanas atau secara umum pompa yang berada di jalur keluar air. Debit air maksimal adalah sama dengan debit pompa, jadi pengaturan debit air hanya menggunakan bukaan kran (*valve*) dengan penambahan alat bantu penunjuk bukaan seperti pada gambar 4.10



Gambar 4.10 Rangkaian pipa pendistributor dan pengatur debit air masuk *cooling tower*

#### 4.1.5 Penempatan bak penampung (*basin*)

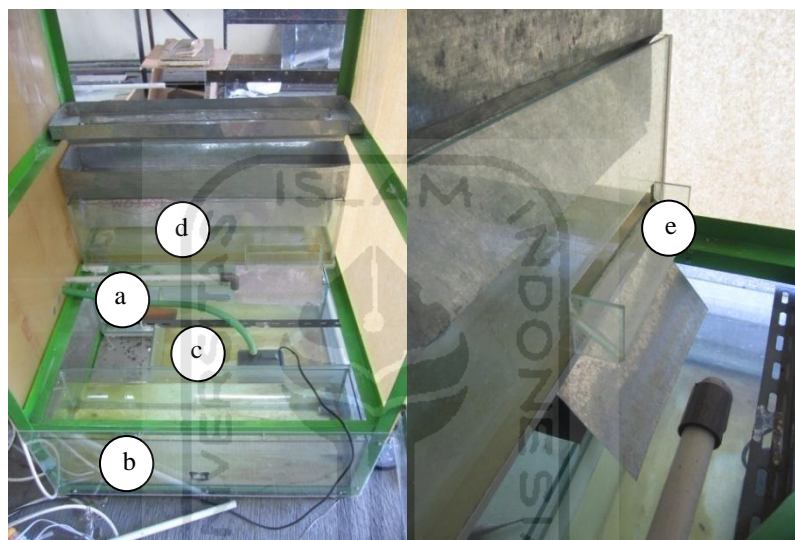
Perancangan penempatan bak penampung pada pembuatan *cooling tower* ini sangat penting untuk pengaturan aliaran air. Pada awalnya posisi bak penampung (*basin*) diletakkan sejajar dengan bak pemanas, sehingga dibutuhkan pompa yang memiliki debit sama dengan pompa pada bak pemanas untuk memindahkan air dari bak penampung air dari *filler* (gambar 4.11a dan b) ke bak pemanas (gambar 4.11c).



Gambar 4.11 Rancangan pertama posisi bak penampung



Pada perancangan pertama terdapat kendala yaitu sulit untuk menyamakan debit pompa yang ada di bak pemanas (gambar 4.12c) dengan pompa yang ada di bak penampung (gambar 4.12a dan b). Sehingga terjadi perubahan posisi bak penampung yang awalnya sejajar menjadi di atas bak pemanas agar air dari bak penampung (gambar 4.12d) dapat langsung turun ke bak pemanas dengan debit air yang sama dengan pompa yang ada di bak pemanas dengan cara membuat lubang disisi bak penampung (gambar 4.12e). sedangkan bak penampung (gambar 4.12a dan b) berubah menjadi bak *make up water*.



Gambar 4.12 Rancangan kedua posisi bak penampung

## 4.2 Hasil Percobaan

Untuk memperoleh data air dan udara dari sistem *cooling tower*, digunakan alat bantu yaitu *thermometer* air raksa, *thermohygrometer* dan *anemometer*.


### 4.2.1 Percobaan *filler model splash*

Percobaan pada penelitian ini dilakukan 3 kali percobaan pada masing-masing model *filler*. Percobaan pertama dengan katup posisi 90 derajat, percobaan kedua dengan katup posisi 45 derajat, dan percobaan ketiga dengan katup posisi 0 derajat. Pada setiap percobaan tersebut ditetapkan suhu air masuk ( $T_1$ ) adalah  $60^{\circ}\text{C}$  dan diukur temperatur bola kering awal ( $T_{db3}$ ), temperatur bola kering akhir

( $T_{db4}$ ), kelembaban udara awal ( $RH_3$ ), kelembaban udara akhir ( $RH_4$ ), kecepatan udara masuk ( $v_3$ ), kecepatan udara keluar ( $v_4$ ), debit air ( $Q_{air}$ ), dan suhu air keluar ( $T_2$ ). Data dari hasil percobaan tersebut dijelaskan pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data udara dalam keadaan *steady* percobaan *filler* model *splash*

$Q_{air}$	0.308 ltr/s		0.270 ltr/s		0.118 ltr/s		Satuan
Arah	In (3)	Out (4)	In (3)	Out (4)	In (3)	Out (4)	
$T_{dbs}$	27.74	27.95	27.51	28.01	27.5	27.97	(°C)
$T_{wbs}$	24.62	25.44	25.28	26.07	25.19	25.98	(°C)
$RH_s$	77.71	81.93	83.71	85.93	83.14	85.57	(%)
$w_s$	18.37	19.65	19.56	20.72	19.41	20.58	(g/Kg)
$h_s$	74.77	78.25	77.57	81.02	77.18	80.63	(kJ/Kg)

 : Data yang didapat dari percobaan

Keterangan : Pada percobaan ini, data udara yang didapat adalah  $T_{db3}$ ,  $T_{db4}$ ,  $RH_3$  dan  $RH_4$ . Sedangkan  $T_{db3s}$ ,  $T_{db4s}$ ,  $RH_{3s}$  dan  $RH_{4s}$  adalah nilai rata-rata dari  $T_{db3}$ ,  $T_{db4}$ ,  $RH_3$  dan  $RH_4$  dalam keadaan *steady*. Setelah data dasar pada keadaan *steady* didapat, dilanjutkan dengan mencari  $T_{wb3s}$ ,  $w_{3s}$ ,  $w_{4s}$ ,  $h_{3s}$ , dan  $h_{4s}$  menggunakan *software CYTsoft Psychrometric Chart demo version*.

Tabel 4.2 Data air percobaan *filler* model *splash*

Q (ltr/s)	$T_1$ (°C)	$C_p$ (KJ/Kg °C)	$T_2$ (°C)	$C_p$ (KJ/Kg °C)	$\Delta T$ (°C)
0.302	30.00	4.18	28.00	4.18	2.00
0.270	31.50	4.18	28.57	4.18	2.93
0.118	35.00	4.18	29.14	4.18	5.86


Keterangan : spesifik kalor ( $C_p$ ) dapat diketahui menggunakan tabel *properties of common liquids* (lampiran-7).

#### 4.2.2 Percobaan *filler* model kombinasi *splash* dan *crossflow*

Langkah-langkah pada percobaan ini sama seperti percobaan di atas. Data dari hasil percobaan tersebut dijelaskan pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Data udara percobaan *filler* model kombinasi *splash* dan *crossflow*

$Q_{air}$	0.308 ltr/s		0.270 ltr/s		0.118 ltr/s		Satuan
Arah	In (3)	Out (4)	In (3)	Out (4)	In (3)	Out (4)	
$T_{dbs}$	28.42	28.72	27.52	27.87	27.14	27.76	(°C)
$T_{wbs}$	22.17	23.76	22.35	23.9	22.88	24.5	(°C)
$RH_s$	58.43	66.43	64.29	72.14	69.86	76.69	(%)
$w_s$	14.28	16.58	14.93	17.15	15.89	18.17	(g/Kg)
$h_s$	65.04	71.22	65.75	71.8	67.81	74.28	(kJ/Kg)

 : Data yang didapat dari percobaan

Keterangan : Pada percobaan ini, data udara yang didapat adalah  $T_{db3}$ ,  $T_{db4}$ ,  $RH_3$  dan  $RH_4$ . Sedangkan  $T_{db3s}$ ,  $T_{db4s}$ ,  $RH_{3s}$  dan  $RH_{4s}$  adalah nilai rata-rata dari  $T_{db3}$ ,  $T_{db4}$ ,  $RH_3$  dan  $RH_4$  dalam keadaan *steady*. Setelah data dasar pada keadaan *steady* didapat, dilanjutkan dengan mencari  $T_{wb3s}$ ,  $w_{3s}$ ,  $w_{4s}$ ,  $h_{3s}$ , dan  $h_{4s}$  menggunakan *software CYTsoft Psychrometric Chart demo version*.

Tabel 4.4 Data air percobaan *filler* model kombinasi *splash* dan *crossflow*

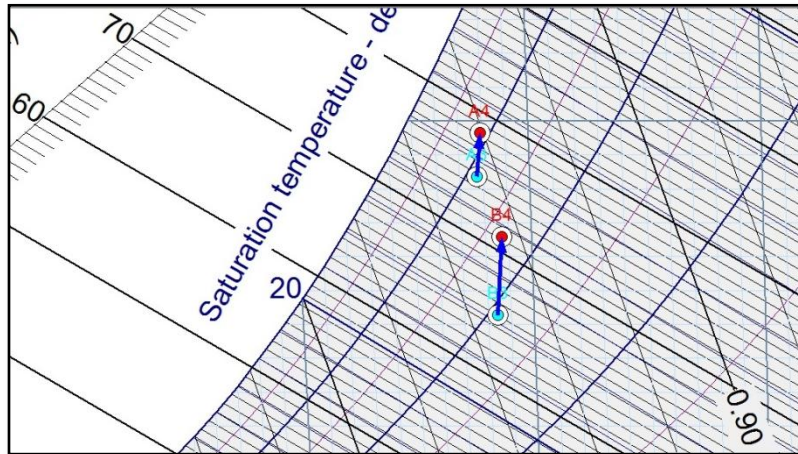
$Q_{air}$ (ltr/s)	$T_{water\ in}$ (°C)	$C_p$ (KJ/Kg °C)	$T_{water\ Out}$ (°C)	$C_p$ (KJ/Kg °C)	$\Delta T$ (°C)
0.302	30.00	4.18	28.07	4.18	1.93
0.270	32.14	4.18	28.00	4.18	4.14
0.118	34.00	4.18	28.00	4.18	6.00

Keterangan : spesifik kalor ( $C_p$ ) dapat diketahui menggunakan tabel *properties of common liquids* (lampiran-7).

### 4.2.3 Perbandingan Antara *Splash Filler* dan *Crossflow Splash Filler*

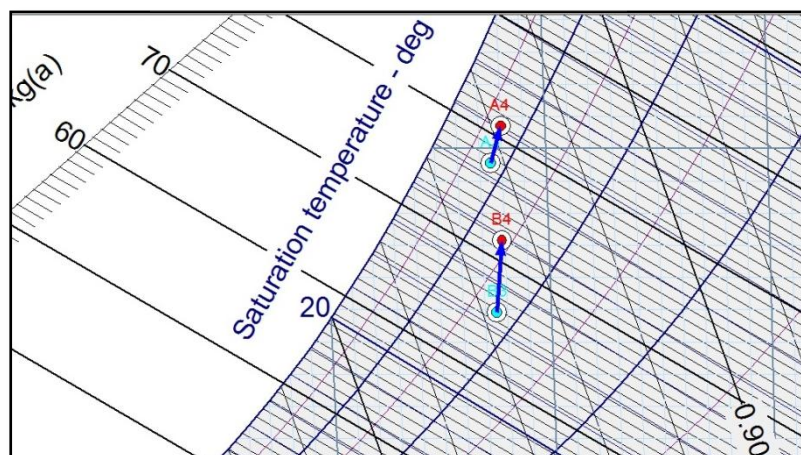
Percobaan pada jenis *filler* ini dilakukan dengan menggunakan variasi debit air ( $Q_{air}$ ). Debit air yang digunakan adalah 0,308 ltr/s, 0,270 ltr/s, dan 0,118 ltr/s.





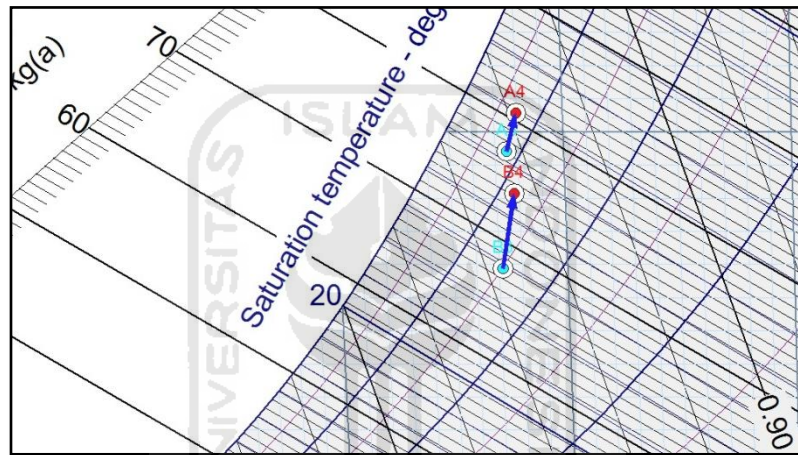
Gambar 4.13 Diagram Psikrometrik untuk debit air 0,302 ltr/s

Pada gambar 4.10 didapat data model *filler* 1 pada keadaan temperatur udara masuk ( $T_3$ ) 27,74 °C dan kelembaban relatif ( $RH_3$ ) 77,71% memiliki kelembaban absolut ( $w_3$ ) 18,37 gr/Kg. Udara yang keluar dari *cooling tower* memiliki suhu ( $T_4$ ) 27,95 °C dan kelembaban relatif ( $RH_4$ ) 81,93% kelembaban absolut ( $w_4$ ) 19.65 gr/Kg. sedangkan pada model *filler* 2 didapat data udara pada temperatur udara masuk ( $T_3$ ) 28,42 °C dan kelembaban relatif ( $RH_3$ ) 58,43% masuk memiliki kelembaban absolut ( $w_3$ ) 14,28 gr/Kg. Udara yang keluar dari *cooling tower* pada temperatur udara keluar ( $T_4$ ) 28,72 °C dan kelembaban relatif ( $RH_4$ ) 66,43% memiliki kelembaban absolut ( $w_4$ ) 16,58 gr/Kg.



Gambar 4.14 Diagram Psikrometrik untuk debit air 0,270 ltr/s

Pada gambar 4.14 didapat data model *filler* 1 pada keadaan temperatur udara masuk ( $T_3$ ) 27,51 °C dan kelembaban relatif ( $RH_3$ ) 83,71% memiliki kelembaban absolut ( $w_3$ ) 19,56 gr/Kg. Udara yang keluar dari *cooling tower* memiliki suhu ( $T_4$ ) 28,01 °C dan kelembaban relatif ( $RH_4$ ) 85,93% kelembaban absolut ( $w_4$ ) 20,74 gr/Kg. sedangkan pada model *filler* 2 didapat data udara pada temperatur udara masuk ( $T_3$ ) 27,52 °C dan kelembaban relatif ( $RH_3$ ) 64,29% masuk memiliki kelembaban absolut ( $w_3$ ) 14,93 gr/Kg. Udara yang keluar dari *cooling tower* pada temperatur udara keluar ( $T_4$ ) 27,87 °C dan kelembaban relatif ( $RH_4$ ) 72,14% memiliki kelembaban absolut ( $w_4$ ) 17,15 gr/Kg.



Gambar 4.15 Diagram Psikrometrik untuk debit air 0,118 ltr/s

Pada gambar 4.15 didapat data model *filler* 1 pada keadaan temperatur udara masuk ( $T_3$ ) 27,5 °C dan kelembaban relatif ( $RH_3$ ) 83,14% memiliki kelembaban absolut ( $w_3$ ) 19,41 gr/Kg. Udara yang keluar dari *cooling tower* memiliki suhu ( $T_4$ ) 27,97 °C dan kelembaban relatif ( $RH_4$ ) 85,57% kelembaban absolut ( $w_4$ ) 20,58 gr/Kg. sedangkan pada model *filler* 2 didapat data udara pada temperatur udara masuk ( $T_3$ ) 27,14 °C dan kelembaban relatif ( $RH_3$ ) 69,86% masuk memiliki kelembaban absolut ( $w_3$ ) 15,89 gr/Kg. Udara yang keluar dari *cooling tower* pada temperatur udara keluar ( $T_4$ ) 27,76 °C dan kelembaban relatif ( $RH_4$ ) 76,69% memiliki kelembaban absolut ( $w_4$ ) 18,17 gr/Kg.

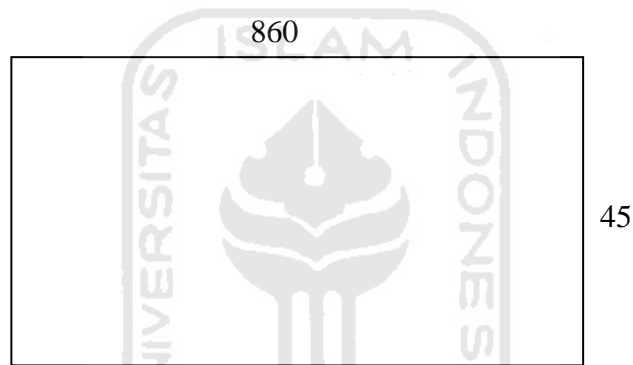
### 4.3 Perhitungan laju aliran massa

Untuk menghitung kesetimbangan energi perlu dilakukan perhitungan laju aliran massa air dan udara. Data perhitungan laju aliran massa dapat diukur dari kecepatan air dan udara pada suatu luas penampang dengan berat jenis dari air dan udara.

#### 4.3.1 Perhitungan laju aliran massa udara

Perhitungan laju aliran massa udara masuk dan keluar dengan kecepatan udara masuk ( $v_3$ ) 2,2 m/s dan kecepatan udara keluar ( $v_4$ ) 3,3 m/s.  $\rho_{\text{udara}} = 1,2 \text{ kg/m}^3$ .

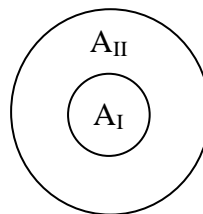
1. Menghitung luas penampang masukan udara ke *cooling tower*



Gambar 4.16 Penampang masukan udara ke *cooling tower*

$$\begin{aligned} A_3 &= \text{panjang} \times \text{lebar} \\ &= 860 \text{ mm} \times 45 \text{ mm} \\ &= 38700 \text{ mm}^2 = 0,0387 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

2. Menghitung luas penampang keluaran udara dari *cooling tower*



Gambar 4.17 Penampang cerobong udara *cooling tower*

$$\begin{aligned} A_I &= 0,5(\pi.r^2) \\ &= 0,5 \cdot 3,14 \cdot (127,4 \text{ mm})^2 \\ &= 25482,29 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A_{II} &= 0,5(\pi.r^2) \\
&= 0,5 \cdot 3,14 \cdot (220 \text{ mm})^2 \\
&= 75988 \text{ mm}^2 \\
A_4 &= A_{II} - A_I = 50505,71 \text{ mm}^2 = 0.0505 \text{ m}^2
\end{aligned}$$

3. Menghitung laju aliran massa udara masuk ( $\dot{m}_3$ )

$$\begin{aligned}
\dot{m}_3 &= v_3 \cdot A_3 \cdot \rho_{\text{udara}} \\
&= 2,2 \text{ m/s} \cdot 0,0387 \text{ m}^2 \cdot 1,2 \text{ kg/m}^3 \\
&= 0.1022 \text{ kg/s}
\end{aligned}$$

4. Menghitung laju aliran massa udara keluar ( $\dot{m}_4$ )

$$\begin{aligned}
\dot{m}_4 &= v_4 \cdot A_4 \cdot \rho_{\text{udara}} \\
&= 3,3 \text{ m/s} \cdot 0,0505 \text{ m}^2 \cdot 1,2 \text{ kg/m}^3 \\
&= 0.2000 \text{ kg/s}
\end{aligned}$$

### 4.3.2 Perhitungan laju aliran massa air

Perhitungan laju aliran massa air ditentukan dari debit air yang diujikan. 0,302 ltr/s, 0,270 ltr/s, dan 0,118 ltr/s.  $\rho_{\text{air}} = 1000 \text{ kg/m}^3$ .

1. Menghitung laju aliran massa ( $\dot{m}_1$ ) debit 0,302 ltr/s

$$\begin{aligned}
\dot{m}_1 @ 0.302 \text{ ltr/s} &= Q_{\text{air}} \cdot \rho_{\text{air}} \\
&= 0,302 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1000 \text{ kg/m}^3 \\
&= 0,302 \text{ kg/s}
\end{aligned}$$

2. Menghitung laju aliran massa ( $\dot{m}_1$ ) debit 0,270 ltr/s

$$\begin{aligned}
\dot{m}_1 @ 0.270 \text{ ltr/s} &= Q_{\text{air}} \cdot \rho_{\text{air}} \\
&= 0,270 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1000 \text{ kg/m}^3 \\
&= 0,270 \text{ kg/s}
\end{aligned}$$

3. Menghitung laju aliran massa ( $\dot{m}_1$ ) debit 0,118 ltr/s

$$\begin{aligned}
\dot{m}_1 @ 0.118 \text{ ltr/s} &= Q_{\text{air}} \cdot \rho_{\text{air}} \\
&= 0,118 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1000 \text{ kg/m}^3 \\
&= 0,118 \text{ kg/s}
\end{aligned}$$

#### 4.4 Perhitungan kelembaban absolut (w), entalpi uap air di udara ( $h_g$ ), dan kalor spesifik ( $C_p$ ) untuk data udara

Untuk menghitung kesetimbangan energi perlu dilakukan penyeragaman satuan dari kelembaban absolut dan entalpi uap air pada udara kedalam Kg udara lembab (Kg udara kering ditambah dengan Kg air). Sedangkan kalor spesifik didapat dari tabel kalor spesifik gas ideal udara (lampiran-6).

##### 4.4.1 Perhitungan kelembaban absolut (w)

Perhitungan kelembaban absolut ditujukan untuk menyeragamkan satuan pada persamaan kesetimbangan energi. Perhitungan yang sama juga dilakukan pada kelembaban absolut udara lain yang didapat dari diagram psikrometrik.

Perhitungan kelembaban absolut pada debit air = 0,302 ltr/s.

$$\begin{aligned} W_3 @ 0.302 \text{ ltr/s} &= 18,37 \text{ gr/Kg} \\ &= 0,01837 \text{ Kg air / Kg udara kering} \\ &= 0,01837 \text{ Kg air / (1 Kg udara kering + 0,01837 Kg air)} \\ &= 0,01837 \text{ Kg air / 1,01837 Kg udara lembab} \\ &= 0,01804 \text{ Kg air / Kg udara lembab} \\ W_4 @ 0.302 \text{ ltr/s} &= 19,65 \text{ gr/Kg} \\ &= 0,01965 \text{ Kg air / Kg udara kering} \\ &= 0,01965 \text{ Kg air / (1 Kg udara kering + 0,01965 Kg air)} \\ &= 0,01965 \text{ Kg air / 1,01965 Kg udara lembab} \\ &= 0,01927 \text{ Kg air / Kg udara lembab} \end{aligned}$$

##### 4.4.2 Perhitungan entalpi (h)

Seperti kelembaban absolut, perhitungan entalpi uap air pada udara ( $h_g$ ) ditujukan untuk menyeragamkan satuan pada persamaan kesetimbangan energi. Perhitungan yang sama juga dilakukan pada entalpi uap air pada udara ( $h_g$ ) lain yang didapat dari diagram psikrometrik.

Perhitungan entalpi pada debit air = 0,302 ltr/s.

$$h_{g3} @ 0.302 \text{ ltr/s} = 74,77 \text{ KJ/Kg udara kering}$$

$$\begin{aligned}
&= 74,77 \text{ KJ} / 1,01837 \text{ Kg udara lembab} \\
&= 73,42 \text{ KJ/Kg udara lembab} \\
h_{g4} @0.302 \text{ ltr/s} &= 78,25 \text{ KJ/Kg udara kering} \\
&= 78,25 \text{ KJ} / 1,01965 \text{ Kg udara lembab} \\
&= 76,74 \text{ KJ/Kg udara lembab}
\end{aligned}$$

#### 4.4.2 Perhitungan kalor spesifik (Cp)

Perhitungan kalor spesifik pada udara digunakan untuk mencari entalpi udara masuk ( $h_3$ ) ke *cooling tower*. Kalor spesifik ( $Cp_3$ ) dapat dicari menggunakan tabel kalor spesifik gas ideal udara (lampiran-6).

Perhitungan kalor spesifik pada debit air = 0,302 ltr/s.

Karena pada debit air 0.302 ltr/s diketahui  $T_3 = 27,74 \text{ }^\circ\text{C}$  dan pada tabel kalor spesifik gas ideal udara (lampiran-2) diketahui T dalam satuan Kelvin. Sehingga  $T_3 = (27,74 + 273) \text{ K} = 300,74 \text{ K}$ . untuk menghitung kalor spesifik ( $Cp$ ) menggunakan persamaan interpolasi.

$$Cp_{@300K} = 1,005 \text{ KJ/Kg.K} , Cp_{@350K} = 1,008 \text{ KJ/Kg.K}$$

$$\begin{aligned}
\frac{T_{350K} - T_3}{T_{350K} - T_{300K}} &= \frac{Cp_{@350K} - Cp_3}{Cp_{@350K} - Cp_{@300K}} \\
\frac{350 - 300,74}{350 - 300} &= \frac{1,008 - Cp_3}{1,008 - 1,005} \\
Cp_3 &= 1,008 + ((49,26 \cdot 0,003)/50) \\
&= 1,00504 \text{ KJ/Kg.K} \\
&= 1,00504 \text{ KJ/Kg. }^\circ\text{C}
\end{aligned}$$

Perhitungan yang sama juga dilakukan pada kalor spesifik ( $Cp$ ) lainnya.

Tabel 4.5 Kelembaban absolut, entalpi uap air di udara masuk, dan kalor spesifik.

$Q_{\text{air}} = 0.302 \text{ ltr/s}$		$Q_{\text{air}} = 0.270 \text{ ltr/s}$		$Q_{\text{air}} = 0.118 \text{ ltr/s}$		satuan
$w_3$	$w_4$	$w_3$	$w_4$	$w_3$	$w_4$	
0.01804	0.01927	0.01918	0.02030	0.01904	0.02017	Kg air/Kg udara lembab
$h_{g3}$	$h_{g4}$	$h_{g3}$	$h_{g4}$	$h_{g3}$	$h_{g4}$	
73.42	76.74	76.08	79.38	75.71	79.00	KJ/Kg udara lembab
$Cp_3$	$Cp_4$	$Cp_3$	$Cp_4$	$Cp_3$	$Cp_4$	KJ/Kg $^\circ\text{C}$
1.00504	1.00506	1.00503	1.00506	1.00503	1.00506	

## 4.5 Perhitungan persamaan kesetimbangan energi

Persamaan kesetimbangan energi digunakan untuk mencari selisih antara energi yang masuk kedalam sistem *cooling tower* dan yang keluar dari *cooling tower*. Persamaan kesetimbangan energi ini juga dapat digunakan untuk membandingkan antara suhu air keluar secara teoritis ( $T_{2 \text{ teoritis}}$ ) dengan suhu air keluar secara praktek ( $T_{2 \text{ praktek}}$ ).

Perhitungan kesetimbangan energi pada debit air = 0,302 ltr/s.

$$\dot{m}_1 = 0,302 \quad \text{Kg/s}$$

$$Cp_1 = 4,18 \quad \text{KJ/Kg } ^\circ\text{C}$$

$$T_1 = 30 \quad ^\circ\text{C}$$

$$T_{ref} = 25 \quad ^\circ\text{C}$$

$$\dot{m}_2 = 0,302 \quad \text{Kg/s}$$

$$Cp_2 = 4,18 \quad \text{KJ/Kg } ^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 28 \quad ^\circ\text{C}$$

$$\dot{m}_3 = 0,1022 \quad \text{Kg/s}$$

$$Cp_3 = 1,00504 \quad \text{KJ/Kg } ^\circ\text{C}$$

$$T_3 = 27,74 \quad ^\circ\text{C}$$

$$W_3 = 0,01804 \quad \text{Kg air / Kg udara lembab}$$

$$h_{g3} = 73,42 \quad \text{Kg air / Kg udara lembab}$$

$$\dot{m}_4 = 0,2000 \quad \text{Kg/s}$$

$$Cp_4 = 1,00506 \quad \text{KJ/Kg } ^\circ\text{C}$$

$$T_4 = 27,95 \quad ^\circ\text{C}$$

$$W_4 = 0,01927 \quad \text{Kg air / Kg udara lembab}$$

$$h_{g4} = 76,74 \quad \text{Kg air / Kg udara lembab}$$



$$\text{Energi Masuk } (Q_{in}) = \dot{m}_1 (Cp_1(T_1 - T_{ref})) + \dot{m}_3 (Cp_3(T_3) + W_3 \cdot h_{g3})$$

$$\text{Energi Masuk } (Q_{out}) = \dot{m}_2 (Cp_2(T_2 - T_{ref})) + \dot{m}_4 (Cp_4(T_4) + W_4 \cdot h_{g4})$$

$$\begin{aligned} Q_{in} &= 0,302(4,18(30-25))+0,1022(1,00504 \cdot 27,74+0,01804 \cdot 73,42) \\ &= 6,3118 + 2,9847 \\ &= 9,2965 \text{ KJ/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{out} &= 0,302(4,18(28-25))+0,2000(1,00506 \cdot 27,95+0,01927 \cdot 76,74) \\ &= 3,7871 + 5,9140 \\ &= 9,7011 \text{ KJ/s} \end{aligned}$$

$$\text{Selisih energi} = Q_{out} - Q_{in} = 0,4046 \text{ KJ/s}$$

Perhitungan  $T_2$  secara teoritis menggunakan persamaan 2.5.

$$Q_{in} = Q_{out}$$

$$0,302(4,18(30-25))+0,1022((1,00504 \cdot 27,74)+(0,01804 \cdot 73,42)) = 0,302(4,18(T_2-25))+0,2000((1,00506 \cdot 27,95)+(0,01927 \cdot 76,74))$$

$$6,31180 + 2,9847 = 0,302(4,18(T_2-25)) + 5,9140$$

$$0,302(4,18(T_2-25)) = 6,31180 + 2,9847 - 5,9140$$

$$(T_2-25) = 3.3825$$

$$T_2 \text{ teoritis} = 28,38^\circ\text{C}$$

Tabel 4.6 Hasil perhitungan kesetimbangan energi dan suhu air keluar teoritis

Model filler 1					
Debit (ltr/s)	$Q_{in}$ (KJ/s)	$Q_{out}$ (KJ/s)	$\Delta Q$ (KJ/s)	$T_2$ teoritis ( $^\circ\text{C}$ )	$T_2$ praktek ( $^\circ\text{C}$ )
0.302	9.2965	9,7011	0,4046 (4.17%)	28.38	28.00
0.270	10.31074	9.98171	0.32903 (3.2%)	28.86	28.57
0.118	7.90436	7.98293	0.07857 (0.98%)	28.98	29.14

Model filler 2					
Debit (ltr/s)	$Q_{in}$ (KJ/s)	$Q_{out}$ (KJ/s)	$\Delta Q$ (KJ/s)	$T_2$ teoritis ( $^\circ\text{C}$ )	$T_2$ praktek ( $^\circ\text{C}$ )
0.302	9.31896	9.86563	0.54666 (5.56%)	27.64	28.07
0.270	10.97765	9.21386	1.76379 (16%)	29.56	28.00
0.118	7.32827	7.30652	0.02176 (0.29%)	28.04	28.00



## 4.6 Analisis pengujian

Dalam penelitian ini analisis diarahkan untuk menganalisis hasil dari pengujian masing-masing model *filler*.

1. Perbandingan efisiensi model filler 1 dan model filler 2 :

Pada perbandingan efisiensi antara model *filler* 1 dengan model *filler* 2 dengan debit air 0.302 ltr/s di dapat data  $\Delta W_{\text{model1}} = 1,28 \text{ g/kg}$  dan  $\Delta W_{\text{model2}} = 2,3 \text{ g/kg}$ . disimpulkan bahwa pada model *filler* 2 udara lebih banyak menyerap air dalam bentuk uap. Sehingga pada model *filler* 2 lebih banyak air yang tersaturasi. Begitu juga dengan debit air 0.270 ltr/s di dapat data  $\Delta W_{\text{model1}} = 1,18 \text{ g/kg}$  dan  $\Delta W_{\text{model2}} = 2,22 \text{ g/kg}$  dan dengan debit air 0.118 ltr/s di dapat data  $\Delta W_{\text{model1}} = 1,17 \text{ g/kg}$  dan  $\Delta W_{\text{model2}} = 2,28 \text{ g/kg}$ .

2. Perbandingan antara energi masuk dan energi keluar :

Pada pengujian antara model *filler* 1 dan model *filler* 2 didapat selisih antara energi masuk dengan keluar Data ditunjukkan pada tabel 4.6. selisih terjauh pada model *filler* 2 dengan debit 0,270 ltr/s sebesar 1,76379 KJ/s (16%).

3. Perbandingan data suhu air keluar teoritis dengan suhu air keluar praktek :

Dari data pada tabel 4.6 pencarian suhu air yang keluar dari *cooling tower* secara teoritis hampir lebih tinggi dari suhu air yang keluar dari *cooling tower* pada saat percobaan. Salah satu faktor yang mempengaruhinya adalah kepekaan alat pembaca data seperti *thermometer* dan *thermohyrometer* yang masih ada *error* dalam pembacaan. Sehingga mungkin saja pada kenyataannya suhu air keluar praktek lebih tinggi dari suhu air keluar teoritis.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

Bab ini menjelaskan beberapa kesimpulan sesuai dengan uraian yang telah dipaparkan pada bab-bab sebelumnya, serta saran-saran bagi pengembangan perancangan *cooling tower* lebih lanjut.

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian dan analisa data yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan:

1. Pada data hasil pengujian kinerja *cooling tower* dari 2 macam variasi *filler* yang didapat. Data menunjukkan penurunan suhu yang sesuai dengan prinsip dasar *cooling tower* sehingga *cooling tower* cukup layak digunakan sebagai alat uji prestasi dalam praktikum.
2. *Crossflow splash filler* menurunkan suhu air lebih baik dari *splash filler* karena pada *crossflow splash filler* air lebih teratur dan lebih lama terkena kontak dengan udara sehingga penurunan suhu air yang terjadi lebih optimal.
3. Kondisi lingkungan disekitar *cooling tower* berpengaruh terhadap kinerja dari *cooling tower* pada saat beroperasi. Karena udara yang masuk *cooling tower* menentukan besar penurunan suhu air yang masuk *cooling tower*.

#### **5.2 Saran**

Adapun saran-saran yang diberikan untuk memaksimalkan perancangan dan kinerja dari *cooling tower* adalah:

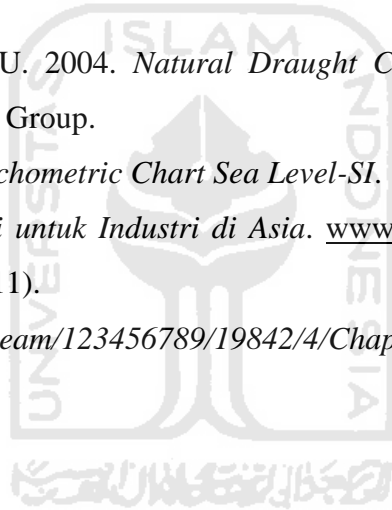
1. Dalam pembuatan alat diharapkan lebih memperhatikan masalah kebocoran-kebocoran baik udara, karena sangat berpengaruh pada data udara keluar *cooling tower* pada proses pengujian efektifitas *cooling tower*.
2. Bak pemanas sebaiknya diletakkan terpisah atau terisolasi dari *cooling tower* agar tidak mempengaruhi kinerja dari *cooling tower*.

3. Proses pengujian lebih baik dilakukan dengan jeda waktu yang lebih sempit, agar perubahan suhu lingkungan dan kelembabannya tidak terlalu besar.
4. Pembacaan data lebih baik menggunakan pembacaan secara digital dengan penempatan beberapa sensor yang tepat agar pembacaan data tiap pengujian bisa lebih cepat dan lebih akurat.



## DAFTAR PUSTAKA

- Department of Human Services' booklet *Evaporative Coolers: An Operation and Maintenance Guide for Owner*, State Government Victoria – USA.
- Efisiensi energy dari bureau. 2004. *Kementrian Tenaga India, Menara Pendingin, Dalam: Efisiensi Energi pada Utilitas Listrik, Bab 7*. India.
- Nicholas P, Cheremisinoff. 1981. *Cooling towers : Selection, Design, and Practice*. America.
- M.M.El-Walkil, 1992. *Instalasi Pembangkit Daya, Jilid 1, Cetakan I*. Jakarta: Erlangga.
- Moran M.J, Saphiro H.N. 2004. *Termodinamika Teknik, Jilid 2, Edisi 4*. Jakarta: Erlangga.
- Mungan, I. and Wittek, U. 2004. *Natural Draught Cooling Towers*. London: Taylor and Francis Group.
- Ogawa, Arthur. 2007. *Psychometric Chart Sea Level-SI*.
- Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia*. [www.energyefficiencyasia.org](http://www.energyefficiencyasia.org) (Diakses 21/05/2011).
- [Repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/19842/4/Chapter%20II.pdf](http://Repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/19842/4/Chapter%20II.pdf) (Diakses 07/01/2011)

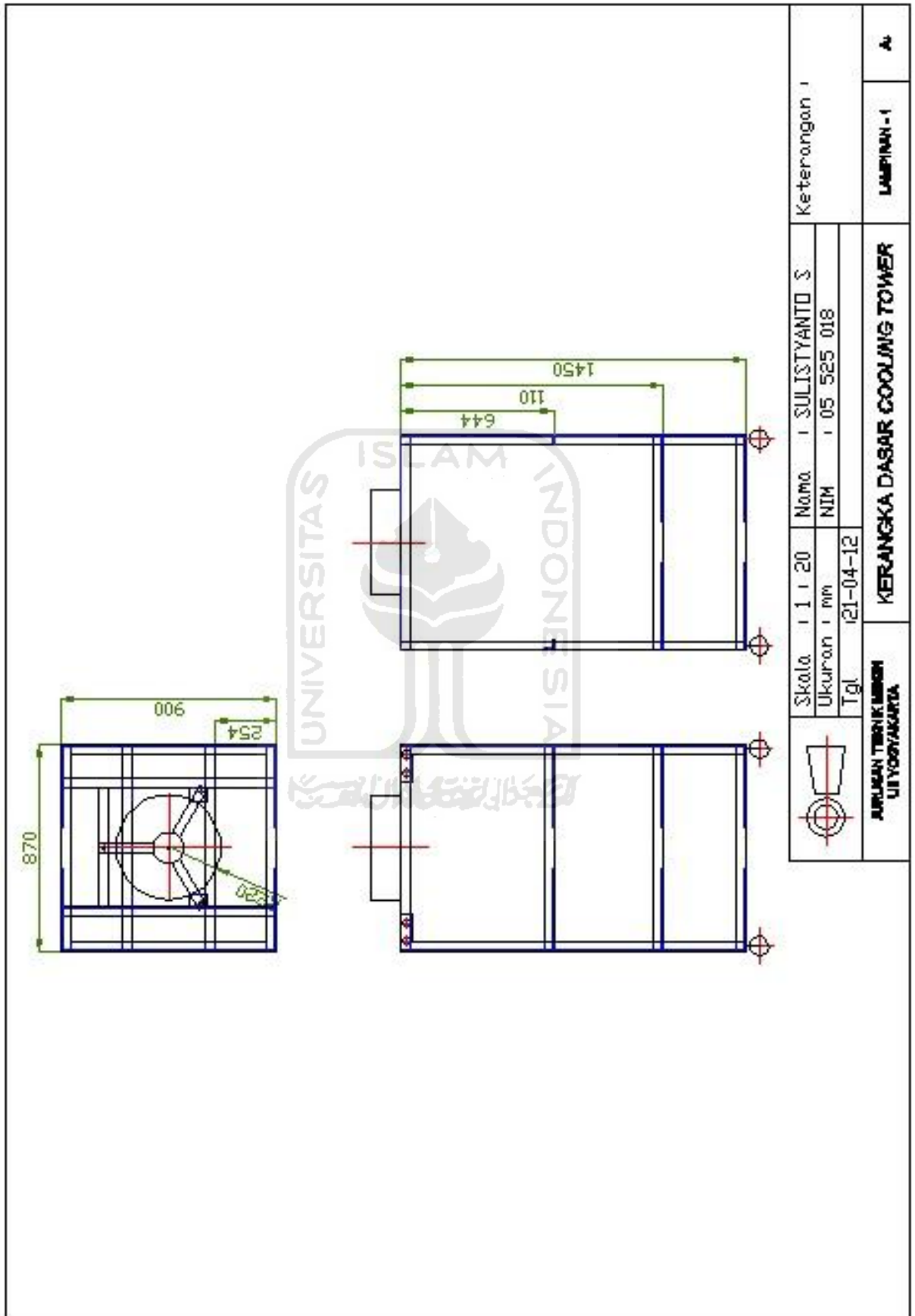


# LAMPIRAN 1

DESAIN KERANGKA *COOLING TOWER*



Lampiran – 1 : Desain Kerangka *Cooling Tower*



	Skala : 1 : 20	Nama : SULISTYANTO S	Keterangan :
	Ukuran : mm	NIM : 05 525 018	
	Tgl : 21-04-12		
<b>FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN</b> <b>UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA</b>	<b>KERANGKA DASAR COOLING TOWER</b>		<b>LAMPIRAN - 1</b>
			<b>A</b>

# LAMPIRAN 2

DATA UDARA HASIL PERCOBAAN PADA *FILLER* MODEL 1







Lampiran – 2 : Data Udara Hasil Percobaan Pada *Filler* Model 1

(2 dari 2)

Data udara hasil percobaan pada debit air 0.118 ltr/s

No	alat		termo		alat		termo		alat		termo		alat		termo		alat		termo		alat		termo		alat		termo						
	T <sub>ak2</sub>	T <sub>ak3</sub>	T <sub>ak2</sub>	T <sub>ak3</sub>	h <sub>3</sub>	w <sub>3</sub>	h <sub>4</sub>	T <sub>ak4</sub>	rata2	RH <sub>4</sub>	rata2	RH <sub>4</sub>	h <sub>4</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	selisih	w <sub>4</sub>	rata2	RH <sub>4</sub>	rata2	RH <sub>4</sub>	h <sub>4</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	selisih	w <sub>4</sub>	rata2	RH <sub>4</sub>	rata2	RH <sub>4</sub>			
1	26.9	27.3	27.1	77	77	17.51	71.91	33.4	30.9	32.15	95	77	86	59	44	15	26.53	100.24	86	86	100.24	83	27.95	85.5	85.5	27.6	83	27.95	85.5				
6	28.1	28.4	28.25	82	82	20.02	79.52	36	30.9	33.45	95	82	88.5	47	45	2	29.51	109.23	88.5	88.5	109.23	83	27.95	85.5	85.5	27.3	83	27.95	85.5				
12	28.5	28.7	28.6	82	82	20.45	80.97	30.1	29.4	29.75	91	81	86	42	33	9	23.01	88.71	86	86	88.71	83	27.95	85.5	85.5	27.4	83	27.95	85.5				
18	28.6	28.7	28.65	76	76	18.96	77.23	29.6	29.4	29.5	89	77	83	39	32	7	21.85	85.49	83	83	85.49	83	27.95	85.5	85.5	27.45	84	27.95	86				
24	28.3	28.6	28.45	82	82	20.27	80.43	29	29.2	29.1	88	82	85	37	31	6	21.87	85.11	85	85	85.11	83	27.95	85.5	85.5	27.6	83	27.95	85.5				
30	27.8	28.2	28	83	83	19.97	79.13	28.3	28	28.15	88	84	86	36	30	6	20.91	81.67	86	86	81.67	83	27.95	85.5	85.5	27.75	83	27.95	85.5				
36	27.5	28	27.75	83	83	19.68	78.11	27.9	28	27.95	88	83	85.5	35	30	5	20.53	80.5	85.5	85.5	80.5	83	27.95	85.5	85.5	27.6	83	27.95	85.5				
42	27.4	27.8	27.6	83	83	19.5	77.5	27.9	28	27.95	88	83	85.5	35	29	6	20.53	80.5	85.5	85.5	80.5	83	27.95	85.5	85.5	27.3	83	27.95	85.5				
48	27.1	27.5	27.3	83	83	19.15	76.29	28.2	28	28.1	88	83	85.5	35	29	6	20.72	81.13	85.5	85.5	81.13	83	27.95	85.5	85.5	27.4	83	27.95	85.5				
54	27.2	27.6	27.4	83	83	19.26	76.69	27.9	28	27.95	88	83	85.5	35	29	6	20.53	80.5	85.5	85.5	80.5	83	27.95	85.5	85.5	27.4	83	27.95	85.5				
60	27.3	27.6	27.45	84	84	19.56	77.51	27.9	28	27.95	88	84	86	35	29	6	20.85	81.45	86	86	81.45	83	27.95	85.5	85.5	27.4	83	27.95	85.5				
66	27.2	27.6	27.4	83	83	19.26	76.69	27.9	28	27.95	88	83	85.5	35	29	6	20.53	80.5	85.5	85.5	80.5	83	27.95	85.5	85.5	27.6	83	27.95	85.5				
72	27.4	27.8	27.6	83	83	19.5	77.5	27.9	28	27.95	88	83	85.5	35	29	6	20.53	80.5	85.5	85.5	80.5	83	27.95	85.5	85.5	27.6	83	27.95	85.5				
rata2		27.50	83.14	27.97	85.57	rata2		35.00	29.14	rata2		85.57	35.00	29.14	rata2		85.57	83.14	27.97	85.57	rata2		35.00	29.14	rata2		85.57	83.14	27.97	85.57			
rata2		w <sub>3</sub> s	19.41	w <sub>4</sub> s	20.58	rata2		h <sub>3</sub> s	77.18	h <sub>4</sub> s	80.63	rata2		h <sub>3</sub> s	77.18	h <sub>4</sub> s	80.63	rata2		h <sub>3</sub> s	77.18	h <sub>4</sub> s	rata2		h <sub>3</sub> s	77.18	h <sub>4</sub> s	rata2		h <sub>3</sub> s	77.18	h <sub>4</sub> s	80.63
rata2		T <sub>ak3</sub> s	25.17			rata2		T <sub>ak3</sub> s	25.17	rata2		T <sub>ak3</sub> s	25.17	rata2		T <sub>ak3</sub> s	25.17	rata2		T <sub>ak3</sub> s	25.17	rata2		T <sub>ak3</sub> s	25.17	rata2		T <sub>ak3</sub> s	25.17	rata2		T <sub>ak3</sub> s	25.17

pengujian mulai pukul 14.15

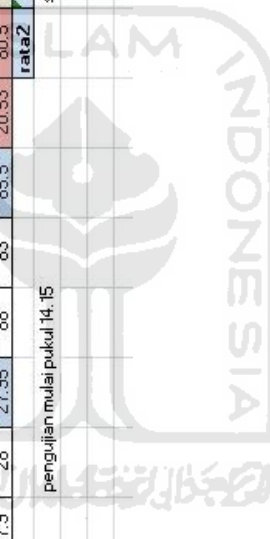
Twater awal = 60

satuan T Celcius

satuan RH %

Q = 0.118 ltr/s

pemanas 4000 watt



# LAMPIRAN 3

DATA UDARA HASIL PERCOBAAN PADA *FILLER* MODEL 2

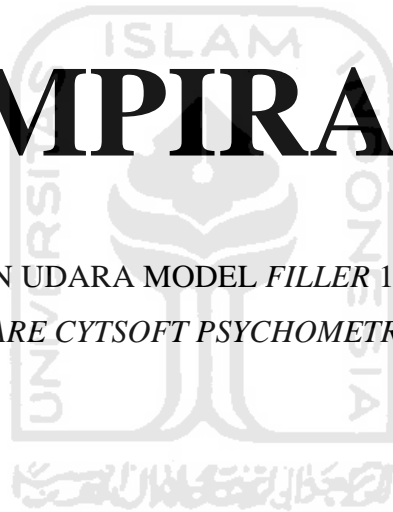






# LAMPIRAN 4

DATA PERCOBAAN UDARA MODEL *FILLER* 1 MENGGUNAKAN  
*SOFTWARE CYTSOFT PSYCHOMETRICS 2.2*





Lampiran – 4 : Data Percobaan Udara Model Filler 1 Menggunakan *Software Cytsoft Psychometrics 2.2* (1 dari 3)

1. Data udara masuk pada debit air = 0.302 ltr/s

Parameter	Value
DB	27.74
RH	77.71
DB:	27.74000000
WB:	24.61981769
RH:	77.71000000
W:	18.37323270
h:	74.77401028
v:	0.87727010
DP:	23.49195625
d:	1.13989978
dm:	1.16084342
AW:	0.02094364
vp:	2907.26071433

2. Data udara keluar pada debit air = 0.302 ltr/s

Parameter	Value
DB	27.95
RH	81.93
DB:	27.95000000
WB:	25.43925343
RH:	81.93000000
W:	19.64903770
h:	78.24701653
v:	0.87962693
DP:	24.57616300
d:	1.13684559
dm:	1.15918351
AW:	0.02233792
vp:	3102.95361503

3. Data udara masuk pada debit air = 0.270 ltr/s

Property	Value
DB:	27.51000000
WB:	25.27768494
RH:	83.71000000
W:	19.56352095
h:	77.57036009
v:	0.87822207
DP:	24.50554722
d:	1.13866416
dm:	1.16094044
AW:	0.02227628
vp:	3089.86072730

4. Data udara keluar pada debit air = 0.270 ltr/s

Property	Value
DB:	28.01000000
WB:	26.07386024
RH:	85.93000000
W:	20.71463524
h:	81.02804746
v:	0.88125888
DP:	25.43383245
d:	1.13474034
dm:	1.15824608
AW:	0.02350573
vp:	3265.80779297

5. Data udara masuk pada debit air = 0.118 ltr/s

State Point

DB	27.5
RH	83.14

DB: 27.5000000  
WB: 25.18643530  
RH: 83.14000000  
W: 19.41434104  
h: 77.17949747  
v: 0.87798927  
DP: 24.38160452  
d: 1.13896609  
dm: 1.16107836  
AW: 0.02211228  
vp: 3067.01244867

Pick On Screen <

OK Cancel

6. Data udara keluar pada debit air = 0.118 ltr/s

State Point

DB	27.97
RH	85.57

DB: 27.97000000  
WB: 25.98423248  
RH: 85.57000000  
W: 20.57574553  
h: 80.63196365  
v: 0.88095179  
DP: 25.32435649  
d: 1.13513589  
dm: 1.15849216  
AW: 0.02335627  
vp: 3244.61203423

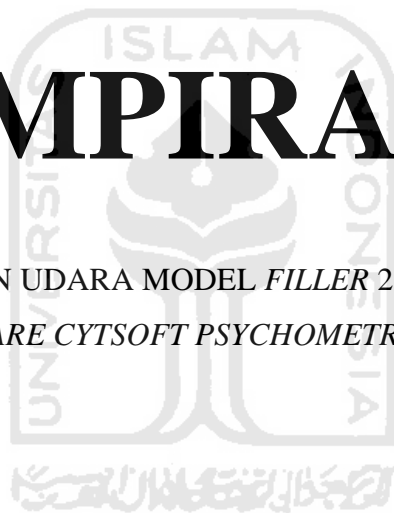
Pick On Screen <

OK Cancel



# LAMPIRAN 5

DATA PERCOBAAN UDARA MODEL *FILLER 2* MENGGUNAKAN  
*SOFTWARE CYTSOFT PSYCHOMETRICS 2.2*



Lampiran – 5 : Data Percobaan Udara Model *Filler 2* Menggunakan *Software Cytsoft Psychometrics 2.2* (1 dari 3)

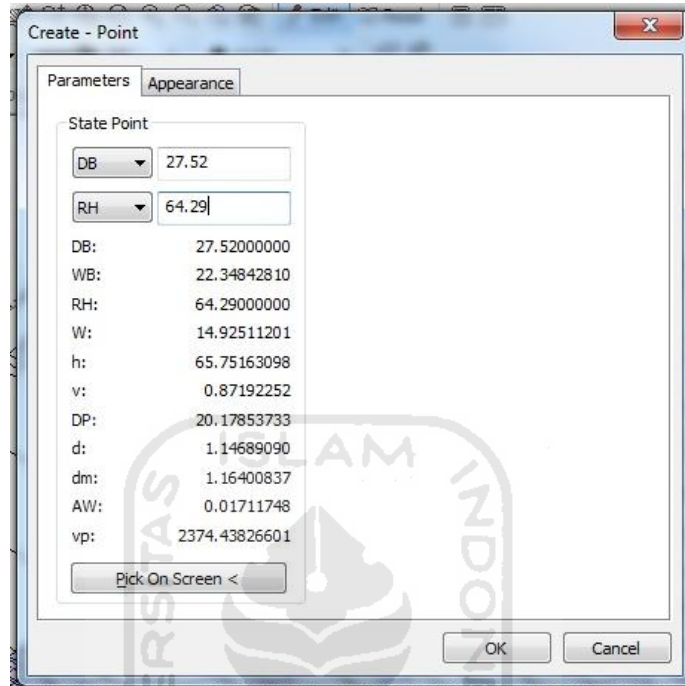
1. Data udara masuk pada debit air = 0.302 ltr/s

Parameter	Value
DB	28.42
RH	58.43
DB:	28.42000000
WB:	22.16876402
RH:	58.43000000
W:	14.28126234
h:	65.03886298
v:	0.87365727
DP:	19.48413308
d:	1.14461360
dm:	1.16096013
AW:	0.01634653
vp:	2274.30723875

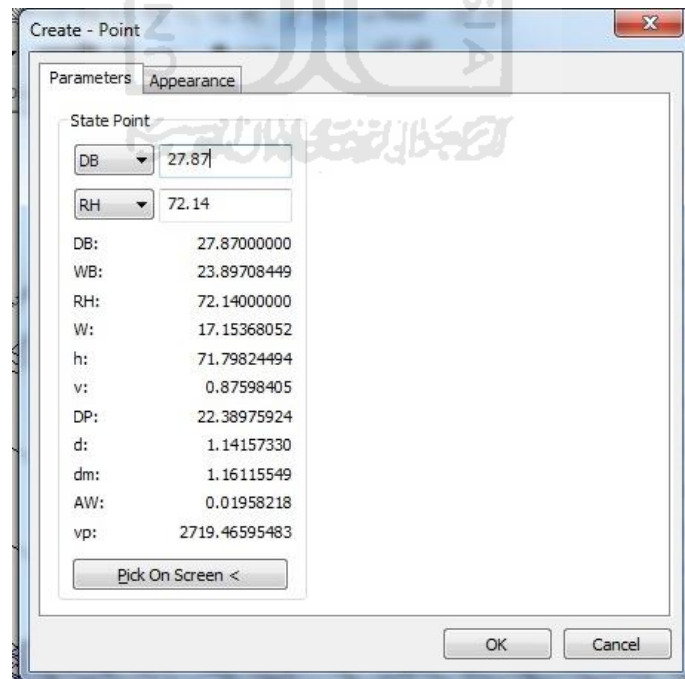
2. Data udara keluar pada debit air = 0.302 ltr/s

Parameter	Value
DB	28.72
RH	66.43
DB:	28.72000000
WB:	23.76259362
RH:	66.43000000
W:	16.58161057
h:	71.22009955
v:	0.87767938
DP:	21.84805520
d:	1.13936823
dm:	1.15826079
AW:	0.01889256
vp:	2631.12765881

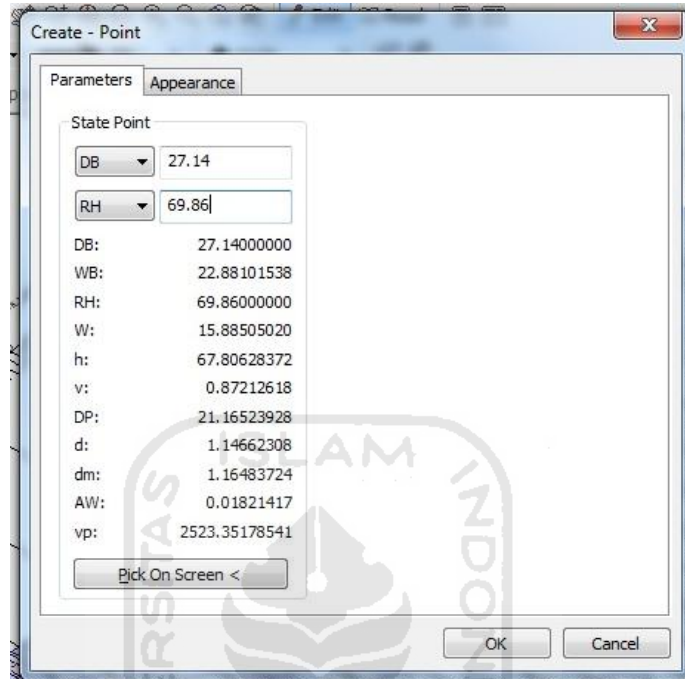
3. Data udara masuk pada debit air = 0.270 ltr/s



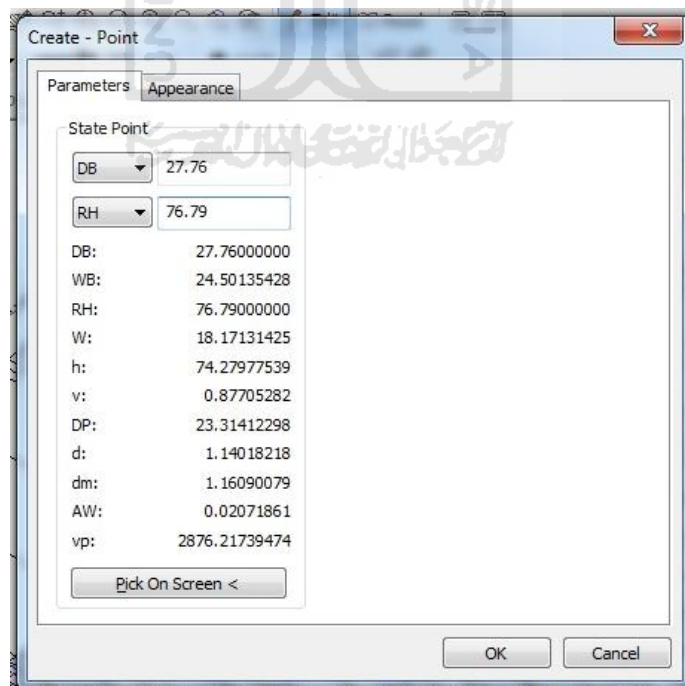
4. Data udara keluar pada debit air = 0.270 ltr/s



5. Data udara masuk pada debit air = 0.118 ltr/s



6. Data udara keluar pada debit air = 0.118 ltr/s



# LAMPIRAN 6

TABEL KALOR SPESIFIK GAS IDEAL



Lampiran – 6 : Tabel Kalor Spesifik Gas Ideal

Ideal-gas specific heats of various common gases

(b) At various temperatures

Temperature, K	$c_p$ kJ/kg · K	$c_v$ kJ/kg · K	$k$
	<i>Air</i>		
250	1.003	0.716	1.401
300	1.005	0.718	1.400
350	1.008	0.721	1.398
400	1.013	0.726	1.395
450	1.020	0.733	1.391
500	1.029	0.742	1.387
550	1.040	0.753	1.381
600	1.051	0.764	1.376
650	1.063	0.776	1.370
700	1.075	0.788	1.364
750	1.087	0.800	1.359
800	1.099	0.812	1.354
900	1.121	0.834	1.344
1000	1.142	0.855	1.336

# LAMPIRAN 7

*TABEL PROPERTIES OF COMMON LIQUIDS*



Lampiran – 7 : Tabel *Properties of Common Liquids*

Properties of common liquids, solids, and foods

(a) Liquids

Substance	Boiling data at 1 atm		Freezing data		Liquid properties		
	Normal boiling point, °C	Latent heat of vaporization $h_{fg}$ , kJ/kg	Freezing point, °C	Latent heat of fusion $h_{if}$ , kJ/kg	Temperature, °C	Density $\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	Specific heat $c_p$ , kJ/kg · K
Ammonia	-33.3	1357	-77.7	322.4	-33.3	682	4.43
					-20	665	4.52
					0	639	4.60
					25	602	4.80
Argon	-185.9	161.6	-189.3	28	-185.6	1394	1.14
Benzene	80.2	394	5.5	126	20	879	1.72
Brine (20% sodium chloride by mass)	103.9	—	-17.4	—	20	1150	3.11
<i>n</i> -Butane	-0.5	385.2	-138.5	80.3	-0.5	601	2.31
Carbon dioxide	-78.4*	230.5 (at 0°C)	-56.6	—	0	298	0.59
Ethanol	78.2	838.3	-114.2	109	25	783	2.46
Ethyl alcohol	78.6	855	-156	108	20	789	2.84
Ethylene glycol	198.1	800.1	-10.8	181.1	20	1109	2.84
Glycerine	179.9	974	18.9	200.6	20	1261	2.32
Helium	-268.9	22.8	—	—	-268.9	146.2	22.8
Hydrogen	-252.8	445.7	-259.2	59.5	-252.8	70.7	10.0
Isobutane	-11.7	367.1	-160	105.7	-11.7	593.8	2.28
Kerosene	204–293	251	-24.9	—	20	820	2.00
Mercury	356.7	294.7	-38.9	11.4	25	13,560	0.139
Methane	-161.5	510.4	-182.2	58.4	-161.5	423	3.49
					-100	301	5.79
					25	787	2.55
Methanol	64.5	1100	-97.7	99.2	25	787	2.55
Nitrogen	-195.8	198.6	-210	25.3	-195.8	809	2.06
					-160	596	2.97
					25	910	1.80
Octane	124.8	306.3	-57.5	180.7	20	703	2.10
Oil (light)	—	—	—	—	25	910	1.80
Oxygen	-183	212.7	-218.8	13.7	-183	1141	1.71
Petroleum	—	230–384	—	—	20	640	2.0
Propane	-42.1	427.8	-187.7	80.0	-42.1	581	2.25
					0	529	2.53
					50	449	3.13
					-26.1	1443	1.23
Refrigerant-134a	-26.1	217.0	-96.6	—	-26.1	1374	1.27
					0	1295	1.34
					25	1207	1.43
					100	958	4.22
Water	100	2257	0.0	333.7	0	1000	4.22
					25	997	4.18
					50	988	4.18
					75	975	4.19
					100	958	4.22

\* Sublimation temperature. (At pressures below the triple-point pressure of 518 kPa, carbon dioxide exists as a solid or gas. Also, the freezing-point temperature of carbon dioxide is the triple-point temperature of -56.5°C.)