



**ANALISIS PERFORMA KINERJA *COOLING TOWER INDUCED DRAFT*  
*COUNTER FLOW* DENGAN BAHAN PENGISI ALUMINIUM PIPIH**

**SKRIPSI**

Oleh

**Raka Apris Saputra**

**NIM. 161910101081**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS JEMBER**

**2020**



**ANALISIS PERFORMA KINERJA *COOLING TOWER INDUCED DRAFT*  
*COUNTER FLOW* DENGAN BAHAN PENGISI ALUMINIUM PIPIH**

**SKRIPSI**

Diajukan guna melengkapi skripsi dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Stata I Program Studi Teknik Mesin (S1) dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

**Raka Apris Saputra**

**NIM. 161910101081**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS JEMBER**

**2020**

## PERSEMBAHAN

Segala puji dan syukur kehadirat Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa penguasa kehidupan dunia dan akhirat. Shalawat serta salam selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW. Saya persembahkan skripsi ini kepada:

1. Keluargaku, ayahanda Rahmadi, ibunda Misri dan saudara-saudari atas semua dukungan, perhatian, doa, pengorbanan, semangat, motivasi, bimbingan dan sumber pendanaan utama;
2. Semua staf pengajar dosen jurusan Teknik Mesin fakultas Teknik Universitas Jember yang senantiasa memberikan ilmunya, semoga menjadi ilmu yang bermanfaat dan barokah. Bapak Ir. Digdo Listyadi Setyawan, MSc. selaku Dosen pembimbing Utama, bapak Ir. Robertus Sidartawan S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota serta Ir. Ahmad Syuhri M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang selalu memberikan saran dan arahan yang sangat membantu dalam proses penyelesaian skripsi ini. Bapak Andi Sanata S.T., M.T. selaku Dosen Penguji utama dan bapak Dr. Agus Triono S.T., M.T. selaku Dosen penguji Anggota yang banyak sekali memberikan saran dan berbagai pertimbangan menuju kearah yang benar dalam penyelesaian skripsi ini;
3. Seluruh guru-guru dan juga staf pengajar di bangku sekolah dasar hingga sekolah menengah atas;
4. Teman-teman dalam penelitian *Cooling Tower Research Team*, Elok dan Yahya yang sudah memberikan semangat, bantuan dan bimbingan;
5. Teman-teman *Power Ranger* Mesin, Agus, Agung, Abdul, Fahrul dan Siti yang senantiasa memberikan masukan, gangguan dan bantuan dalam penelitian ini;
6. Aslab dan teknisi laboratorium Konversi Energi, Mas Fery, Anas, Fahriza, Gayuh dan Rizki yang telah membantu dalam penelitian;
7. Keluarga besar Teknik Mesin M18 Unej angkatan 2016 yang banyak membantu dan memberikan semangat serta suka duka selama kuliah;
8. Warga Mesin dan warga Teknik yang telah membantu dan mendukung selama perkuliahan;

9. Almamater tercinta jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember;
10. Dan seluruh pihak yang telah mendukung dan tidak bisa saya sebutkan satu-persatu.



**MOTTO**

*Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan*

(QS. Al-Insyirah: 5 – 6)



**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Raka Apris Saputra

NIM : 161910101081

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Analisis Performa Kinerja *Cooling Tower Induced Draft Counter Flow* dengan Bahan Pengisi Aluminium Pipih” adalah benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini sesuai dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta mendapatkan sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 22 Agustus 2020

Yang menyatakan,

Raka Apris Saputra

NIM 161910101081

**SKRIPSI**

**ANALISIS PERFORMA KINERJA *COOLING TOWER INDUCED DRAFT*  
*COUNTER FLOW* DENGAN BAHAN PENGISI  
ALUMINIUM PIPIH**

Oleh:

Raka Apris Saputra

NIM 161910101081

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Ir. Digdo Listyadi Setyawan, MSc.

Dosen Pembimbing Anggota : Ir. Robertus Sidartawan S.T., M.T.

## RINGKASAN

**Analisis Performa Kinerja *Cooling Tower Induced Draft Counter Flow* dengan Bahan Pengisi Aluminium Pipih;** Raka Apris Saputra, 161910101081; 2020; 53 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Pada tahun 2018 perekonomian Indonesia tumbuh sebesar 5,17%, lebih tinggi dibandingkan pertumbuhan tahun 2017 yang sebesar 5,07%. Banyak pabrik baru berdiri di Indonesia guna memenuhi kebutuhan dalam negeri dan juga ekspor. Dalam suatu proses produksi, air memiliki peran yang sangat penting sebagai bahan pendingin maupun lainnya. Secara otomatis air yang telah dipakai pada proses pendinginan sudah tidak dapat digunakan lagi sebagai pendingin sebelum air tersebut didinginkan kembali. Menara pendingin (*cooling tower*) digunakan sebagai alat pendingin fluida, dengan udara sebagai media pendingin. *Cooling tower* merupakan suatu alat yang bekerja dengan cara mengekstraksi panas atau kalor yang dihasilkan dari air dan mengeluarkan panas ke udara dengan menggunakan media pendingin udara. Terdapat banyak penelitian untuk meningkatkan efektivitas pendingin pada *cooling tower*, salah satunya adalah dengan mengganti bahan pengisi *cooling tower*. Bahan pengisi merupakan bagian dari *cooling tower* yang berfungsi untuk memecah aliran dan menghambat laju aliran fluida. Salah satu bahan material yang dapat digunakan sebagai bahan pengisi adalah aluminium. Aluminium memiliki nilai konduktivitas thermal tinggi dan mudah dijumpai di sekitar masyarakat. Aluminium memiliki sifat tahan karat sehingga bagus digunakan untuk bahan pengisi dari *cooling tower*. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh bahan pengisi aluminium pipih pada performa kinerja *cooling tower induced draft counter flow* terhadap: (1) hasil pengaruh variasi suhu awal air dan kecepatan udara masuk, serta (2) hasil pengaruh dampak efektivitas, rasio air-udara, kapasitas pendingin, kehilangan penguapan dan nilai L/G.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan membandingkan *cooling tower* tanpa menggunakan bahan pengisi dengan *cooling tower* dengan penambahan bahan pengisi aluminium pipih. *Cooling tower* ini menggunakan tiga tumpuk bahan pengisi aluminium pipih dengan jarak antar tumpukannya



disamakan. Pada proses pengujian perlakuan yang sama dengan memvariasikan suhu awal air masuk *cooling tower* sebesar 50 °C, 60 °C dan 70 °C dan kecepatan udara 1,6 m/s, 3,2 m/s dan 4,8 m/s. Data yang diperoleh pada penelitian meliputi suhu awal air masuk, suhu air keluar, suhu bola basah udara masuk, suhu bola basah udara keluar, suhu bola kering, kecepatan udara dan debit. Pengambilan data dilakukan setiap 20 detik sekali selama 240 detik.

Penelitian pada *cooling tower* dengan bahan pengisi aluminium pipih menghasilkan efektivitas dan kapasitas pendingin lebih tinggi jika dibandingkan dengan *cooling tower* tanpa menggunakan bahan pengisi. Hal ini dapat dibuktikan dengan nilai efektivitas tertinggi pada *cooling tower* dengan bahan pengisi adalah 74,98% sedangkan nilai efektivitas tertinggi pada *cooling tower* tanpa menggunakan bahan pengisi adalah 59,13%. Nilai kapasitas pendingin pada *cooling tower* dengan bahan pengisi adalah 7,37 kJ/s sedangkan nilai kapasitas pendingin pada *cooling tower* tanpa menggunakan bahan pengisi adalah 6,1 kJ/s.

Bahan pengisi aluminium pipih dengan variasi suhu awal air dan kecepatan udara masuk *cooling tower* berpengaruh terhadap performa kinerja *cooling tower induced draft counter flow*. Semakin besar nilai variasi suhu awal air dan kecepatan udara masuk *cooling tower* dengan bahan pengisi maka semakin naik nilai efektivitas, kapasitas pendingin dan nilai L/G. Perbandingan rasio air-udara semakin turun dengan bertambahnya nilai variasi suhu awal air dan kecepatan udara masuk *cooling tower*.

## SUMMARY

**Performance Analysis of Cooling Tower Induced Draft Counter Flow with Flat Aluminum Filling Material;** Raka Apris Saputra, 161910101081; 2020; 53 pages; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

In 2018 the Indonesian economy grew by 5.17%, higher than the growth in 2017 which was 5.07%. Many new factories were established in Indonesia to meet domestic and export needs. In a production process, water has a very important role as a cooling agent and others. Automatically the water that has been used in the cooling process can no longer be used as a coolant before the water is cooled down again. Cooling tower is used as a means of cooling fluid, with air as a cooling medium. Cooling tower is a device that works by extracting heat or heat generated from water and releasing heat into the air using air cooling media. There have been many studies to improve the effectiveness of cooling in cooling towers, one of which is by replacing the cooling tower filler. The fill material is part of the cooling tower which functions to break up the flow and inhibit the flow of fluid. One of the materials that can be used as a filler is aluminum. Aluminum has a high thermal conductivity value and is easily found around the community. Aluminum has rust-resistant properties, so it is good to use as a filler for cooling towers. The purpose of this study was to determine the effect of flat aluminum fillers on the performance of cooling tower induced draft counter flow on: (1) the results of the effect of variations in initial water temperature and air intake velocity, and (2) the results of the effect of effectiveness, air-air ratio, capacity coolant, evaporation loss and L / G value.

This study uses an experimental method by comparing a cooling tower without a filler with a cooling tower with the addition of flat aluminum filler. This cooling tower uses three stacks of flat aluminum filler with equal spacing between the piles. In the testing process, the same treatment is varied by varying the initial temperature of the water entering the cooling tower by 50 °C, 60 °C and 70 °C and air velocities of 1.6 m / s, 3.2 m / s and 4.8 m / s. The data obtained in this study

include the initial temperature of the incoming water, the temperature of the outgoing water, the temperature of the inlet air wet ball, the temperature of the wet ball of the air out, the temperature of the dry ball, the air velocity and discharge. Data retrieval is done every 20 seconds for 240 seconds.

Research on cooling towers with flat aluminum fillers results in higher cooling effectiveness and capacity when compared to cooling towers without using fillers. This can be proven by the highest effectiveness value for cooling towers with filler material is 74.98%, while the highest effectiveness value for cooling towers without using fillers is 59.13%. The value of cooling capacity on a cooling tower with filler material is 7.37 kJ / s, while the value of the cooling capacity on a cooling tower without using filler material is 6.1 kJ / s

Flat aluminum filling material with variations in the initial temperature of the water and air velocity in the cooling tower has an effect on the cooling tower performance performance induced draft counter flow. The greater the value of the variation in the initial temperature of the water and the air velocity in the cooling tower with the filler, the higher the value of effectiveness, cooling capacity and L / G value. The ratio of the air-air ratio decreases with the increase in the value of the variation in the initial temperature of the water and the air speed entering the cooling tower.

## PRAKATA

Puji syukur kepada Allah SWT atas segala nikmat hidup dan kesempatan menimba ilmu sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Analisis Performa Kinerja *Cooling Tower Induced Draft Countef Flow* dengan Bahan Pengisi Aluminium Pipih”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk mencapai gelar Sarjana Teknik. Dalam penelitian dan penyusunan skripsi ini, penulis banyak dibandtu, dibimbing dan didukung oleh berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Keluargaku, ayahanda Rahmadi, ibunda Misri dan saudara-saudari atas semua dukungan, perhatian, doa, pengorbanan, semangat, motivasi, bimbingan dan sumber pendanaan utama;
2. Semua staf pengajar dosen jurusan Teknik Mesin fakultas Teknik Universitas Jember yang senantiasa memberikan ilmunya, semoga menjadi ilmu yang bermanfaat dan barokah. Bapak Ir. Digdo Listyadi Setyawan, MSc. selaku Dosen pembimbing Utama, bapak Ir. Robertus Sidartawan S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota serta Ir. Ahmad Syuhri M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang selalu memberikan saran dan arahan yang sangat membantu dalam proses penyelesaian skripsi ini. Bapak Andi Sanata S.T., M.T. selaku Dosen Penguji utama dan bapak Dr. Agus Triono S.T., M.T. selaku Dosen penguji Anggota yang banyak sekali memberikan saran dan berbagai pertimbangan menuju kearah yang benar dalam penyelesaian skripsi ini;
3. Seluruh guru-guru dan juga staf pengajar di bangku sekolah dasar hingga sekolah menengah atas;
4. Teman-teman dalam penelitian *Cooling Tower Research Team*, Elok dan Yahya yang sudah memberikan semangat, bantuan dan bimbingan;
5. Teman-teman *Power Ranger* Mesin, Agus, Agung, Abdul, Fahrul dan Siti yang senantiasa memberikan masukan, gangguan dan bantuan dalam penelitian ini;

6. Aslab dan teknisi laboratorium Konversi Energi, Mas Fery, Anas, Fahriza, Gayuh dan Rizki yang telah membantu dalam penelitian;
7. Keluarga besar Teknik Mesin M18 Unej angkatan 2016 yang banyak membantu dan memberikan semangat serta suka duka selama kuliah;
8. Warga Mesin dan warga Teknik yang telah membantu dan mendukung selama perkuliahan;
9. Almamater tercinta jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember;
10. Dan seluruh pihak yang telah mendukung dan tidak bisa saya sebutkan satu-persatu;

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, karena kesempurnaan hanya milik Allah SWT. Harapan penulis adalah supaya informasi dari skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca.

Jember, 01 September 2020

Penulis

DAFTAR ISI

SKRIPSI .....	ii
PERSEMBAHAN .....	iii
MOTTO .....	v
PERNYATAAN.....	vi
SKRIPSI .....	vii
RINGKASAN .....	viii
PRAKATA.....	xii
DAFTAR ISI .....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR TABEL .....	xvii
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Latar Belakang.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Rumusan Masalah.....</b>	<b>3</b>
<b>1.3 Tujuan dan Manfaat .....</b>	<b>4</b>
1.3.1 Tujuan .....	4
1.3.2 Manfaat .....	4
<b>1.4 Batasan Masalah .....</b>	<b>4</b>
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>6</b>
<b>2.1 Pengertian <i>Cooling Tower</i>.....</b>	<b>6</b>
<b>2.2 Konstruksi dan Komponen <i>Cooling Tower</i>.....</b>	<b>6</b>
<b>2.3 Jenis – Jenis <i>Cooling Tower</i> .....</b>	<b>11</b>
2.3.1 <i>Cooling Tower Natural Draft</i> .....	11
2.3.2 <i>Cooling Tower Mechanical Draft</i> .....	12
<b>2.4 Fungsi dan Cara Kerja <i>Cooling Tower</i> .....</b>	<b>15</b>
<b>2.5 Kinerja <i>Cooling Tower</i> .....</b>	<b>16</b>
<b>2.6 Aluminium .....</b>	<b>20</b>
<b>2.7 Analisis <i>Cooling Tower Counterflow</i>.....</b>	<b>20</b>
<b>2.8 Pompa.....</b>	<b>22</b>
<b>2.9 Penelitian Terdahulu.....</b>	<b>23</b>

2.10	Hipotesis .....	25
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....</b>		<b>26</b>
3.1	Metode Penelitian .....	26
3.2	Waktu dan Tempat Penelitian.....	26
3.3	Alat dan Bahan.....	27
3.3.1	Alat dan Instrumen Penelitian .....	27
3.3.2	Bahan Penelitian.....	27
3.3.3	Spesifikasi <i>Cooling Tower</i> .....	28
3.4	Prosedur Penelitian .....	30
3.4.1	Persiapan Alat Pengujian.....	30
3.4.2	Pemeriksaan Alat Pengujian .....	30
3.4.3	Tahapan Pengambilan Data .....	30
3.5	Rangkaian <i>Cooling Tower Induced Draft Counter Flow</i> .....	31
3.6	Skema Aliran Air <i>Cooling Tower Induced Draft Conter Flow</i> .....	32
3.7	Variabel.....	32
3.8	Analisis Performa Kinerja <i>Cooling Tower Induced Draft Counter Flow</i> ....	34
3.9	Diagram Alir.....	36
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>37</b>
4.1	Data Hasil Pengujian.....	37
4.2	<i>Range</i> .....	38
4.3	<i>Approach</i> .....	39
4.4	Efektivitas Pendingin .....	41
4.5	Rasio Air dengan Udara .....	43
4.6	Kapasitas Pendingin.....	45
4.7	Perbandingan Aliran Massa Cair Terhadap Gas (L/G) .....	47
4.8	Kehilangan Penguapan .....	48
<b>BAB 5 PENUTUP .....</b>		<b>51</b>
5.1	Kesimpulan .....	51
5.2	Saran .....	52
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>53</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>		<b>55</b>

**DAFTAR GAMBAR**

Gambar 2. 1 Diagram skematik cooling tower .....6

Gambar 2. 2 Konstruksi cooling tower .....6

Gambar 2. 3 (a) Aliran splash fill. (b) Profil splash fill .....9

Gambar 2. 4 Film fill.....9

Gambar 2. 5 Long - clog film fill .....10

Gambar 2. 6 Kipas .....11

Gambar 2. 7 Cooling tower natural draft aliran melintang .....12

Gambar 2. 8 Cooling tower induced draft crossflow .....13

Gambar 2. 9 Cooling tower induced draft counterflow .....14

Gambar 2. 10 Forced draft cooling tower.....14

Gambar 2. 11 Grafik lintasan udara pada menara pendingin aliran berlawanan .....15

Gambar 2. 12 Skema kerja cooling tower .....16

Gambar 2. 13 Grafik range dan approach temperatur pada cooling tower .....17

Gambar 2. 14 Pertukaran energi cooling tower berlawanan arah .....20

Gambar 2. 15 Diagram entalpi-suhu udara dan air .....22

Gambar 2. 16 Skema rangkaian cooling tower induced draft counterflow .....24

Gambar 2. 17 Skema rangkaian cooling tower forced draft counterflow .....25

Gambar 3. 1 Susunan pengisi aluminium .....28

Gambar 3. 2 (a) Bahan Pengisi Semisircullar Arc (b) Bahan Pengisi Aluminium Pipih ..29

Gambar 3. 3 Skema Rangkaian Cooling Tower Induced Draft Counterflow .....31

Gambar 3. 4 Cooling Tower Induced Draft Counterflow .....32

Gambar 3. 5 Diagram alir penelitian .....36

Gambar 4. 1 Diagram range dengan bahan pengisi dan tanpa bahan pengisi .....38

Gambar 4. 2 Diagram temperatur approach dengan bahan pengisi dan tanpa bahan pengisi  
.....40

Gambar 4. 3 Diagram temperatur efektivitas pendingin dari semua variasi .....42

Gambar 4. 4 Diagram rasio air dengan udara pada semua variasi .....44

Gambar 4. 5 Diagram temperatur kapasitas pendingin pada semua variasi .....46

Gambar 4. 6 Diagram perbandingan massa cair dan gas semua variasi.....47

Gambar 4. 7 Diagram kehilangan penguapan pada semua variasi .....49



**DAFTAR TABEL**

Tabel 3. 1 Time line penelitian.....	26
Tabel 3. 2 Spesifikasi pompa air .....	27
Tabel 3. 3 Variabel bebas.....	33
Tabel 3. 4 Variabel terikat.....	34
Tabel 4. 1 Hasil pengujian variasi kecepatan udara 4,8 m/s .....	37
Tabel 4. 2 Hasil pengujian dengan variasi kecepatan udara 3,2 m/s.....	37
Tabel 4. 3 Hasil pengujian dengan variasi kecepatan udara 1,6 m/s.....	37
Tabel 4. 4 Data hasil perhitungan range dari variasi suhu dan bahan pengisi.....	38
Tabel 4. 5 Data hasil perhitungan approach dari semua variasi.....	40
Tabel 4. 6 Data hasil perhitungan efektifitas pendingin dari semua variasi.....	42
Tabel 4. 7 Tabel hasil perhitungan rasio air dengan udara pada semua variasi .....	44
Tabel 4. 8 Data hasil perhitungan kapasitas pendingin dari semua variasi .....	45
Tabel 4. 9 Data hasil perbandingan massa cair dan gas dari semua variasi .....	47
Tabel 4. 10 Data kehilangan penguapan pada semua variasi.....	49

## BAB 1 PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pada tahun 2018 perekonomian Indonesia tumbuh sebesar 5,17%, lebih tinggi dibandingkan pertumbuhan tahun 2017 yang sebesar 5,07% (Kementrian Perindustrian, 2019). Banyak pabrik baru berdiri di Indonesia guna memenuhi kebutuhan dalam negeri dan juga ekspor. Dalam suatu proses produksi, air memiliki peran yang sangat penting sebagai bahan pendingin maupun lainnya. Air yang digunakan untuk mendinginkan suatu proses atau disebut air proses, yang akan bekerja secara terus menerus dan akan mengalami perubahan berupa kenaikan temperatur. Secara otomatis air yang telah dipakai pada proses pendinginan tersebut sudah tidak dapat digunakan lagi sebagai pendingin sebelum air tersebut didinginkan kembali (Khoirul Ayyam dkk, 2018).

Menara pendingin (*cooling tower*) digunakan sebagai alat pendingin fluida, dengan udara sebagai media pendingin (Taufik, dkk. 2014). *Cooling tower* merupakan suatu alat yang bekerja dengan cara mengekstrasi panas atau kalor yang dihasilkan dari air dan mengeluarkan panas ke udara dengan menggunakan media pendingin udara. Air hasil dari pendinginan *cooling tower* inilah yang dapat digunakan kembali untuk proses industri maupun dibuang ke lingkungan karena sudah sesuai dengan syarat dari Analisa Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL).

Terdapat banyak penelitian untuk meningkatkan efektivitas pendingin pada *cooling tower*, salah satunya adalah dengan mengganti bahan pengisi *cooling tower*. Bahan pengisi merupakan bagian dari *cooling tower* yang berfungsi untuk memecah aliran dan menghambat laju aliran fluida. Semakin lama kontak fluida dengan udara, maka proses penurunan kalor akan semakin baik.

Penelitian yang dilakukan oleh Sudrajad (2015), tentang Analisa Variasi Tegangan Listrik Kipas *Cooling Tower Induced Draft Counterflow* dengan Bahan Pengisi Bambu Wulung dihasilkan kapasitas pendingin tertinggi terjadi pada variasi tegangan motor penggerak kipas 220 volt dan suhu awal 60 °C, sebesar 14,19 kJ/s. Efektivitas tertinggi terjadi pada variasi tegangan motor penggerak kipas 220 volt

dengan suhu awal 40 °C, yaitu sebesar 78,11%. Laju penguapan air terbesar terjadi pada variasi tegangan motor listrik penggerak kipas 220 volt dan suhu awal 60 °C yaitu dengan nilai penguapan sebesar 1,610 l/menit. Perbandingan massa cair dan gas (L/G) terbaik terjadi pada variasi tegangan motor listrik penggerak kipas 220 volt dan suhu awal 60 °C yaitu 1,2 kJ/kg°C. Penelitian Hidayat (2014) meneliti tentang Analisis Beban Kalor *Cooling Tower Induced Draft Counterflow* dengan Bahan Pengisi Bambu Wulung, dengan efektivitas pendingin tertinggi terjadi pada variasi suhu awal 40 °C, ketinggian bahan pengisi 200 cm adalah 68,08%. Sedangkan perubahan temperatur air tertinggi terjadi pada variasi suhu awal 70 °C, tinggi 200 cm, tanpa atau dengan bahan pengisi dengan nilai temperatur 53 °C dan 47 °C. Perbandingan massa cair dan gas (L/G) tertinggi terjadi pada variasi ketinggian bahan pengisi 100 cm, temperatur air masuk 50 °C, dengan menggunakan pengisi sebesar 1,51 kJ/kg°C. Dengan demikian *cooling tower* berperan penting untuk pelepasan panas atau mendinginkan suatu mesin. Penelitian Syaiful Anwar (2016) meneliti tentang Analisa Kinerja *Cooling Tower Forced Draft Counterflow* Dengan Bahan Pengisi Calciboard ( Ditinjau dari Kecepatan Udara dan Kemiringan Pengisi). Pada penelitian ini ada dua variasi yang digunakan dalam penelitian, antara lain jenis kecepatan udara dan kemiringan sudut pengisi. Kecepatan udara yang divariasikan yaitu, 0,01 m/s, 2,6 m/s dan 7,76 m/s sedangkan kemiringan pengisi yang digunakan yaitu 45°, 60° dan 75°. Dari penelitian tersebut didapat hasil kapasitas pendingin tertinggi terjadi pada kemiringan pengisi 45° dan kecepatan udara 7,76 m/s yaitu 13,34 kJ/s. Efektivitas tertinggi terjadi pada kemiringan pengisi 45° dan kecepatan udara 7,76 m/s yaitu sebesar 89,93 %.

Penelitian yang dilakukan oleh Ramkumar Ramkrishnan dan Ragupathy Arumugam (2013) meneliti tentang kinerja *Cooling Tower Forced Draft Counterflow* menggunakan bahan pengisi keramik. Penelitian ini menggunakan tiga bentuk pengisi dengan bahan ubin keramik yaitu *triangular*, *curved* (10 mm) dan *curved* (100 mm) sebagai variasinya. Hasil dari penelitian ini ditemukan bahwa koefisien perpindahan panas dan massa dipengaruhi oleh rasio L/G, suhu air masuk dan suhu udara bola kering masuk. Kecepatan perpindahan panas yang lebih baik dicapai dalam pengisi keramik *curved* (100 mm) dibandingkan dengan dua pengisi

lainnya. Efektivitas *cooling tower* yang lebih tinggi dicapai pada L/G rendah. Dari studi experimental, ditentukan bahwa pengisi keramik, *curved* (100 mm) menunjukkan kinerja terbaik. Hal ini disebabkan oleh bentuk penampang, bidang kontak dan waktu retensi air dan udara di zona pengisi.

Pengembangan pendingin fluida pada *cooling tower* dapat dilakukan dengan mengganti bahan pengisi. Salah satu bahan material yang dapat digunakan sebagai bahan pengisi adalah aluminium. Aluminium memiliki nilai konduktivitas thermal tinggi dan mudah dijumpai di sekitar masyarakat. Aluminium memiliki sifat tahan karat sehingga bagus digunakan untuk bahan pengisi dari *cooling tower*. *Cooling tower induced draft counterflow* dengan bahan pengisi aluminium merupakan modifikasi penelitian dari berbagai macam variasi yang ada. Diharapkan modifikasi ini dapat meningkatkan efektivitas pendingin yang selama ini diharapkan dalam kinerja *cooling tower*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah, maka dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

- a. Bagaimana pengaruh pengisi aluminium pipih terhadap efektivitas *cooling tower induced draft counterflow*?
- b. Bagaimana pengaruh pengisi aluminium pipih terhadap rasio air dan udara *cooling tower induced draft counterflow*?
- c. Bagaimana pengaruh pengisi aluminium pipih terhadap kapasitas pendingin *cooling tower induced draft counterflow*?
- d. Bagaimana pengaruh pengisi aluminium pipih terhadap perbandingan *liquid* dan *gas cooling tower induced draft counterflow*?
- e. Bagaimana pengaruh pengisi aluminium pipih terhadap kehilangan penguapan *cooling tower induced draft counterflow*?

### 1.3 Tujuan dan Manfaat

#### 1.3.1 Tujuan

Tujuan yang muncul dari rumusan masalah tersebut yang mendasari penulis melakukan penelitian diantaranya yaitu:

- a. Mengetahui pengaruh pengisi aluminium pipih terhadap efektivitas *cooling tower induced draft counterflow*.
- b. Mengetahui pengaruh pengisi aluminium pipih terhadap rasio air dan udara *cooling tower induced draft counterflow*.
- c. Mengetahui pengaruh pengisi aluminium pipih terhadap kapasitas pendingin *cooling tower induced draft counterflow*.
- d. Mengetahui pengaruh pengisi aluminium pipih terhadap perbandingan *liquid* dan *gas cooling tower induced draft counterflow*.
- e. Mengetahui pengaruh pengisi aluminium pipih terhadap kehilangan penguapan *cooling tower induced draft counterflow*.

#### 1.3.2 Manfaat

Manfaat yang diharapkan setelah melakukan penelitian tersebut adalah:

- a. Memperoleh informasi pengaruh pengisi aluminium pipih terhadap kinerja *cooling tower induce draft counterflow*.
- b. Sebagai bahan pertimbangan dan masukan bagi peningkatan performa kinerja *cooling tower*.
- c. Sebagai bahan acuan atau informasi bagi peneliti lain dalam pengembangan teknologi *cooling tower*.

### 1.4 Batasan Masalah

Ada beberapa batasan masalah yang digunakan untuk pengambilan data dan analisa sehingga mempermudah menganalisa permasalahan, diantaranya adalah sebagai berikut:

- a. Fluida udara didalam *cooling tower* dianggap seragam.
- b. Sistem aliran diasumsikan terisolasi sempurna.
- c. Tekanan fluida dalam *cooling tower* diasumsikan konstan sepanjang aliran.

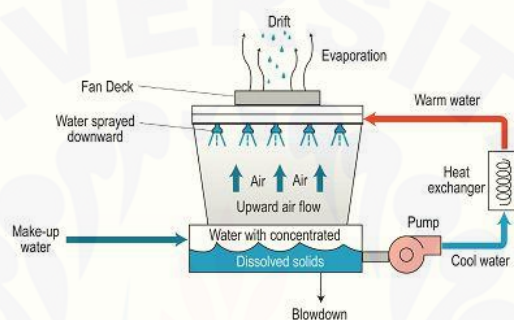
- d. Kondisi dalam sistem diasumsikan *steady state*.
- e. Air yang disemprotkan nozzle ke *cooling tower* dikondisikan secara merata.
- f. Mengabaikan endapan pada pengisi.



## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pengertian *Cooling Tower*

*Cooling Tower* merupakan alat penukar kalor yang berfungsi mendinginkan air melalui kontak langsung dengan udara yang mengakibatkan sebagian kecil air menguap. *Cooling Tower* menggunakan penguapan dimana sebagian air diuapkan ke aliran udara yang bergerak dan kemudian dibuang ke atmosfer. Sebagai akibatnya, air yang tersisa didinginkan secara signifikan (Mulyandasari, V., 2011).

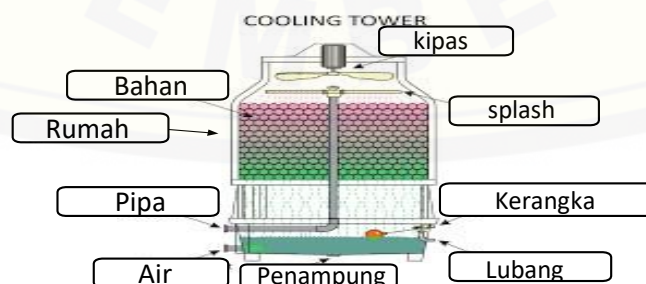


Gambar 2. 1 Diagram skematik *cooling tower*

(Sumber: Yulia, 2013)

### 2.2 Konstruksi dan Komponen *Cooling Tower*

Konstruksi *cooling tower* secara garis besar terdiri dari beberapa komponen dasar yang meliputi rangka dan wadah, bahan pengisi, kolam air dingin, *eliminator* aliran, saluran masuk udara, *louvers*, *nozzel* dan *fan*. Gambar 2 merupakan komponen-komponen *cooling tower* :



Gambar 2. 2 Konstruksi *cooling tower*

(Sumber: Yulia, 2013)

1. Kerangka pendukung menara (*tower supporter*)

*Tower supporter* berfungsi untuk mendukung menara pendingin agar dapat berdiri kokoh dan tegak.

2. Rumah menara pendingin (*casing*)

*Casing* berfungsi sebagai rumah dari komponen-komponen *cooling tower* sehingga harus memiliki ketahanan yang baik terhadap segala cuaca agar komponen awet dan memiliki umur pakai (*life time*) yang lama.

3. Pipa *sprinkler*

Pipa *sprinkler* merupakan pipa yang berfungsi untuk mensirkulasikan air secara merata pada menara pendingin, sehingga perpindahan kalor air dapat menjadi efektif dan efisien. Pipa *sprinkler* dilengkapi dengan lubang-lubang kecil untuk menyalurkan air.

Penggunaan *sprinkler* hanya untuk beberapa tipe *cooling tower* tertentu, sedangkan untuk tipe *cooling tower* yang lain digunakan *nozzle* untuk menyembrotkan air. Alat ini menyembrotkan air untuk membasahi bahan pengisi. Distribusi air yang seragam pada puncak bahan pengisi penting untuk mendapatkan pembasahan yang benar dari seluruh permukaan bahan pengisi.

4. Penampung air (*water basin*)

*Water basin* berfungsi sebagai pengumpul air sementara yang jatuh dari *filling material* sebelum disirkulasikan kembali ke kondensor. Kolam air dingin terletak pada bagian bawah menara. Kolam biasanya memiliki sebuah lubang atau titik terendah untuk pengeluaran air dingin.

5. Lubang udara (*inlet louver*)

*Inlet louver* berfungsi sebagai tempat masuknya udara melalui celah-celah yang ada. Melalui *inlet louver* akan terlihat kualitas dan kuantitas air yang akan di distribusikan.

6. Bahan pengisi (*Filling material*).

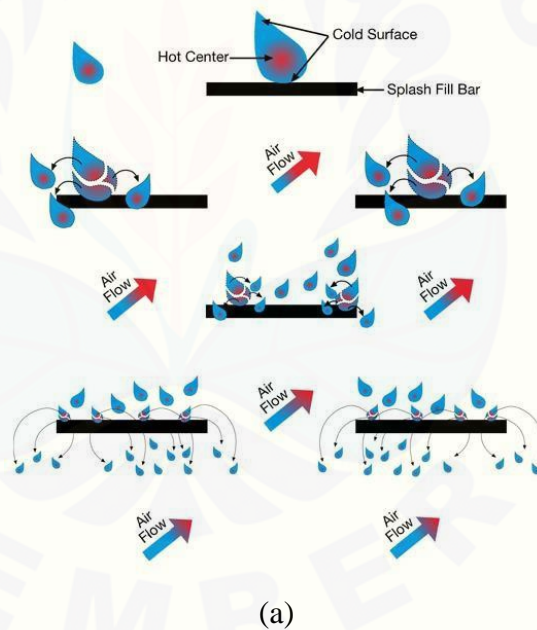
Hampir seluruh menara menggunakan bahan pengisi (terbuat dari plastik atau kayu) untuk memfasilitasi perpindahan panas dengan

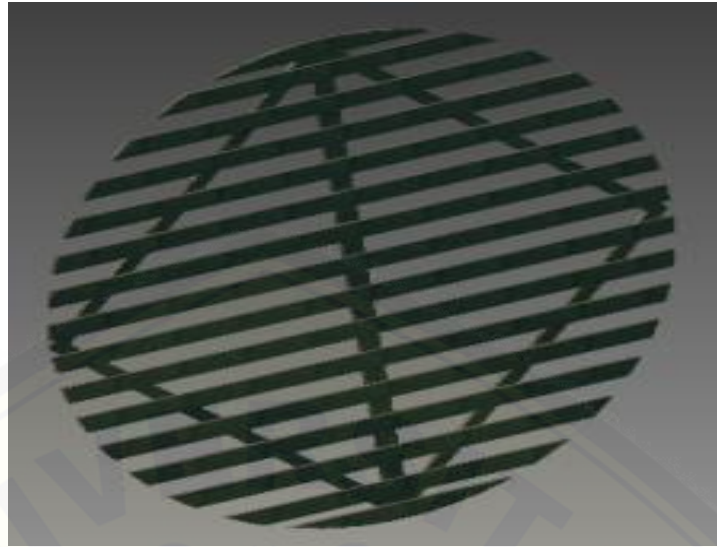


memaksimalkan kontak udara dan air. Bahan pengisi harus dapat menimbulkan kontak yang baik antara air dan udara agar terjadi laju perpindahan kalor yang baik. Bahan pengisi harus kuat, ringan dan tahan lapuk. Jenis bahan pengisi:

a. 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. Bahan pengisi percikan dari plastik memberikan perpindahan kalor yang lebih baik dari pada bahan pengisi percikan dari kayu. Gambar 2.3 dibawah ini adalah aliran percikan dan profil *splash fill*.





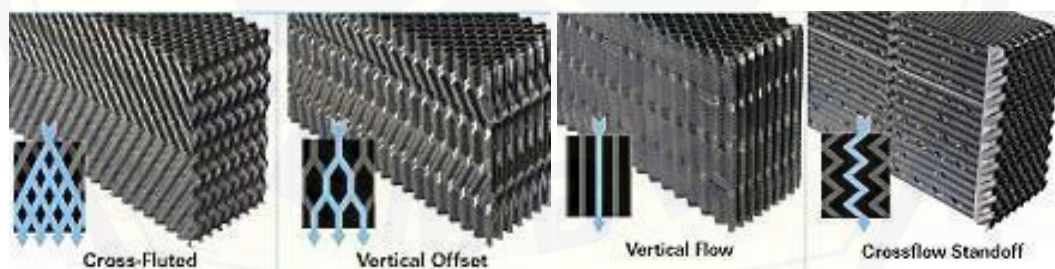
(b)

Gambar 2. 3 (a) Aliran *splash fill*. (b) Profil *splash fill*

(Sumber: (a) *Tower component inc*, 2012. (b) Sudrajat, 2015)

b. Bahan pengisi jenis film (*film fill*)

*Film fill* terdiri dari permukaan plastik tipis dengan jarak yang berdekatan dimana di atasnya terdapat semprotan air, membentuk lapisan film yang tipis dan melakukan kontak dengan udara. Permukaannya dapat berbentuk datar, bergelombang, berlekuk, atau pola lainnya.

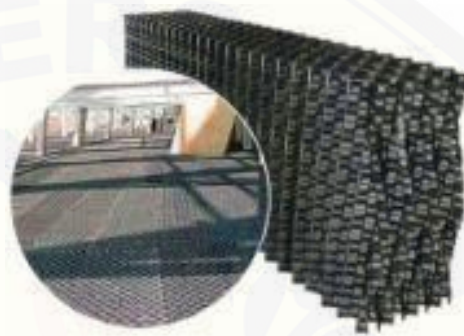


Gambar 2. 4 *Film fill*

(Sumber: *Spx cooling technologies*, 2014)

c. Bahan pengisi sumbatan rendah (*Low-clog film fill*)

Bahan pengisi sumbatan rendah 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 2.5 dibawah ini adalah bahan pengisi jenis sumbatan rendah (*Low-clog film fill*).



Gambar 2. 5 *Long - clog film fill*

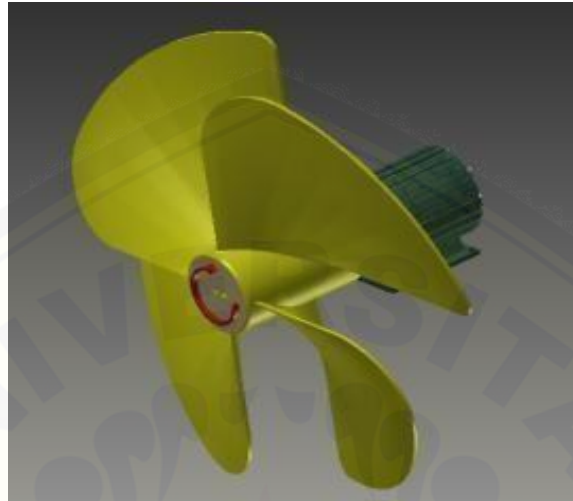
(Sumber: Spx *cooling technologies*, 2014)

7. Saluran udara masuk

Merupakan titik masuk bagi udara menuju menara. Saluran masuk bisa berada pada seluruh sisi menara (desain aliran melintang) atau berada dibagian bawah menara (desain aliran berlawanan arah).

8. Kipas

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



Gambar 2. 6 Kipas

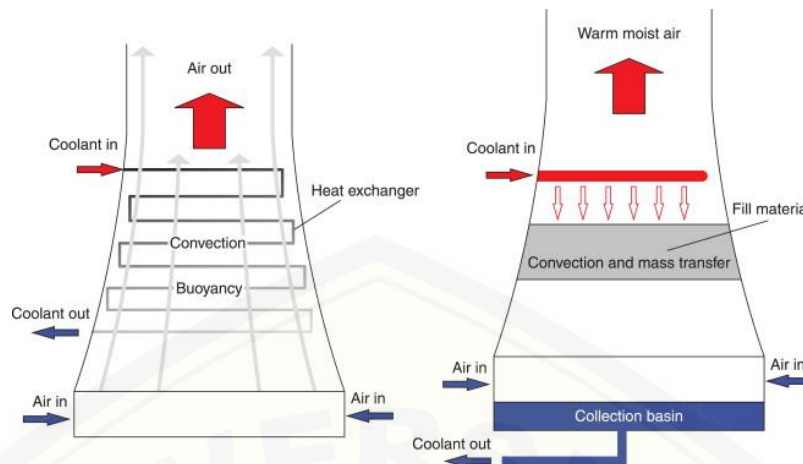
(Sumber: Sudrajat, 2015)

### 2.3 Jenis – Jenis *Cooling Tower*

*Cooling tower* secara garis besar dibagi menjadi dua jenis, yaitu *natural draft* dan *mechanical draft*.

#### 2.3.1 *Cooling Tower Natural Draft*

*Cooling tower natural draft* menggunakan perbedaan suhu antara udara *ambien* dan udara yang lebih panas dibagian dalam menara. Begitu udara panas mengalir ke atas melalui menara, udara segar yang dingin mengalir ke menara melalui saluran udara masuk dibagian bawah. Pada *cooling tower* tipe ini tidak diperlukan *fan* dan hampir tidak ada sirkulasi udara panas yang dapat mempengaruhi kinerja. Kontruksi beton banyak digunakan untuk dinding menara dengan ketinggian hingga mencapai 200 m. *Cooling tower* ini kebanyakan hanya digunakan untuk jumlah panas yang besar sebab struktur beton yang besar cukup mahal, seperti terlihat pada gambar 2.7



Gambar 2. 7 *Cooling tower natural draft* aliran melintang

(Sumber: <https://www.google.com/search?q=cooling+tower+natural+draft&safe>)

### 2.3.2 *Cooling Tower Mechanical Draft*

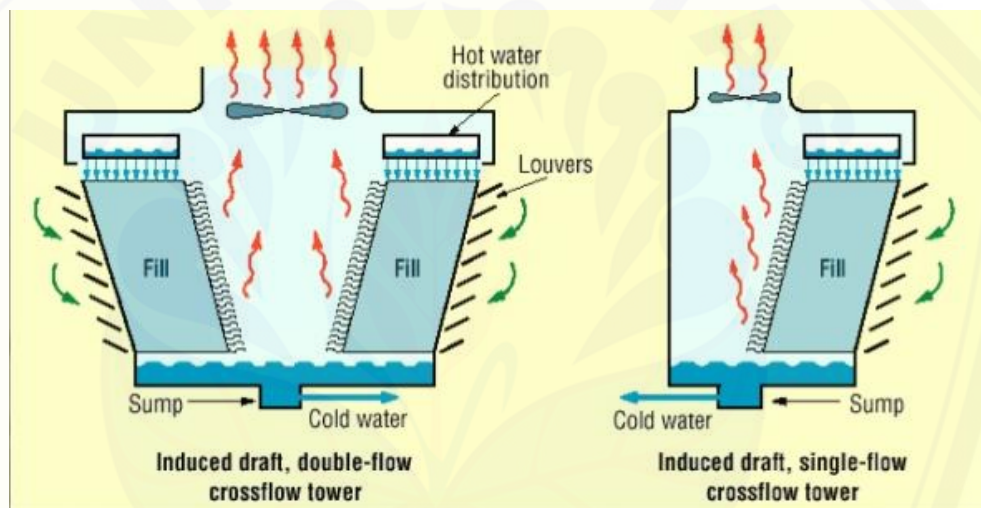
*Cooling tower mechanical draft* mempunyai *fan* yang besar untuk mendorong atau mengalirkan udara melalui air yang disirkulasi. Air yang dijatuhkan di atas permukaan bahan pengisi akan menjadikan kontak udara dan air lebih lama, hal ini membantu dalam memaksimalkan perpindahan panas diantara keduanya. Beberapa parameter yang mempengaruhi laju pendinginan *cooling tower mechanical draft* adalah diameter *fan* dan kecepatan operasi, bahan pengisi untuk tahanan system dan lain-lain. Menara tersedia dalam bentuk rakitan pabrik atau didirikan di lapangan. Banyak *cooling tower* tergantung kapasitas yang dikehendaki. *Cooling tower* bias rakitan dari dua atau lebih *cooling tower* individu. Ada dua jenis *cooling tower mechanical draft* mekanik yaitu jujut isap (*induced draft*) dan jujut dorong (*forced draft*).

#### 1. *Cooling tower induced draft*

*Cooling tower tipe induced draft*, *fan* yang ada dipasang pada bagian atas dari struktur *cooling tower* sehingga udara yang mengalir ditarik ke atas untuk dibuang. Tipe *induced draft* berdasarkan aliran udara masuk dibedakan lagi menjadi dua tipe yaitu:

a. *Cooling tower induced draft crossflow*

Tipe ini aliran udara diarahkan tegak lurus terhadap aliran air. Air masuk pada puncak dan melewati bahan pengisi. Udara masuk melalui salah satu sisi (menara aliran tunggal), atau pada sisi berlawanan (menara aliran ganda) mengalirkan udara melintasi bahan pengisi menuju saluran keluar pada puncak seperti terlihat pada gambar 2.8. Keuntungan dari tipe ini adalah lebih sedikit daripada resirkulasi menara *forced draft* sebab kecepatan keluarnya udara 3 hingga 4 kali lebih tinggi daripada udara masuk. Sedangkan kerugiannya, *fan* dan mekanisme penggerak motor harus tahan cuaca terhadap embun dan korosi sebab mereka berada pada jalur udara keluar yang lembab.

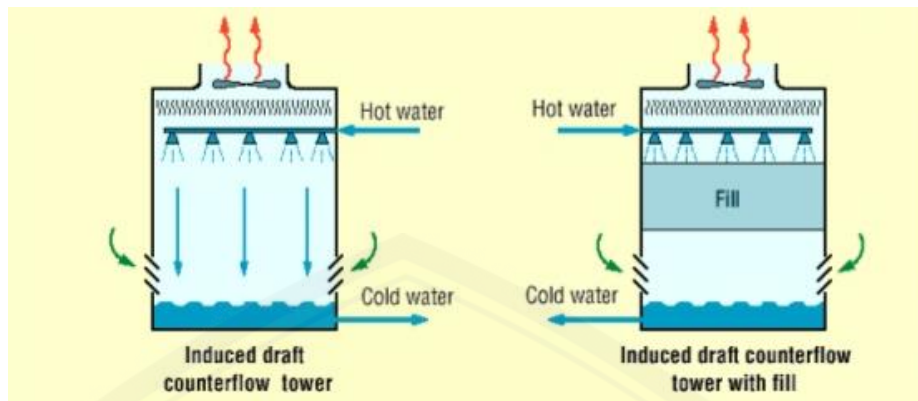


Gambar 2. 8 *Cooling tower induced draft crossflow*

(Sumber : Pedoman Efisiensi Energi, 2006)

b. *Cooling tower induced draft counterflow*

Tipe ini, air didinginkan dalam arah berlawanan dengan arah aliran udara didalam *cooling tower*. Udara yang ditarik oleh fan mengarah ke atas sedangkan air yang didinginkan mengalir jatuh kebawah. Keuntungan *cooling tower induced draft counterflow* sama dengan *cooling tower induced draft crossflow* yaitu resirkulasi lebih sedikit manara sebab kecepatan keluarnya udara tiga sampai empat kali lebih tinggi daripada udara masuk. Sedangkan kerugiannya, fan dan mekanisme penggerak motor harus tahan cuaca terhadap embun dan korosi sebab mereka berada pada jalur udara keluar yang lembab.

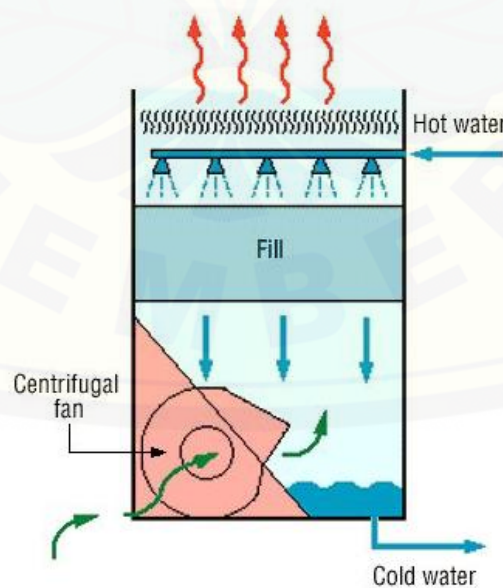


Gambar 2. 9 *Cooling tower induced draft counterflow*

(Sumber : Pedoman Efisiensi Energi, 2006)

## 2. *Forced draft cooling tower*

Jenis ini udara dihembuskan ke menara oleh *fan* disalurkan udara masuk bagian bawah sehingga udara akan bertabrakan dengan air seperti yang ditunjukkan gambar 2.10. Keuntungan dari jenis ini adalah cocok untuk resistansi udara yang tinggi karena adanya *fan* dengan *blower* sentrifugal dan *fan* relatif tidak terlalu berisik. Kekurangannya adalah resirkulasi, laju udara masuk tinggi dan keluar rendah. Solusinya dengan menempatkan menara diruangan pabrik digabung dengan saluran buang.



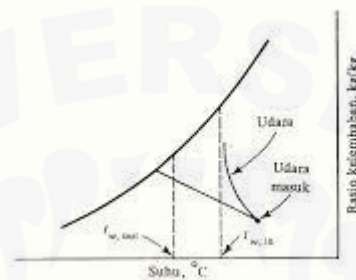
Gambar 2. 10 *Forced draft cooling tower*

(Sumber : Pedoman Efisiensi Energi, 2006)

## 2.4 Fungsi dan Cara Kerja *Cooling Tower*

### 1. Fungsi *Cooling Tower*

*Cooling Tower* secara garis besar berfungsi untuk melepaskan kalor ke atmosfer. Panas ini dilepaskan menggunakan udara bergerak untuk menurunkan suhu aliran air dengan cara mengekstraksi panas dari air dan mengemisikannya ke atmosfer. Berikut adalah gambar 2.11. Grafik lintasan udara pada menara pendingin aliran berlawanan.



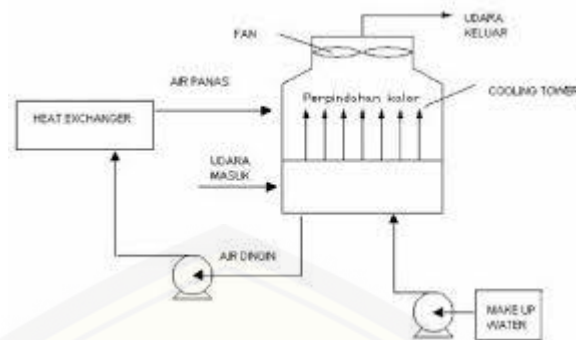
Gambar 2. 11 Grafik lintasan udara pada menara pendingin aliran berlawanan

(Sumber: Stoeker dan Jones, 2009)

### 2. Cara Kerja *Cooling Tower*

Prinsip kerja *cooling tower* berdasarkan pada pelepasan kalor dan perpindahan kalor. Perpindahan kalor pada *cooling tower* berlangsung dari air ke udara. *Cooling tower* menggunakan penguapan dimana sebagian air diuapkan ke aliran udara yang bergerak dan kemudian dibuang ke atmosfer, sehingga air yang tersisa didinginkan secara signifikan. Prinsip kerja *cooling tower* dapat dilihat pada gambar 2.12 skema kerja *cooling tower*. Air dari bak dipompa menuju *heater* untuk dipanaskan untuk keperluan *industry* dan setelah proses *industry* air dialirkan menuju *cooling tower*. Air panas yang keluar tersebut secara langsung melakukan kontak dengan udara sekitar yang bergerak secara paksa karena pengaruh *fan* yang terpasang pada bagian atas *cooling tower*, lalu mengalir jatuh ke bahan pengisi.





Gambar 2. 12 Skema kerja *cooling tower*

(Sumber: [http://eprints.undip.ac.id/45588/3/BAB\\_II.pdf](http://eprints.undip.ac.id/45588/3/BAB_II.pdf))

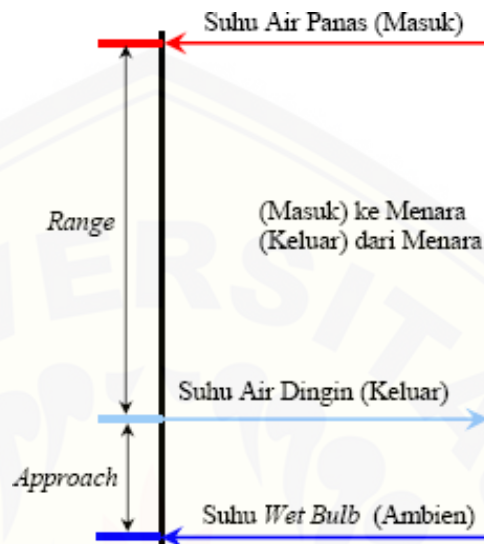
Sistem ini sangat efektif dalam proses pendinginan air karena suhu kondensasinya sangat rendah mendekati suhu *wet-bulb* udara. Air yang sudah mengalami penurunan suhu ditampung kedalam bak. Didalam *cooling tower* juga dipasang *make up water* untuk menambah kapasitas air pendingin jika terjadi kehilangan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

## 2.5 Kinerja *Cooling Tower*

Bagian ini menjelaskan tentang bagaimana kinerja tenaga pendinginan dapat dikaji. Kinerja menara pendingin dievaluasi untuk mengkaji tingkat *approach* dan *range* saat ini terhadap nilai desain, mengidentifikasi area terjadinya pemborosan energi dan memberikan saran perbaikan. Selama evaluasi kinerja, peralatan pemantauan yang portabel digunakan untuk mengukur. Sebagai evaluasi kinerja, pemantauan dilaksanakan untuk mengukur parameter-parameter signifikan berikut ini:

- a. Temperatur udara *wet bulb*
- b. Temperatur udara *dry bulb*
- c. Temperatur air masuk menara pendingin
- d. Temperatur air keluar menara pendingin
- e. Temperatur udara keluar
- f. Laju aliran air
- g. Laju aliran udara.

Prestasi menara pendingin biasanya dinyatakan dalam *range* dan *approach* seperti yang terlihat pada Gambar 2.13 berikut:



Gambar 2. 13 Grafik *range* dan *approach* temperatur pada *cooling tower*

(Sumber : Pedoman Efisiensi Energi, 2006)

Parameter terukur tersebut kemudian digunakan untuk menentukan kinerja menara pendingin dengan beberapa cara. Yaitu:

a. *Range*

Merupakan perbedaan antara suhu air masuk dan keluar menara pendingin. *Range (cooling tower)* yang tinggi berarti bahwa menara pendingin telah mampu menurunkan suhu air secara efektif, dan kinerjanya bagus. Rumusnya adalah:

$$Range (^{\circ}C) = [\text{suhu masuk } (^{\circ}C) - \text{suhu keluar } (^{\circ}C)] \dots\dots\dots (2.1)$$

b. *Approach*

Merupakan perbedaan antara suhu air dingin keluar menara pendingin dan suhu *wet bulb ambien*. Semakin rendah *approach* semakin baik kinerja menara pendingin. Walaupun, *range* dan *approach* harus dipantau, '*approach*' merupakan indikator yang lebih baik untuk kinerja menara pendingin.

$$Approach \text{ CT } (^{\circ}C) = [\text{suhu keluar } (^{\circ}C) - \text{suhu } wet \text{ bulb } (^{\circ}C)] \dots\dots\dots (2.2)$$

## c. Efektivitas

Merupakan perbandingan antara *range* dan *range* ideal (dalam persentase), yaitu perbedaan antara suhu masuk air pendingin dan suhu *wet bulb* ambien. Semakin tinggi perbandingan ini, maka semakin tinggi efektivitas menara pendingin.

$$\text{Efektivitas CT (\%)} = 100 \times \text{Range} / (\text{suhu masuk} - \text{suhu } \textit{wet bulb}). \quad (2.3)$$

## d. Kapasitas pendinginan

Merupakan panas yang dibuang dalam kKal/jam, sebagai hasil dari kecepatan aliran masa air, panas spesifik dan perbedaan suhu. Kapasitas pendinginan suatu menara pendingin adalah setara dengan kemampuan menara pendingin tersebut dalam membuang panas ke lingkungan. Kapasitas pendinginan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$Q = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (2.4)$$

Sedangkan kapasitas pendinginan spesifik persatuan luas penampang menara pendingin dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$q_{sp} = \frac{Q}{A_{tower}} \quad (2.5)$$

Dimana:

$q_{sp}$	= kapasitas pendinginan spesifik (kJ/s.m <sup>2</sup> )
$Q$	= kapasitas pendingin (kJ/s)
$\dot{m}$	= debit air (kg/s)
$C_p$	= kalor jenis air (kJ/kg.K)
$\Delta T$	= perbedaan suhu air masuk dan suhu air keluar (K)
$A_{tower}$	= luas penampang menara pendingin (m <sup>2</sup> )

## e. Debit air spesifik

Sesuai dengan ukuran luas penampang menara pendingin dan debit air, maka dapat dihitung debit air spesifik dengan rumus sebagai berikut.

$$\dot{m}_{sp} = \dot{m} / A_{tower} \quad (2.6)$$

Dimana:

$$\dot{m}_{sp} = \text{debit air spesifik (kg/s.m}^2\text{)}$$

$$\dot{m} = \text{debit air (kg/s)}$$

$A_{tower} = \text{luas penampang menara pendingin (m}^2\text{)}$

f. Rasio air dengan udara

Nilai rasio air-udara adalah parameter yang sangat penting dalam pemilihan suatu menara pendingin, terutama dalam pemilihan kapasitas *fan*. Rasio ini merupakan perbandingan antara debit air spesifik yang hendak didinginkan terhadap debit udara spesifik yang diinduksikan oleh *fan* minimum.

$$\text{Rasio air - udara} = \frac{\text{debit air spesifik (kg/m}^2\text{s)}}{\text{debit udara spesifik (kg/m}^2\text{s)}} \dots\dots\dots (2.7)$$

g. Kehilangan penguapan

Merupakan jumlah air yang diuapkan untuk tugas pendinginan. Secara teoritis jumlah penguapan mencapai 1,8 m<sup>3</sup> untuk setiap 10.000.000 kkal panas yang dibuang. Rumus berikut dapat digunakan Perry (1997):

$$\text{Penguapan } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{jam}^\circ\text{C}}\right) = 0,00085 \times 1,8 \times \text{laju sirkulasi } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{jam}}\right) \times (T1 - T2) \quad (2.8)$$

Dimana:

$$T1 - T2 = \text{perbedaan suhu antara air masuk dan keluar ( }^\circ\text{C )}$$

Salah satu parameter kinerja menara pendingin yang penting adalah laju penguapan air ke udara. Proses penguapan inilah yang menjadi prinsip dasar suatu menara pendingin dalam mendinginkan air kondensor. Adapun rumus untuk menghitung laju penguapan air ke udara pada suatu menara pendingin adalah sebagai berikut.

$$\text{Laju penguapan air (} \ell\text{/menit)} = (H2 - H1) \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana:

$(\omega H2 - \omega H1)$  = selisih antara rasio kelembaban udara keluar dan masuk menara pendingin (kg uap air / kg udara)

$V$  = debit aliran udara (m<sup>3</sup>/s)

$\rho$  = densitas air = 0,99285 kg/ $\ell$

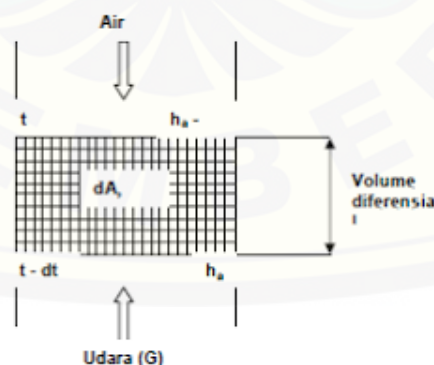
$v$  = volum spesifik udara ambien (m<sup>3</sup>/kg).

## 2.6 Aluminium

Aluminium adalah jenis logam non ferro yang memiliki beberapa keunggulan, diantaranya adalah memiliki berat jenis yang ringan, ketahanan terhadap korosi, dan mampu bentuk yang baik (Diharjo dkk., 1991). Adapun sifat dasar dari aluminium (Al) adalah memiliki sifat mampu cor yang baik dan sifat mekanik yang jelek. Oleh karena itu dipergunakan aluminium paduan sebagai bahan baku pengecoran sebab sifat mekanisnya akan dapat diperbaiki dengan menambahkan unsur-unsur lain seperti tembaga (Cu), silisium (Si), mangan (Mn), magnesium (Mg) dan sebagainya (Surdia dkk., 1985). Dengan keunggulan tersebut, maka pemanfaatan material aluminium pada beberapa sector *industry* menjadi semakin meningkat termasuk penggunaan sebagai *filled cooling tower*.

## 2.7 Analisis Cooling Tower Counterflow

Salah satu rancang bangun *cooling tower* yaitu *cooling tower* aliran berlawanan. Didalam *cooling tower* aliran berlawanan ini udara bergerak ke atas melalui semburan air yang jatuh. Gambar 2.14 menjelaskan tentang volume diferensial sebuah *cooling tower* aliran berlawanan dengan laju air yang masuk dari bagian puncak sebesar  $L$  kg/detik dan laju aliran udara yang masuk dari bagian dasar sebesar  $G$  kg/detik. Untuk mudahnya, sejumlah kecil air yang menguap diabaikan, sehingga  $L$  dan  $G$  tetap konstan di segenap bagian menara.



Gambar 2. 14 Pertukaran energi *cooling tower* berlawanan arah

(Sumber : Stoecker dan Jones, 2009)

Air masuk kesuatu bagian pada suhu  $t$  °C dan meninggalkannya pada suhu yang sedikit lebih rendah yaitu  $t - dt$ . Udara masuk dengan entalpi  $h_a$  kJ/kg udara kering dan meninggalkan dengan entalpi  $h_a + dh_a$ . Total area permukaan basah mencakup luas permukaan tetesan air termasuk pula kepingan-kepingan logam bahan atau bahan pengisi lainnya (Stokes dan Jones, 2009). Laju kalor yang dilepas dari air  $dq$ , sama dengan laju kalor yang diterima udara:

$$dq = G dh_a = L \left( 4,19 \frac{kJ}{kg} \cdot K \right) det. kW$$

Dari prinsip-prinsip tentang potensial entalpi, maka persamaan lain untuk  $dq$  yaitu:

$$dq = \frac{hc dA}{C_{pm}} (h_i - h_a)$$

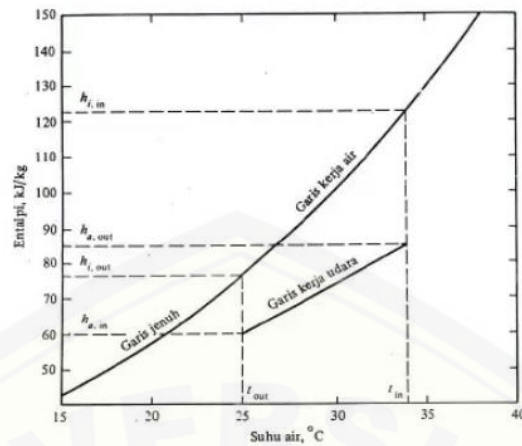
Dengan:

- $hc$  = koefisien konveksi, kW/m<sup>2</sup>.K
- $h_i$  = entalpi udara jenuh pada suhu air, kJ/kg (udara kering)
- $h_a$  = entalpi udara, kJ/kg (udara kering)
- $C_{pm}$  = kalor jenis udara lembab, kJ/kg.K

Untuk mencari besarnya kalor yang dipindahkan oleh seluruh bagian *cooling tower*, persamaan (2-10) harus diintegrasikan. Baik  $h_i$  maupun  $h_a$  berubah-ubah menurut variable integrasi  $A$ . Dengan mengkombinasikan persamaan (2-9) dan (2-10), menyusun kembali dan kemudian mengintegrasinya akan menghasilkan.

$$L \int_t^{t'} \frac{dt}{h_i - h_a} = \int_0^A \frac{hc dA}{C_{pm}} = \frac{hcA}{C_{pm}}$$

Dengan  $t_{in}$  dan  $t_{out}$  berturut-turut adalah suhu air yang masuk dan meninggalkan menara pendingin. Berikut ini adalah gambar 2.15 menjelaskan tentang suhu dan entalpi udara dan air.



Gambar Diagram entalpi-suhu udara dan air

Gambar 2. 15 Diagram entalpi-suhu udara dan air

(Sumber : Stoecker dan Jones, 2009)

Visual grafik suhu dan entalpi dapat dibuat seperti pada gambar 2.15. Air masuk menara pada suhu  $t_{in}$  dan meninggalkannya pada suhu  $t_{out}$  dan entalpi udara jenuh pada suhu-suhu ini berturut-turut adalah  $h_{i,in}$  dan  $h_{i,out}$ . Nyatakan entalpi udara yang masuk sebagai  $h_{a,in}$  dan entalpi udara yang keluar sebagai  $h_{a,out}$ .

Garis jenuh pada gambar 2.15 menyatakan suhu air dan entalpi udara jenuh pada suhu air tersebut. Tetapi hanya koordinat entalpi saja yang berlaku bagi garis kerja udara. Kemiringan garis kerja udara yaitu  $4,19 L/G$ , dapat diperlihatkan dari persamaan (2-9). Cara tradisional dalam melakukan integrasi terhadap persamaan (2-10) adalah dengan proses *numeric* yang ditunjukkan oleh:

$$\frac{hca}{C_{pm}} = 4,19 L \Delta t \Sigma \frac{1}{(h_i - h_a)m}$$

Dengan  $(h_i - h_a)m$  adalah perbedaan harga tengah entalpi untuk suatu bagian kecil dari volume.

## 2.8 Pompa

Pompa secara sederhana didefinisikan sebagai alat transportasi fluida cair. Jadi, jika fluidanya tidak cair, maka belum tentu pompa bisa melakukannya. Misalnya fluida gas, maka pompa tidak dapat melakukan operasi pemindahan tersebut. Namun, teknologi sekarang sudah jauh berkembang dimana mulai

diperkenalkan pompa yang multi-fasa, yang dapat memompakan fluida cair dan gas. Klasifikasi pompa secara umum adalah:

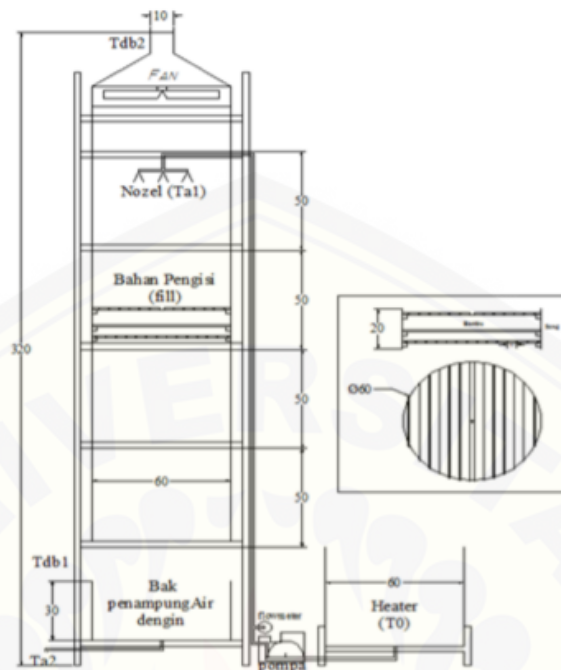
- 1) Pompa tekanan statis (*positive displacement pump*)
- 2) Pompa tekanan dinamis (*rotodynamic pump*)

Prinsip kerja pompa tekanan statis adalah memberikan tekanan fluida secara periodik pada fluida yang terkurung di dalam rumah pompa. Pompa tekanan dinamis disebut juga *rotodynamic pump*, *turbo pump*. Pompa yang termasuk ini adalah: pompa jet dan pompa sentrifugal.

## 2.9 Penelitian Terdahulu

Penelitian Hidayat (2014) meneliti tentang Analisis Beban Kalor *Cooling Tower Induced Draft Counterflow* dengan Bahan Pengisi Bambu Wulung. Pelaksanaan percobaan dilakukan pada *cooling tower* dengan dimensi tinggi keseluruhan 320 cm dan luas 70 cm<sup>2</sup>, dan luas penampang tabung dalam berdiameter 60 cm. Bahan pengisi terbuat dari bambu wulung yang dibelah, dengan lebar 4 cm, tebal 1 cm, dan jarak antar bambu 0,2 cm. penelitian ini bertujuan untuk mencari kinerja maksimal dari *cooling tower* dengan variasi suhu awal 40 °C, 50 °C, 60 °C, 70 °C, ketinggian ruang hampa *cooling tower* 100 cm, 150 cm dan 200 cm. Hasil penelitian menunjukkan semakin tinggi suhu awal dan tinggi *cooling tower* mengakibatkan naiknya beban kalor. Efektivitas pendinginan tertinggi terjadi pada variasi dengan suhu awal 40 °C, ketinggian ruang hampa *cooling tower* 200 cm sebesar 68,08% dengan menggunakan bahan pengisi. Sedangkan perubahan temperatur air tertinggi terjadi pada variasi suhu awal 70 °C, tinggi ruang hampa 200 cm, tanpa atau dengan menggunakan bahan pengisi, dengan nilai 17 °C dan 23 °C. Kapasitas pendinginan (beban kalor *cooling tower*) tertinggi, pada variasi penambahan bahan pengisi ketinggian 200 cm  $T_{a1}$  70 °C. sebesar 41,54 kJ/s, dibandingkan dengan tanpa menggunakan bahan pengisi dengan variasi yang sama beban kalor sebesar 31,42 kJ/s. Perbandingan massa *liquid* dan *gas* (L/G) tertinggi terjadi pada variasi,  $T_{a1}$  70 °C, menggunakan bahan pengisi sebesar 1,45 kJ/kg.°C, dan (L/G) terendah 0,5 kJ/kg.°C, terjadi pada variasi  $T_{a1}$  40 °C.

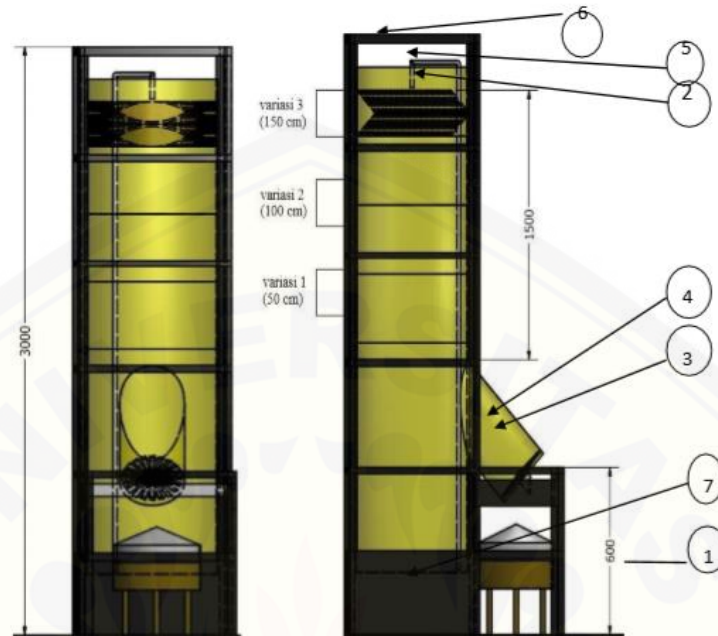




Gambar 2. 16 Skema rangkaian *cooling tower induced draft counterflow*

(Sumber : Hidayat, 2014)

Penelitian Safiul Anwar (2016) tentang Analisa Kinerja *Cooling Tower Forced Draft Counterflow* dengan Bahan Pengisi *Calciboard*. Penelitian ini difokuskan untuk mencari kinerja pendingin *cooling tower* dengan variasi kecepatan udara 0,01 m/s, 2,6 m/s, 7,76 m/s dan kemiringan sudut pengisi 45°, 60°, 75°. Dimensi dari *cooling tower* memiliki tinggi 3,2 meter dan penampung tabung dalam berdiameter 0,6 meter. Bahan pengisi menggunakan *calciboard* yang dipotong memanjang dengan lebar 8 cm, dan panjang *calciboard* menyesuaikan diameter dari *casingnya* yang disusun menyerupai *splash fill*. Dari hasil penelitian menunjukkan peningkatan kapasitas pendingin tertinggi terjadi pada variasi kemiringan 45° dan kecepatan udara 7,76 m/s yaitu 13,34 kJ/s. Sementara efektivitas tertinggi diperoleh pada kemiringan sudut pengisi 45° dan kecepatan udara 7,76 m/s yaitu sebesar 89,83%.



Gambar 2. 17 Skema rangkaian *cooling tower forced draft counterflow*  
(sumber : Syafiul, 2016)

## 2.10 Hipotesis

Hipotesis awal pengujian adalah semakin tinggi kecepatan putaran kipas penghisap udara di dalam *cooling tower induced draft counterflow* maka akan semakin tinggi pula aliran sirkulasi udara. Penambahan bahan pengisi aluminium pipih diharapkan dapat memecah, memperluas permukaan air dan menghambat laju aliran air panas yang jatuh *nozzle* atau *springkle* sehingga kontak air dan udara semakin lama menyebabkan semakin tinggi efektifitas dan kapasitas pendinginannya dengan adanya udara yang dihisap oleh kipas.

### BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode penelitian eksperimental dengan variasi debit air masuk dan ketinggian pengisi dengan melakukan pengamatan secara langsung untuk memperoleh data sebab akibat melalui eksperimen, guna mendapatkan data empiris. Dalam hal ini obyek penelitian yang diamati adalah pengaruh variasi ketinggian pengisi dan debit air terhadap unjuk kerja cooling tower.

#### 3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan dengan rencana kerja yang telah disusun. Penelitian ini dapat dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember pada bulan November 2019 sampai dengan Februari 2020.

Tabel 3. 1 *Time line* penelitian

No	Kegiatan	Minggu Ke-															
		Desember				Januari				Februari				Juli			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1.	Study Literatur																
2.	Pengambilan Data																
3.	Pengolahan Data																
4.	Laporan																

### 3.3 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam proses penelitian meliputi:

#### 3.3.1 Alat dan Instrumen Penelitian

- a. Satu *unit cooling tower forced draft counterflow* dengan diameter 45 cm
- b. *Thermokopel*
- c. *Thermoreader*
- d. *Stopwatch*.
- e. *Flowmeter*
- f. *Voltmeter*
- g. Pompa air, dengan spesifikasi pompa dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini:

Tabel 3. 2 Spesifikasi pompa air

Model	PS-128 BIT
Q	10 – 18 l/min
Head	20 – 10 meter
RPM	2900 /min
I	1,3 A

- h. Sakelar Kabel
- i. Pipa
- j. Kran
- k. Kompor LPG
- l. Bak penampung
- m. *Nozzle*

#### 3.3.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut:

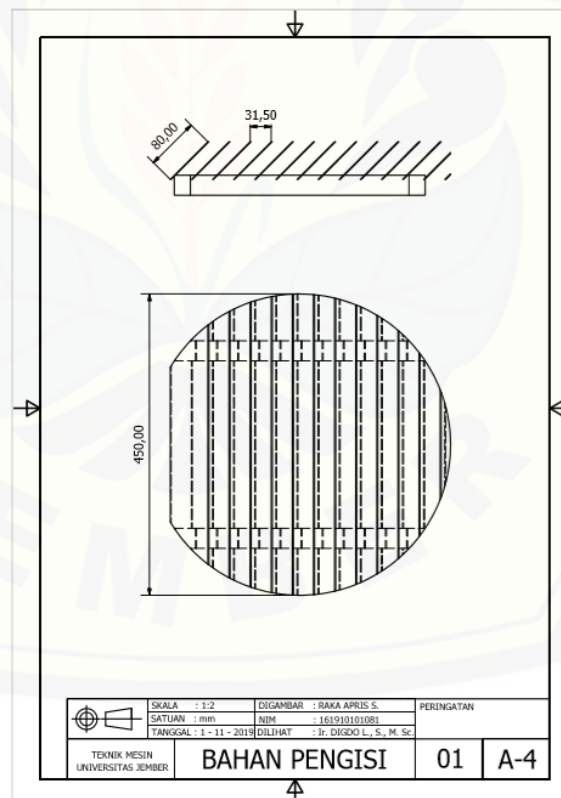
- a. Papan aluminium sebagai bahan pengisi *cooling tower*.
- b. Air yang dipanaskan dalam wadah *heater* sebagai fluida kerja.

c. Keran untuk mengatur debit aliran air pada *cooling tower* .

### 3.3.3 Spesifikasi *Cooling Tower*

Spesifikasi *cooling tower* adalah sebagai berikut

- Kerangka terbuat dari besi hollow dengan ketinggian 2,475 m dan lebar 0,45 m.
- Diameter *cooling tower* 0,45 m.
- Bak penampung menggunakan besi galvanis berdiameter 0,5 m dan tinggi 0,5 m.
- Bahan pengisi menggunakan aluminium yang dipotong memanjang dengan lebar 0,08 m, panjang aluminium menyesuaikan dengan diameter dari *casingsnya* yang disusun menyerupai susunan *splash fill*. Sedangkan untuk jarak antara lembaran pengisinya adalah 0,03 m, seperti gambar 3.1 berikut:



Gambar 3. 1 Susunan pengisi aluminium

- Bahan pengisi pada *cooling tower induced counterflow* memiliki bentuk beraneka ragam. Contoh bahan pengisi yang digunakan pada penelitian ini

berbentuk pipih dan *semisircular arc*. Terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan pada pembuatan bahan pengisi, salah satunya adalah bentuk penampang.



(a)

(b)

Gambar 3. 2 (a) Bahan Pengisi *Semisircular Arc* (b) Bahan Pengisi Aluminium Pipih

Pembuatan bahan pengisi pada *cooling tower* dianjurkan memiliki bentuk dimensi bilah yang sama karena hal tersebut dapat mempengaruhi proses pendinginan fluida yang masuk ke dalam *cooling tower*. Bentuk bilah yang memiliki dimensi yang sama mampu untuk membantu proses pendinginan lebih optimal karena air tidak akan bergerak pada satu sisi saja. Pada pemasangan bilah perlu diperhatikan kemiringan dan juga bentuknya. Untuk menentukan kemiringan bilah, pada saat pemasangan perlu digunakan busur untuk memastikan agar sudut bilah sesuai dengan variasi yang telah ditentukan. Pada proses pemasangan bilah berbentuk *semisircular arc* diperlukan pengisi pada pusat bilah yang akan dikeliling, supaya bilah tidak mengalami penyok dan juga patah.

### 3.4 Prosedur Penelitian

#### 3.4.1 Persiapan Alat Pengujian

Persiapan alat pengujian dilakukan dengan merangkai ulang instalasi perpipaan sesuai kebutuhan, dalam hal ini alat pengujinya menggunakan *cooling tower induced draft counter flow* berbahan pengisi aluminuim *semicircular arc* dan pemanas air (*heater*).

#### 3.4.2 Pemeriksaan Alat Pengujian

Memeriksa semua kelengkapan alat uji komponen *cooling tower induced draft counter flow* dan melakukan tes sirkulasi air lancar.

#### 3.4.3 Tahapan Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan dengan mengukur semua variabel saat melakukan pengujian. Tahap-tahap yang dilakukan dalam melakukan pengujian adalah sebagai berikut:

- a. Merangkai komponen-komponen *cooling tower*, bahan pengisi *aluminuim* pipih sesuai dengan variasi tinggi yang ditentukan yaitu 70 cm, dan *heater* dengan benar yaitu dengan menghubungkan pipa dari *heater* ke *cooling tower*, serta menaruh bahan pengisi *aluminuim* pipih di bawah *nozzle*.

$T_{a1}$  : Suhu air masuk *Cooling Tower*

$T_{a2}$  : Suhu air keluar *Cooling Tower*

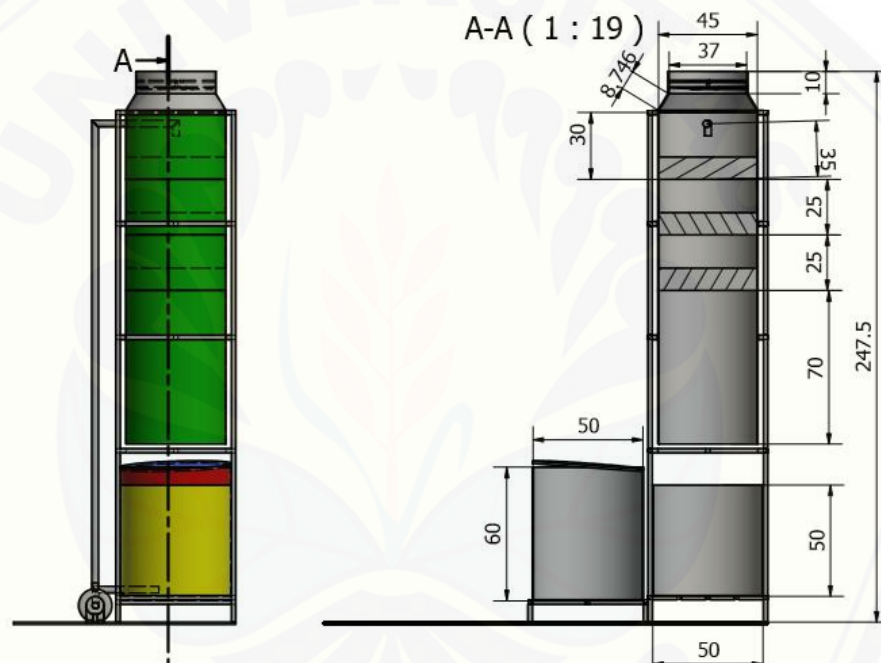
$T_{db}$  : Suhu bola kering *Cooling Tower*

$T_{wb1}$ : Suhu bola basah masuk *Cooling Tower*

- b. Panaskan air dalam *heater* dengan tingkat suhu sesuai variasi suhu yang ditentukan 50°C, 60°C, 70°C dan hidupkan kipas dengan tegangan sesuai variasi yang ditentukan hingga mencapai kecepatan udara masuk *cooling tower* sebesar 1,6 m/s, 3,2 m/s dan 4,8 m/s. Pemilihan kecepatan tersebut berdasarkan kemampuan maksimum motor kipas menghembuskan udara dan hasil kecepatan maksimum tersebut dibagi tiga dan digunakan sebagai variabel yang telah ditentukan.
- c. Hubungkan motor penggerak pompa *cooling tower*

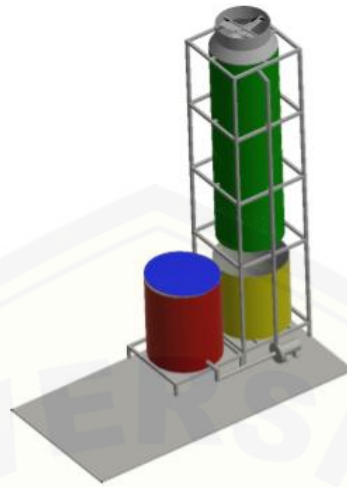
- d. Selanjutnya menjalankan alat uji sampai sistem dan aliran air bersirkulasi dengan baik pada *cooling tower*.
- e. Mencatat suhu yang ditunjukkan oleh pengukur suhu pada semua titik laju aliran pelepasan panas. Dengan variasi *cooling tower* yang sudah ditentukan.
- f. Pengumpulan data.
- g. Perhitungan data.

### 3.5 Rangkaian Cooling Tower Induced Draft Counter Flow



Gambar 3. 3 Skema Rangkaian *Cooling Tower Induced Draft Counterflow*





Gambar 3. 4 *Cooling Tower Induced Draft Counterflow*

### 3.6 Skema Aliran Air *Cooling Tower Induced Draft Conter Flow*

Air dipanaskan pada bak tangki disampingnya dengan kompor gas dan *heater coil* sampai variasi suhu yang ditentukan 50°C, 60°C dan 70°C. Setelah itu air dipompa dinaikkan ke atas *cooling tower induced draft counter flow*. Sampai di ujung air masuk ke *cooling tower induced draft counter flow* melalui *sprinkle nozzle*, secara bersamaan udara *cooling tower induced draft counter flow* yang dihisap oleh *fan*. Lalu air dari *nozzle* dengan adanya gaya gravitasi kemudian turun mengenai pengisimaka terjadilah perpindahan panas konveksi dan kemudian air turun ke bawah ditampung di *basin*, lalu dipompa lagi ke bak pemanas. Begitu seterusnya sirkulasinya.

### 3.7 Variabel

Variabel pada dasarnya adalah segala sesuatu yang berbentuk apapun yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari sehingga diperoleh informasi tentang hal yang dibutuhkan, kemudian diatrik kesimpulan.

#### a. Variabel Bebas

Variabel bebas yaitu variabel yang mempengaruhi atau yang menyebabkan terjadinya perubahan. Variabel bebas adalah faktor-faktor yang dipilih dan

ditentukan oleh peneliti. Variabel bebas pada penelitian ini adalah suhu awal dan kecepatan udara dengan memvariasikan besarnya kecepatan putar dari kipas.

Tabel 3. 3 Variabel bebas

No	Faktor	Level 1	Level 2	Level 3
1.	Suhu Awal ( $T_o$ )	50 °C	60 °C	70 °C
2.	Kecepatan Udara (m/s)	Kecepatan udara 1,6 (m/s).	Kecepatan udara 3,2 (m/s).	Kecepatan udara 4,8 (m/s).

Pemilihan suhu air masuk ke dalam *cooling tower* sebesar 50 °C, 60 °C dan 70 °C dilandasi pada penelitian sebelumnya dari Hidayat (2014) yang melakukan penelitian tentang *cooling tower* dengan bahan pengisi bambu wulung. Selain itu masukan dari pembimbing untuk menentukan suhu air masuk *cooling tower* juga menentukan pemilihan variasi tersebut. Pemilihan kecepatan udara yang masuk ke dalam *cooling tower* berdasarkan kemampuan maksimum motor kipas menghembuskan udara dan hasil kecepatan maksimum tersebut dibagi tiga dan digunakan sebagai variabel yang telah ditentukan. Berdasarkan observasi pada pabrik Petrokimia Gresik, pabrik yang menggunakan *cooling tower* untuk mendinginkan fluida air, kecepatan udara yang masuk ke dalam *cooling tower* tidak mencapai 2 m/s. Hal tersebut dikarenakan dimensi *cooling tower* yang besar membuat kipas yang mendorong udara ke dalam *cooling tower* juga besar dan mengakibatkan kipas tersebut tidak dapat berputar cepat karena dapat membahayakan dan juga tidak efisien pada motor penggerak kipas tersebut.

#### b. Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan suatu variable yang bergantung pada variabel bebasnya. Variabel terikat adalah faktor – faktor yang diamati dan diukur oleh peneliti untuk menentukan ada tidaknya pengaruh dari variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah suhu yang dicari pada titik-titik pada table berikut ini.

Tabel 3. 4 Variabel terikat

No	Variabel Terikat	Satuan
1.	Suhu Air Masuk ( $T_1$ )	Derajat Celcius
2.	Suhu Air Keluar ( $T_2$ )	Derajat Celcius
3.	Suhu Bola Basah ( $T_{wb}$ )	Derajat Celcius
4.	Suhu Bola Kering ( $T_{db}$ )	Derajat Celcius

c. Variabel Kontrol

Variabel kontrol juga disebut sebagai variabel kendali. Menurut Sugeng (2007) disebut sebagai variabel kontrol karena variabel kendali karena variabel ini perlu dikontrol, dipertahankan tetap, atau diacak sedemikian rupa sehingga pengaruh mereka diminimalisir, dikeluarkan, atau disamakan bagi semua kondisi. Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah laju aliran air, bahan pengisi aluminium dan ketuinggian dari bahan pengisi pada *Cooling Tower Induced Draft Counterflow*.

### 3.8 Analisis Performa Kinerja *Cooling Tower Induced Draft Counter Flow*

a. *Range*

$$\text{Range } (^{\circ}\text{C}) = [\text{suhu masuk } (^{\circ}\text{C}) - \text{suhu keluar } (^{\circ}\text{C})]$$

b. *Approach*

$$\text{Approach CT } (^{\circ}\text{C}) = [\text{suhu keluar } (^{\circ}\text{C}) - \text{suhu wet bulb } (^{\circ}\text{C})]$$

c. Efektivitas

$$\text{Efektivitas CT } (\%) = 100 \times \text{Range} / (\text{suhu masuk} - \text{suhu wet bulb})$$

d. Kapasitas pendinginan

$$q = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T$$

Dimana:

q = kapasitas pendinginan (kJ/s)

$\dot{m}$  = debit air (kg/s)

$C_p$  = kalor jenis air (kJ/kg.K)

$\Delta T$  = perbedaan suhu air masuk dan suhu air keluar (K)

e. L/G (*Liquid/Gas*)

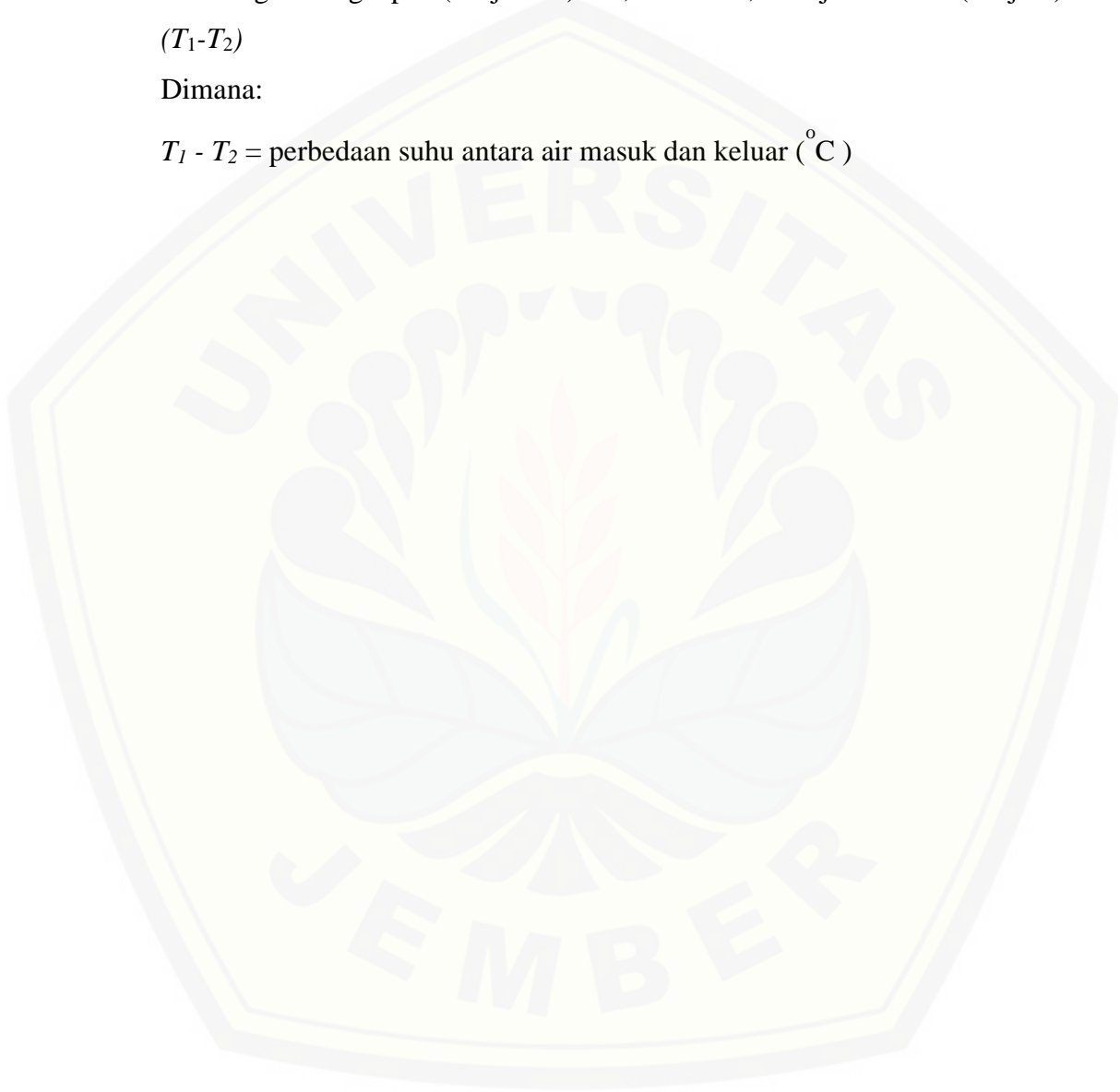
$$L/G = \frac{h_{a1} - h_{a2}}{T_{masuk} - T_{keluar}}$$

f. Kehilangan penguapan

$$\text{Kehilangan Penguapan (m}^3/\text{jam}^{\circ}\text{C)} = 0,00085 \times 1,8 \times \text{laju sirkulasi (m}^3/\text{jam)} \times (T_1 - T_2)$$

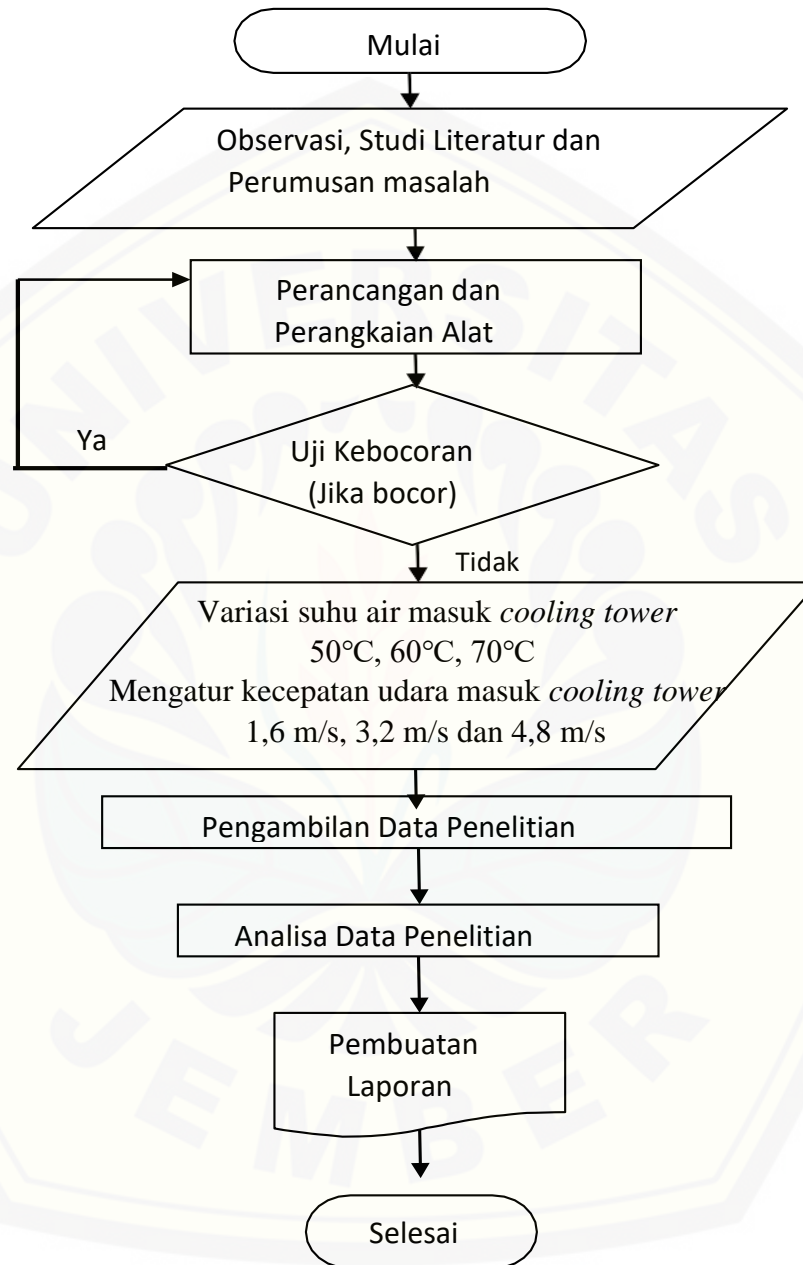
Dimana:

$$T_1 - T_2 = \text{perbedaan suhu antara air masuk dan keluar (}^{\circ}\text{C)}$$



### 3.9 Diagram Alir

Adapun proses dan alur penelitian dapat dilihat pada gambar 3.4 dibawah ini:



Gambar 3. 5 Diagram alir penelitian

## BAB 5 PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa yang telah dibahas dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

- a. Bahan pengisi aluminium pipih dengan peningkatan variasi kecepatan udara dan suhu air masuk *cooling tower* mampu meningkatkan efektivitas dari *cooling tower*. Hal ini dapat dibuktikan pada efektivitas tertinggi *cooling tower induced draft counterflow* dengan bahan pengisi aluminium pipih yaitu 74,98%, sedangkan efektivitas *cooling tower* tanpa bahan pengisi tertinggi sebesar 59,13% pada variasi suhu dan kecepatan yang sama.
- b. Rasio air dan udara tidak dipengaruhi bahan pengisi aluminium pipih pada *cooling tower*. Nilai rasio air dan udara bergantung pada kecepatan udara yang masuk ke dalam *cooling tower*. Semakin cepat udara yang masuk ke *cooling tower* nilai rasionya akan semakin kecil/rendah.
- c. Kapasitas pendingin dari *cooling tower* dipengaruhi oleh bahan pengisi aluminium pipih. Hal ini terbukti bahwa adanya bahan pengisi pada *cooling tower* membantu proses pendinginan, dengan penambahan variasi suhu air masuk *cooling tower* dan kecepatan udara akan memperbesar penurunan suhu sehingga pendinginan maksimal.
- d. Nilai  $L/G$  *cooling tower induced draft counterflow* dipengaruhi oleh bahan pengisi aluminium pipih dengan variasi penambahan suhu awal air masuk dan kecepatan udara. Perbandingan  $L/G$  menara pendingin merupakan laju kalor yang dilepas dari air sama dengan laju kalor yang diterima udara.
- e. Bahan pengisi aluminium pipih dengan variasi peningkatan kecepatan udara masuk dan suhu air masuk *cooling tower* meningkatkan kehilangan penguapan pada *cooling tower*. Hal tersebut dapat terjadi karena bahan pengisi mampu memperlama kontak antara air dan udara. Selain itu, bahan pengisi menyebabkan air yang jatuh pada bahan pengisi dapat terpecah menjadi

butiran-butiran yang kecil sehingga meningkatkan kehilangan penguapan pada *cooling tower*.

## 5.2 Saran

Penelitian mengenai analisis performa kinerja *cooling tower induced draft counterflow* dengan bahan pengisi aluminium pipih telah selesai dilaksanakan, maka disarankan beberapa hal berikut:

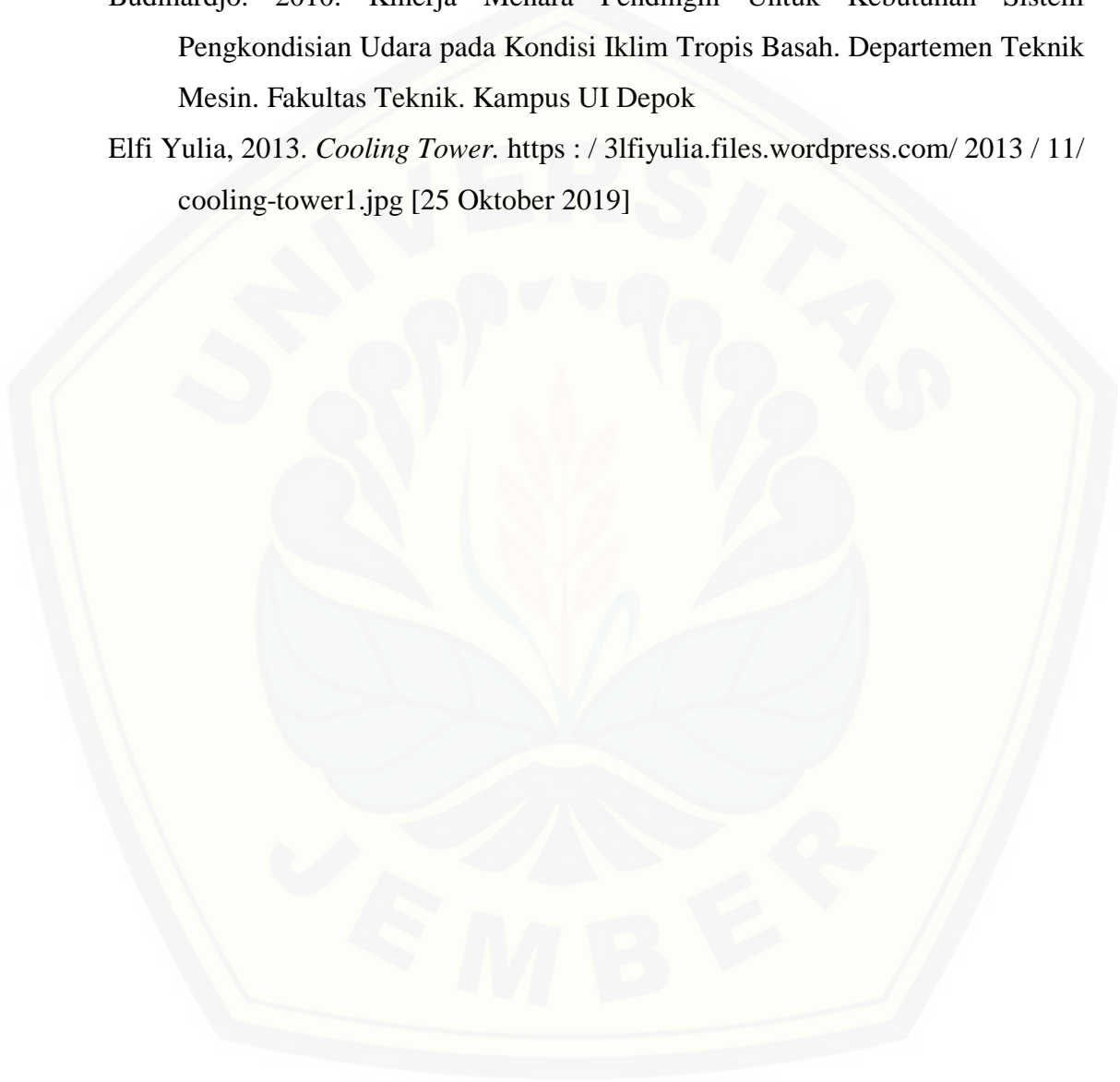
- a. Kajian ini masih terbatas pada analisa pengaruh suhu awal, kecepatan udara yang masuk dan bahan pengisi dari *cooling tower*. Penelitian lanjutan diharapkan dapat memvariasikan komponen yang lebih banyak seperti variasi bahan pengisi, jarak antar bahan pengisi, profil bahan pengisi dan variasi debit air sehingga memperoleh prestasi kerja *cooling tower* yang semakin baik.
- b. Variasi dapat dilakukan pada *nozzle* agar air dapat terdistribusi merata pada seluruh *cooling tower*. Variasi debit air dan bahan pengisi juga akan mempengaruhi kinerja *cooling tower*.
- c. Pengambilan kecepatan udara sebaiknya dilakukan pada beberapa tempat karena kecepatan udara setiap sisi berbeda. Pengambilan data dapat dilakukan pada minimal tiga sisi atau lebih. Pengambilan data juga bisa dilakukan dengan membuat udara dalam aliran laminar, sehingga kecepatan udara sama setiap luasannya.
- d. Hasil penelitian ini merupakan data pendukung lanjutan yang dapat digunakan oleh pihak-pihak yang berkepentingan dalam pemilihan jenis *cooling tower* sebagai mesin pendingin fluida dan aluminium sebagai bahan pengisi.

**DAFTAR PUSTAKA**

- El Wakil, M.M., Jasjfi, E. 1992. *Instalasi Pembangkit Daya Power Plant Technology*. Jakarta : Erlangga
- Perry. 1997. *Perry's Chemical Engineering Handbook*. 7 ed. Graw Hill Book Company, Inc. New York.
- Stoecker, W. F., dan Jones, J. W. 2009. *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*. Terjemah Oleh Supratman Hara. Jakarta: Erlangga
- Kreith Frank. 1997. *Prinsip – Prinsip Perpindahan Panas*. Jakarta : Erlangga
- Sularso, dan Tahara, H., 2000. *Pompa dan Kompresor*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita
- Tower Components, Inc. 2012. *Splash fill*. <http://www.towercomponentsinc.com/images/new/splash-fill-po.jpg> [25 Oktober 2019]
- SPX Cooling Technologies. 2014. *Counterflow Film Fill*. <http://spxcooling.com/images/DF254FILL-480.jpg> [26 Oktober 2019]
- Kementerian Perindustrian. 2017. *Analisis Perkembangan Industri 2017*. Jakarta
- Ramkrishnan, Ramkumar, dan Arumugam, Ragupathy.2013. Experimental study of cooling tower performance using ceramic tile packing. Taminaldu, India: Department of Mechanical Engineering, Annamalai University.
- Tawsif M, Kamrul I dan Salam B, 2013. Experiment Study Of Forced Draft Cross Flow Wet Cooling Tower Using Splash Type fill. Bangladesh: Proceeding of the International Conference on Mechanical Engineering and Renewable Energy
- Hidayat, T.A. 2014. Analisis Beban Kalor *Cooling Tower Induced Draft Counterflow* Dengan Bahan Pengisi Bambu Wulung. Jember. Jurnal Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.
- Prasetya, D. 2016. Analisis Variasi Debit Air dan Ketinggian Pengisi *Calciboard* Terhadap Efektivitas *Cooling Tower Forced Draft Counterflow*. Jember. Jurnal Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember
- Khoirul Ayyam, Puspita Mila, dkk. 2018. Perbandingan kerja Antar Bahan Pengisi pada Menara *Cooling Tower* dengan Sistem Destilasi Uap. Jurusan Teknik



- Kimia. Fakultas Teknik. Universitas Tribbuwana Tunggaldewi
- Sudrajat Rosid, M.M., 2015. Analisis Variasi Tegangan Listrik Kipas Cooling Tower Induced Draft Counterflow Dengan Pengisi Bambu Wulung. Jember: Jurnal Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember
- Budihardjo. 2010. Kinerja Menara Pendingin Untuk Kebutuhan Sistem Pengkondisian Udara pada Kondisi Iklim Tropis Basah. Departemen Teknik Mesin. Fakultas Teknik. Kampus UI Depok
- Elfi Yulia, 2013. *Cooling Tower*. [https : / 3lfiyulia.files.wordpress.com/ 2013 / 11/ cooling-tower1.jpg](https://3lfiyulia.files.wordpress.com/2013/11/cooling-tower1.jpg) [25 Oktober 2019]



**LAMPIRAN 1. Tabel Data Hasil Pengujian****A.1 PENGAMBILAN DATA SUHU AWAL 70 °C DAN KECEPATAN UDARA**

4,8 m/s

<b>Waktu</b>	<b>Suhu Air Masuk</b>	<b>Temperatur Air Keluar</b>	<b>Tdb</b>	<b>Twb1</b>	<b>Twb2</b>	<b>Debit</b>
<b>0</b>	70	37,17	34,5	30	41	5,88 x 10 <sup>-5</sup>
<b>20</b>	70	40,70	34,5	30	41	5,88 x 10 <sup>-5</sup>
<b>40</b>	70	40,63	34,5	30	41	5,88 x 10 <sup>-5</sup>
<b>60</b>	70	38,97	34,5	30	41	5,88 x 10 <sup>-5</sup>
<b>80</b>	70	39,57	34,5	30	41	5,88 x 10 <sup>-5</sup>
<b>100</b>	70	38,27	34,5	30	41	5,88 x 10 <sup>-5</sup>
<b>120</b>	70	41,37	34,5	30	41	5,88 x 10 <sup>-5</sup>
<b>140</b>	70	40,67	34,5	30	41	5,88 x 10 <sup>-5</sup>
<b>160</b>	70	41,60	34,5	30	41	5,88 x 10 <sup>-5</sup>
<b>180</b>	70	41,43	34,5	30	41	5,88 x 10 <sup>-5</sup>
<b>200</b>	70	39,13	34,5	30	41	5,88 x 10 <sup>-5</sup>
<b>220</b>	70	39,97	34,5	30	41	5,88 x 10 <sup>-5</sup>
<b>240</b>	70	40,67	34,5	30	41	5,88 x 10 <sup>-5</sup>
<b>x</b>	<b>70</b>	<b>40,01</b>	<b>34,5</b>	<b>30</b>	<b>41</b>	<b>5,88 x 10<sup>-5</sup></b>

**A.2 PENGAMBILAN DATA SUHU AWAL 70 °C DAN KECEPATAN UDARA**

3,2 m/s

<b>Waktu</b>	<b>Suhu Air Masuk</b>	<b>Temperatur Air Keluar</b>	<b>Tdb</b>	<b>Twb1</b>	<b>Twb2</b>	<b>Debit</b>
<b>0</b>	70	44,80	33	27	33	5,88 x 10 <sup>-5</sup>
<b>20</b>	70	42,90	33	27	33	5,88 x 10 <sup>-5</sup>
<b>40</b>	70	43,60	33	27	33	5,88 x 10 <sup>-5</sup>
<b>60</b>	70	43,53	33	27	33	5,88 x 10 <sup>-5</sup>
<b>80</b>	70	40,80	33	27	33	5,88 x 10 <sup>-5</sup>

<b>100</b>	70	40,53	33	27	33	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>120</b>	70	41,20	33	27	33	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>140</b>	70	39,57	33	27	33	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>160</b>	70	39,53	33	27	33	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>180</b>	70	39,03	33	27	33	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>200</b>	70	43,43	33	27	33	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>220</b>	70	40,73	33	27	33	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>240</b>	70	40,27	33	27	33	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>x</b>	<b>70</b>	<b>41,53</b>	<b>33</b>	<b>27</b>	<b>33</b>	<b><math>5,88 \times 10^{-5}</math></b>

A.3 PENGAMBILAN DATA SUHU AWAL 70 °C DAN KECEPATAN UDARA  
1,6 m/s

<b>Waktu</b>	<b>Suhu Air Masuk</b>	<b>Temperatur Air Keluar</b>	<b>Tdb</b>	<b>Twb1</b>	<b>Twb2</b>	<b>Debit</b>
<b>0</b>	70	45,37	33	27	31	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>20</b>	70	45,00	33	27	31	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>40</b>	70	43,23	33	27	31	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>60</b>	70	43,13	33	27	31	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>80</b>	70	42,73	33	27	31	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>100</b>	70	42,53	33	27	31	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>120</b>	70	43,57	33	27	31	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>140</b>	70	42,30	33	27	31	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>160</b>	70	43,90	33	27	31	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>180</b>	70	44,30	33	27	31	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>200</b>	70	50,87	33	27	31	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>220</b>	70	49,47	33	27	31	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>240</b>	70	48,53	33	27	31	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>x</b>	<b>70</b>	<b>44,99</b>	<b>33</b>	<b>27</b>	<b>31</b>	<b><math>5,88 \times 10^{-5}</math></b>

A.4 PENGAMBILAN DATA SUHU AWAL 60 °C DAN KECEPATAN UDARA

4,8 m/s

Waktu	Suhu Air Masuk	Temperatur Air Keluar	Tdb	Twb1	Twb2	Debit
0	60	40,43	31,5	27	40	$5,88 \times 10^{-5}$
20	60	40,23	31,5	27	40	$5,88 \times 10^{-5}$
40	60	38,73	31,5	27	40	$5,88 \times 10^{-5}$
60	60	38,23	31,5	27	40	$5,88 \times 10^{-5}$
80	60	40,37	31,5	27	40	$5,88 \times 10^{-5}$
100	60	38,80	31,5	27	40	$5,88 \times 10^{-5}$
120	60	37,63	31,5	27	40	$5,88 \times 10^{-5}$
140	60	39,73	31,5	27	40	$5,88 \times 10^{-5}$
160	60	40,40	31,5	27	40	$5,88 \times 10^{-5}$
180	60	40,67	31,5	27	40	$5,88 \times 10^{-5}$
200	60	43,80	31,5	27	40	$5,88 \times 10^{-5}$
220	60	38,60	31,5	27	40	$5,88 \times 10^{-5}$
240	60	40,23	31,5	27	40	$5,88 \times 10^{-5}$
x	<b>60</b>	<b>39,84</b>	<b>31,5</b>	<b>27</b>	<b>40</b>	<b><math>5,88 \times 10^{-5}</math></b>

## A.5 PENGAMBILAN DATA SUHU AWAL 60 °C DAN KECEPATAN UDARA

3,2 m/s

Waktu	Suhu Air Masuk	Temperatur Air Keluar	Tdb	Twb1	Twb2	Debit
0	60	42,23	31,5	27	32	$5,88 \times 10^{-5}$
20	60	43,53	31,5	27	32	$5,88 \times 10^{-5}$
40	60	41,23	31,5	27	32	$5,88 \times 10^{-5}$
60	60	37,07	31,5	27	32	$5,88 \times 10^{-5}$
80	60	40,97	31,5	27	32	$5,88 \times 10^{-5}$
100	60	41,37	31,5	27	32	$5,88 \times 10^{-5}$

<b>120</b>	60	38,90	31,5	27	32	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>140</b>	60	42,07	31,5	27	32	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>160</b>	60	41,87	31,5	27	32	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>180</b>	60	41,03	31,5	27	32	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>200</b>	60	42,33	31,5	27	32	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>220</b>	60	43,33	31,5	27	32	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>240</b>	60	38,73	31,5	27	32	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>x</b>	<b>60</b>	<b>41,13</b>	<b>31,5</b>	<b>27</b>	<b>32</b>	<b><math>5,88 \times 10^{-5}</math></b>

## A.6 PENGAMBILAN DATA SUHU AWAL 60 °C DAN KECEPATAN UDARA

1,6 m/s

<b>Waktu</b>	<b>Suhu Air Masuk</b>	<b>Temperatur Air Keluar</b>	<b>Tdb</b>	<b>Twb1</b>	<b>Twb2</b>	<b>Debit</b>
<b>0</b>	60	41,43	33	28,5	30,5	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>20</b>	60	46,53	33	28,5	30,5	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>40</b>	60	46,40	33	28,5	30,5	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>60</b>	60	46,67	33	28,5	30,5	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>80</b>	60	45,93	33	28,5	30,5	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>100</b>	60	46,77	33	28,5	30,5	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>120</b>	60	43,40	33	28,5	30,5	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>140</b>	60	43,80	33	28,5	30,5	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>160</b>	60	43,80	33	28,5	30,5	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>180</b>	60	45,57	33	28,5	30,5	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>200</b>	60	45,13	33	28,5	30,5	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>220</b>	60	44,77	33	28,5	30,5	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>240</b>	60	44,30	33	28,5	30,5	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>x</b>	<b>60</b>	<b>44,96</b>	<b>33</b>	<b>28,5</b>	<b>30,5</b>	<b><math>5,88 \times 10^{-5}</math></b>

## A.7 PENGAMBILAN DATA SUHU AWAL 50 °C DAN KECEPATAN UDARA

4,8 m/s

<b>Waktu</b>	<b>Suhu Air Masuk</b>	<b>Temperatur Air Keluar</b>	<b>Tdb</b>	<b>Twb1</b>	<b>Twb2</b>	<b>Debit</b>
<b>0</b>	50	37,63	32	26,5	38	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>20</b>	50	35,93	32	26,5	38	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>40</b>	50	34,93	32	26,5	38	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>60</b>	50	35,47	32	26,5	38	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>80</b>	50	35,87	32	26,5	38	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>100</b>	50	35,73	32	26,5	38	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>120</b>	50	35,03	32	26,5	38	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>140</b>	50	35,53	32	26,5	38	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>160</b>	50	35,63	32	26,5	38	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>180</b>	50	35,77	32	26,5	38	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>200</b>	50	35,13	32	26,5	38	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>220</b>	50	35,10	32	26,5	38	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>240</b>	50	33,83	32	26,5	38	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>x</b>	<b>50</b>	<b>35,51</b>	<b>32</b>	<b>26,5</b>	<b>38</b>	<b><math>5,88 \times 10^{-5}</math></b>

## A.8 PENGAMBILAN DATA SUHU AWAL 50 °C DAN KECEPATAN UDARA

3,2 m/s

<b>Waktu</b>	<b>Suhu Air Masuk</b>	<b>Temperatur Air Keluar</b>	<b>Tdb</b>	<b>Twb1</b>	<b>Twb2</b>	<b>Debit</b>
<b>0</b>	50	37,63	31,5	26,5	30,5	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>20</b>	50	38,37	31,5	26,5	30,5	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>40</b>	50	38,33	31,5	26,5	30,5	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>60</b>	50	39,20	31,5	26,5	30,5	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>80</b>	50	39,83	31,5	26,5	30,5	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>100</b>	50	39,43	31,5	26,5	30,5	$5,88 \times 10^{-5}$

<b>120</b>	50	39,97	31,5	26,5	30,5	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>140</b>	50	39,60	31,5	26,5	30,5	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>160</b>	50	40,03	31,5	26,5	30,5	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>180</b>	50	38,50	31,5	26,5	30,5	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>200</b>	50	39,23	31,5	26,5	30,5	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>220</b>	50	38,10	31,5	26,5	30,5	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>240</b>	50	38,30	31,5	26,5	30,5	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>x</b>	<b>50</b>	<b>38,96</b>	<b>31,5</b>	<b>26,5</b>	<b>30,5</b>	<b><math>5,88 \times 10^{-5}</math></b>

## A.9 PENGAMBILAN DATA SUHU AWAL 50 °C DAN KECEPATAN UDARA

1,6 m/s

<b>Waktu</b>	<b>Suhu Air Masuk</b>	<b>Temperatur Air Keluar</b>	<b>Tdb</b>	<b>Twb1</b>	<b>Twb2</b>	<b>Debit</b>
<b>0</b>	50	39,30	31,5	27	30	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>20</b>	50	41,13	31,5	27	30	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>40</b>	50	40,03	31,5	27	30	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>60</b>	50	42,20	31,5	27	30	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>80</b>	50	42,40	31,5	27	30	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>100</b>	50	42,23	31,5	27	30	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>120</b>	50	42,40	31,5	27	30	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>140</b>	50	42,60	31,5	27	30	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>160</b>	50	42,17	31,5	27	30	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>180</b>	50	41,77	31,5	27	30	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>200</b>	50	42,37	31,5	27	30	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>220</b>	50	41,07	31,5	27	30	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>240</b>	50	41,10	31,5	27	30	$5,88 \times 10^{-5}$
<b>x</b>	<b>50</b>	<b>41,60</b>	<b>31,5</b>	<b>27</b>	<b>30</b>	<b><math>5,88 \times 10^{-5}</math></b>

Keterangan:

Tdb : Suhu bola kering  
Twb1 : Suhu bola basah keluar *Cooling Tower*  
Twb2 : Suhu bola basah masuk *Cooling Tower*  
x : Rata-rata





**LAMPIRAN 2. Pengambilan Data *Cooling Tower* Tanpa Bahan Pengisi**

Hasil pengujian dengan variasi kecepatan udara 4,8 m/s

Suhu Air Masuk	Temperatur Air Keluar	Tdb	Twb1	Twb2	Debit
70	45,17	32	28	30	$5,88 \times 10^{-5}$
60	41,99	31,5	27,5	29	$5,88 \times 10^{-5}$
50	36,96	30	27	28,5	$5,88 \times 10^{-5}$

Hasil pengujian dengan variasi kecepatan udara 3,2 m/s

Suhu Air Masuk	Temperatur Air Keluar	Tdb	Twb1	Twb2	Debit
70	49,49	32	28	30,5	$5,88 \times 10^{-5}$
60	42,90	32	28	30	$5,88 \times 10^{-5}$
50	39,43	31	27,5	29	$5,88 \times 10^{-5}$

Hasil pengujian dengan variasi kecepatan udara 1,6 m/s

Suhu Air Masuk (T <sub>1</sub> )	Temperatur Air Keluar (T <sub>2</sub> )	Tdb	Twb1	Twb2	Debit
70	42,63	31,5	28	30	$5,88 \times 10^{-5}$
60	46,13	33	27	29	$5,88 \times 10^{-5}$
50	42,63	32	27	29	$5,88 \times 10^{-5}$

Keterangan:

- Tdb : Suhu bola kering  
 Twb1 : Suhu bola basah keluar *Cooling Tower*  
 Twb2 : Suhu bola basah masuk *Cooling Tower*  
 x : Rata-rata

## LAMPIRAN 3. Hasil Semua Perhitungan

<b>v</b> (m/s)	<b>T<sub>1</sub></b> °C	<b>ΔT</b> °C	<b>A</b> °C	<b>EP</b> %	<b>R</b> a/u	<b>KP</b> kJ/s	<b>L/G</b> kJ/kg	<b>LP</b> L/menit
<b>4,80</b>	70	14,49	9,01	61,66	0,67	3,56	19,51	0,00130
	60	20,16	12,84	61,09	0,67	4,96	16,86	0,00181
	50	29,99	10,01	74,98	0,67	7,37	10,48	0,00270
<b>3,20</b>	70	11,04	12,46	46,98	1,00	2,71	7,43	0,00099
	60	18,87	14,13	57,18	1,00	4,64	5,69	0,00170
	50	28,47	14,53	66,21	1,00	7,00	4,64	0,00256
<b>1,60</b>	70	8,40	14,60	36,52	2,00	2,06	7,32	0,00076
	60	15,04	16,46	47,75	2,00	3,70	2,85	0,00135
	50	25,01	17,99	58,16	2,00	6,15	3,35	0,00225

## Keterangan

- v : Kecepatan udara masuk *cooling tower*
- T<sub>1</sub> : Suhu awal
- ΔT : *Range*
- A : *Approach*
- EP : Efektivitas pendingin
- R a/u : Rasio air dan udara
- KP : Kapasitas pendingin
- L/G : Perbandingan *liquid* dan gas
- LP : Kehilangan Penguapan

**LAMPIRAN 4. Dokumentasi**



Gambar *cooling tower*



Gambar bahan pengisi *cooling tower*



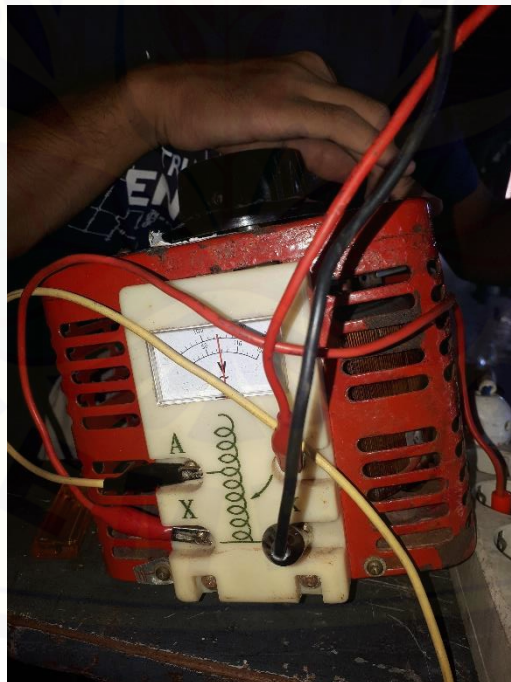
Gambar tampak atas *cooling tower*



Gambar thermometer digital



Gambar termometer air raksa



Gambar AVR



Gambar anemometer



Gambar *flowmeter*



Gambar pengambilan data

JEMBER