



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

**SKRIPSI**

Oleh

**Elok Nurul Faizah**

**NIM 161910101068**

**PROGRAM STUDI STRATA I TEKNIK MESIN**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS JEMBER**

**2020**



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

**SKRIPSI**

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

Oleh

**Elok Nurul Faizah**

**NIM 161910101068**

**PROGRAM STUDI STRATA I 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 Moh. Mustain, Ibunda Muyassaroh, dan saudara-saudari, atas semua dukungan, cinta, kasih sayang, perhatian, doa, pengorbanan, semangat, motivasi dan bimbingan;
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. Hary Sutjahjono S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama, bapak Ir. Robertus Sidartawan S.T., M.T selaku Pembimbing Anggota serta Dosen Pembimbing Akademik yang selalu memberikan saran dan arahan yang sangat membantu dalam proses penyelesaian skripsi ini. Bapak Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc. selaku Dosen Penguji Utama dan bapak Dr. Mochamad Asrofi S.T. selaku Dosen Penguji Anggota yang banyak sekali memberi saran dan berbagai pertimbangan menuju ke arah yang benar dalam penyelesaian skripsi ini;
3. Teman – teman penelitian *Coling Tower Research Team*, Raka, dan Yahya yang sudah memberikan semangat dan bimbingan;
4. Teman – teman brandal tapi menyenangkan Faiz, Nopek, Putri, Royan, Reza, Alvin, Topeng, Sinyo, Dadung, Jaya, Haris dan lainnya yang telah mendukung, membantu, dan menghibur selama kuliah;
5. Teman – teman diskusi Mas Agung, Fahrul, Ajiz, Andreas, Ali, Agusvian, Gunawan, Uul, dan Cici yang selalu membantu dalam perkuliahan;
6. Teman – teman Kontrakan O 23, Silfi, Herninda dan Rury yang selalu siap sedia membantu dalam hal apapun;
7. Teman – teman LDR, Anita, Hanum, Shinta, Ane, Aninda, Etika, Pidunk, Ernes dan lainnya yang selalu ada meskipun hanya *online*;

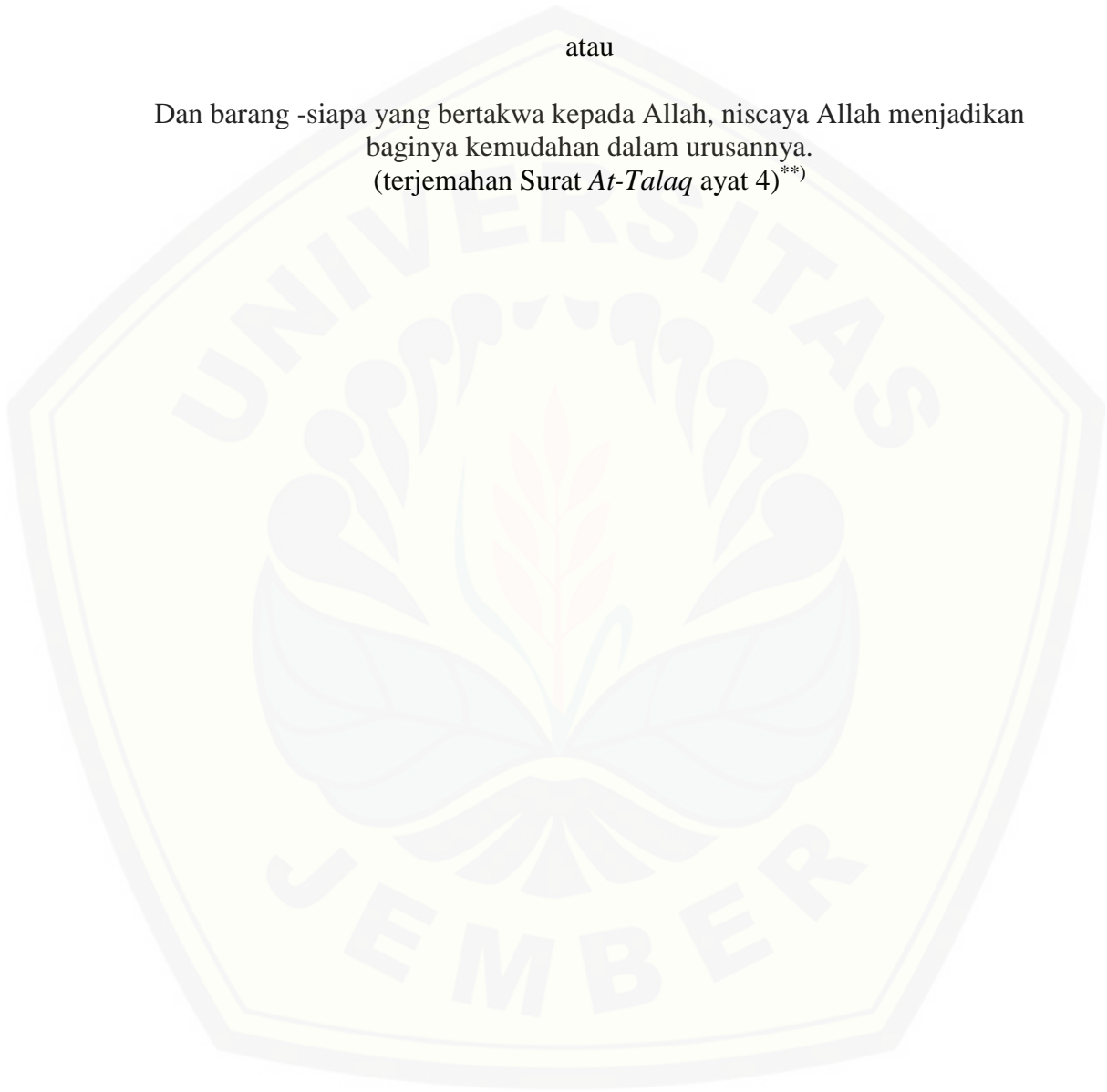
8. Teman – teman BEM 2019, Nadya, Ila, Indro, Gilang, Thoni, Fahir, Artika, Sartika, Rozi, dan anggota BPH, Staff dan demisioner termasuk Hafi dan Zaki, yang telah memberi dukungan, dan sabar bekerjasama dengan saya;
9. TIM MOBIL IRIT UNEJ, Rosyid, Mbak Bela, Choifin, Mas Akib, Mas Gendoz, Mas Jen, Mas Fikri, Risqa, Reza dan anggota lainnya yang telah memberi dukungan selama kuliah dan bekerjasama dalam tim dengan baik;
10. Teman-teman KKN 105, Elisabet, Akbar, William, Tri, Fidella, Riza, Nur, Iqbal, dan Nindy yang telah hidup bersama selama 45 hari dan selalu mendukung;
11. Aslab dan Teknisi Konversi Energi, Mas Feri, Fahriza, Gayuh, Rizki, Anas yang telah membantu dalam penelitian dan membantu dalam praktikum;
12. Keluarga besar M18 Unej Teknik Mesin angkatan tahun 2016 yang banyak membantu dan memberikan semangat serta suka duka selama kuliah;
13. Warga Mesin dan warga Teknik yang telah membantu dan mendukung selama perkuliahan
14. Almamater tercinta Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember;
15. Dan seluruh pihak yang telah mendukung dan tak bisa saya sebutkan satu – satu;

**MOTTO**

Dan Dia mendapatimu sebagai orang yang bingung, lalu Dia memberikan petunjuk. (terjemahan Surat *Ad-Duha* ayat 7)<sup>\*)</sup>

atau

Dan barang -siapa yang bertakwa kepada Allah, niscaya Allah menjadikan baginya kemudahan dalam urusannya.  
(terjemahan Surat *At-Talaq* ayat 4)<sup>\*\*) )</sup>



---

<sup>\*) ;\*\*)</sup> Departemen Agama Republik Indonesia. 1998. *Al Qur'an dan Terjemahnya*. Semarang: PT. KumudasmoroGrafindo.

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama: Elok Nurul Faizah

NIM: 161910101068

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Analisis Performa Kinerja *Cooling tower Induced Draft Counter Flow* Dengan Bahan Pengisi Aluminium *Semicircular arc*” adalah benar – 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 saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 20 Februari 2020  
Yang menyatakan,

Elok Nurul Faizah  
NIM 161910101068

**SKRIPSI**

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

Oleh

Elok Nurul Faizah

NIM 161910101068

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Ir. Hary Sutjahjono S.T., M.T.,

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



**PENGESAHAN**

Proposal berjudul “Analisis Performa Kinerja *Cooling tower Induced Draft Counter Flow* Dengan Bahan Pengisi Aluminium *Semicircular Arc*” telah disetujui pada:

Hari, tanggal : Kamis, 20 Februari 2020

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember.

Dosen Pembimbing Utama,

Ir. Hary Sutjahjono S.T., M.T.  
NIP 196812051997021002

Dosen Penguji I,

Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc.  
NIP 19680617 199501 1 001

Dosen Pembimbing Anggota,

Ir. Robertus Sidartawan S.T., M.T.  
NIP 197003101997021001

Dosen Penguji II

Dr. Mochamad Asrofi., S.T.  
NIP 760019035

Dekan Fakultas Teknik,

Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S. T., M. T.  
NIP 19700826 199702 1 001



## RINGKASAN

**Analisis Performa Kinerja *Cooling Tower Induced Draft Counter Flow* Dengan Bahan Pengisi Aluminium *Semicircular Arc***; Elok Nurul Faizah, 161910101068; 2020; 77 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Perkembangan dunia industri sangat pesat seiring dengan berkembangnya kemajuan ilmu dan teknologi. Indonesia adalah salah satu negara yang sedang berkembang dalam pembangunan ekonomi nasional. Dalam proses produksi banyak sekali elemen-elemen unit pendukung (*utilitas*) yang dibutuhkan untuk hasil produk yang maksimal dan efektif. Salah satu utilitas yang dibutuhkan adalah *cooling tower*. *Cooling tower* didefinisikan sebagai alat penukar kalor yang fluida kerjanya adalah air dan udara yang berfungsi mendinginkan air dengan kontak langsung dengan udara. Untuk menghasilkan kerja maksimal, diperlukan bahan pengisi yang berfungsi untuk menghambat laju aliran fluida. Aluminium memiliki sifat mudah diproses menjadi bentuk yang diinginkan serta mempunyai unjuk kerja yang sesuai untuk beberapa komponen yang tidak memerlukan kekuatan tinggi. Penelitian sebelumnya mengenai *cooling tower* menunjukkan hasil performa kinerja *cooling tower* yang lebih baik karena adanya bahan pengisi, salah satunya yaitu menggunakan bahan pengisi bamboo, *calciboard* dan keramik. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh bahan pengisi aluminium *semicircular arc* pada performa kinerja *cooling tower induced draft counter flow* terhadap: (1) hasil pengaruh variasi suhu awal air dan kecepatan, 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* penambahan bahan pengisi aluminium *semicircular arc*. *Cooling tower* ini menggunakan 3 layer pengisi aluminium *semicircular arc* dengan jarak antar layer pengisi disamakan. Pada proses pengujian perlakuan yang sama dengan memvariasikan suhu awal 50 °C, 60 °C, 70 °C dan kecepatan udara tanpa bahan pengisi 2 m/s, 4 m/s, 6 m/s serta kecepatan udara dengan bahan pengisi 1,6 m/s, 2,4

m/s, 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 air. Pengambilan data dilakukan setiap 20 detik selama 240 detik.

Penelitian pada *cooling tower* dengan bahan pengisi aluminium *semicircular arc* menghasilkan efektivitas dan kapasitas pendingin lebih tinggi daripada *cooling tower* tanpa menggunakan bahan pengisi. Hal ini dibuktikan dengan nilai efektivitas tertinggi pada *cooling tower* dengan bahan pengisi adalah 77,69% sedangkan nilai tertinggi pada *cooling tower* tanpa bahan pengisi yaitu 59,13%. Nilai kapasitas pendingin pada *cooling tower* dengan bahan pengisi adalah 8.021,08 J/s sedangkan nilai tertinggi pada *cooling tower* tanpa bahan pengisi yaitu 6.102,23 J/s.

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

## SUMMARY

**Performance Analysis of Cooling Tower Induced Draft Counter Flow with Aluminium Semicircular Arc Filling Material;** Elok Nurul Faizah, 161910101068; 2020; 77 pages; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

The development of the industrial world is very rapid along with the development of scientific progress and technology. Indonesia is one of the developing country's in-development national economies. In the production process a lot of elements of supporting units (utilities) are needed for maximum and effective product results. One of the utilities needed is a cooling tower. The cooling tower is defined as a heat exchanger whose working fluid is water and air which functions to cool water by direct contact with air. Moreover, to produce maximum work, fillers are needed that function to inhibit the flow rate of the fluid. Aluminum has the property of being easily processed into desired shape and has a performance that is suitable for some components that do not require high strength. Accordingly previous research on cooling towers showed results better performance cooling tower due to the presence of fillers, one of which was using bamboo, calciboard fillers and ceramic.

The purpose of this study was to determine the effect of aluminum semicircular arc filler on the performance of the cooling tower induced draft counter flow performance on (1) the results of the effect of variations in the initial water temperature and velocity, and (2) the results of the effects of effectiveness impact, water-air ratio, cooling capacity, loss of evaporation and L/G values. This study uses an experimental method by comparing cooling towers without using fillers with cooling towers adding aluminum fillers semicircular arc. This cooling tower uses 3 layers of aluminum semicircular arc fillers with equal distance between the fill layers. In the process of testing the same treatment by varying the initial temperature of 50 °C, 60 °C, 70 °C and air velocity without fillers 2 m/s, 4 m/s, 6 m/s and air velocity with 1.6 fillers m/s, 2.4 m/s, 4.8 m/s. Furthermore, the

data obtained in this study include the initial temperature of the incoming water, the temperature of the exit water, the temperature of the wet-bulb in the temperature of the wet-bulb out, the temperature of the dry-bulb, air velocity, and water discharge. Data collection is performed every 20 seconds for 240 seconds.

Research on cooling towers with aluminum fillers semicircular arc results in higher effectiveness and cooling capacity than cooling towers without using fillers. This is evidenced by the highest effectiveness value on the cooling tower with filler material is 77.69% while the highest value on the cooling tower without filler material is 59.13%. The value of the cooling capacity in the cooling tower with filler material is 8021.08 J/s while the highest value on the cooling tower without filler material is 6102.23 J/s.

Aluminum filler material semicircular arc with variations in the initial water temperature and air velocity affect the performance of the cooling tower induced draft counter flow. Therefore, the greater the variation of initial water temperature and air velocity with the addition of filler, the more effective the effectiveness, cooling capacity, and L/G value will increase. A comparison of the water-air ratio decreases with increasing value of initial water temperature variations and air velocity.

## PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT, atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Performa Kinerja *Cooling Tower Induced Draft Counter Flow* Dengan Bahan Pengisi Aluminium *Semicircular Arc*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember. Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Dr. Ir. Triwahyu Hardianto S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
2. Bapak Hari Arbiantara, S.T, M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember dan Dosen Pembimbing Akademik;
3. Bapak Dr. Ir. Salahuddin Junus S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember;
4. Bapak Ir. Hary Sutjahjono S.T., M.T., dan Bapak Ir. Robertus Sidartawan S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing;
5. Ayah, Ibu, kakak, dan keluarga yang telah memberikan dukungan;
6. Teman-teman sengkatan (M18) yang telah memberi semangat, motivasi, dan dukungan;
7. Civitas akademika Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember;

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, 20 Februari 2020

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL .....	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	ii
HALAMAN MOTTO .....	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN PEMBIMBING .....	vi
HALAMAN PENGESAHAN.....	vii
HALAMAN RINGKASAN .....	viii
HALAMAN PRAKATA .....	xii
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL .....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
<b>BAB 1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Latar Belakang .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Rumusan Masalah.....</b>	<b>4</b>
<b>1.3 Tujuan Penelitian .....</b>	<b>5</b>
<b>1.4 Manfaat Penelitian .....</b>	<b>5</b>
<b>1.5 Batasan Masalah .....</b>	<b>6</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>
2.2.1 Kerangka Pendukung Menara (Tower Supporter) .....	7
2.2.2 Rumah <i>Cooling Tower</i> ( <i>Casing</i> ) .....	7
2.2.3 Pipa <i>Sprinkler</i> .....	7
2.2.4 Penampung Air ( <i>Water Basin</i> ) .....	7

2.2.5	Lubang Udara ( <i>Inlet Louver</i> ).....	8
2.2.6	Bahan Pengisi ( <i>Filling Material</i> ). ....	8
2.2.7	Saluran Udara Masuk .....	10
2.2.8	<i>Fan</i> .....	10
<b>2.3</b>	<b>Jenis – Jenis <i>Cooling Tower</i></b> .....	<b>10</b>
2.3.1	Cooling Tower Natural Draft .....	10
2.3.2	Cooling Tower Mechanical Draft.....	11
<b>2.4</b>	<b>Fungsi dan Cara Kerja <i>Cooling Tower</i></b> .....	<b>13</b>
2.4.1	Fungsi Cooling Tower .....	14
2.4.2	Cara Kerja Cooling Tower .....	14
<b>2.5</b>	<b>Aluminium</b> .....	<b>18</b>
<b>2.6</b>	<b><i>Semicircular Arc</i></b> .....	<b>18</b>
<b>2.7</b>	<b>Air</b> .....	<b>19</b>
<b>2.8</b>	<b>Analisis <i>Cooling Tower Counter Flow</i></b> .....	<b>20</b>
<b>2.9</b>	<b>Pompa</b> .....	<b>23</b>
<b>2.10</b>	<b>Penelitian Terdahulu</b> .....	<b>23</b>
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN</b> .....		<b>27</b>
<b>3.1</b>	<b>Metode Penelitian</b> .....	<b>27</b>
<b>3.2</b>	<b>Waktu dan Tempat Penelitian</b> .....	<b>27</b>
<b>3.3</b>	<b>Alat dan Bahan</b> .....	<b>27</b>
3.3.1	Alat dan Instrumen Penelitian .....	27
3.3.2	Bahan Penelitian.....	28
<b>3.4</b>	<b>Spesifikasi <i>Cooling Tower</i></b> .....	<b>28</b>
<b>3.5</b>	<b>Prosedur Penelitian</b> .....	<b>29</b>
3.5.1	Persiapan Alat Pengujian.....	29
3.5.2	Pemeriksaan Alat Pengujian.....	29
3.5.3	Tahapan Pengambilan Data.....	29
3.5.5	Skema Aliran Air Cooling Tower Induced Draft Counter ....	32



3.5.6	Variabel .....	33
<b>3.6</b>	<b>Analisis Performa Kinerja <i>Cooling tower</i> Induced Draft Counter <i>Flow</i> .....</b>	<b>34</b>
<b>3.7</b>	<b>Diagram Alir .....</b>	<b>36</b>
<b>BAB 4.</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>37</b>
<b>4.1</b>	<b>Data Hasil Pengujian .....</b>	<b>37</b>
<b>4.2</b>	<b>Efektivitas <i>Cooling Tower</i> .....</b>	<b>37</b>
4.2.1	Range .....	37
4.2.2	Approach .....	39
4.2.3	Efektivitas <i>Cooling tower</i> .....	41
<b>4.3</b>	<b>Rasio Air dan Udara .....</b>	<b>43</b>
<b>4.4</b>	<b>Kapasitas Pendingin .....</b>	<b>44</b>
<b>4.5</b>	<b>Kehilangan Penguapan .....</b>	<b>45</b>
<b>4.6</b>	<b>L/G (Rasio Liquid dan Gas) .....</b>	<b>47</b>
<b>BAB 5.</b>	<b>PENUTUP .....</b>	<b>49</b>
<b>5.1</b>	<b>Kesimpulan .....</b>	<b>49</b>
<b>5.2</b>	<b>Saran .....</b>	<b>50</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>.....</b>	<b>52</b>
<b>LAMPIRAN 1.</b>	<b>Tabel Data Hasil Pengujian .....</b>	<b>55</b>
<b>LAMPIRAN 2.</b>	<b>Nilai Rata-rata .....</b>	<b>65</b>
<b>LAMPIRAN 3.</b>	<b>PERHITUNGAN .....</b>	<b>67</b>
<b>LAMPIRAN 4.</b>	<b>GAMBAR PENGISI ALUMINIUM <i>SEMICIRCULAR ARC</i> .....</b>	<b>69</b>
<b>LAMPIRAN 5.</b>	<b>DOKUMENTASI PENELITIAN .....</b>	<b>70</b>

**DAFTAR TABEL**

Tabel 2.1 <i>Konduktivitas thermal</i> bahan .....	18
Tabel 2.2 Kalor jenis zat .....	20
Tabel 3.1 <i>Time line</i> penelitian.....	27
Tabel 3.2 Spesifikasi pompa air .....	28
Tabel 3.3 Spesifikasi motor listrik .....	28
Tabel 3.4 Variabel bebas.....	33
Tabel 3.5 Variabel terikat.....	33
Tabel 3.6 Contoh data yang diambil .....	35
Tabel 4.1 Hasil pengujian tanpa bahan pengisi <i>cooling tower</i> .....	37
Tabel 4.2 Hasil pengujian dengan bahan pengisi <i>cooling tower</i> .....	37
Tabel 4.3 Data rata-rata hasil perhitungan <i>range cooling tower</i> .....	38
Tabel 4.4 Data rata-rata hasil perhitungan <i>approach cooling tower</i> .....	39
Tabel 4.5 Data rata-rata hasil perhitungan efektivitas <i>cooling tower</i> .....	41
Tabel 4.6 Data rata-rata hasil perhitungan rasio air-udara <i>cooling tower</i> .....	43
Tabel 4.7 Data rata-rata hasil perhitungan kapasitas pendingin <i>cooling tower</i> ....	44
Tabel 4.8 Data rata-rata hasil perhitungan Kehilangan Penguapan <i>cooling tower</i>	46
Tabel 4.9 Data rata-rata hasil perhitungan L/G <i>cooling tower</i> .....	48

**DAFTAR GAMBAR**

Gambar 2.1 Diagram skematik <i>cooling tower</i> .....	6
Gambar 2.2 Konstruksi <i>cooling tower</i> .....	7
Gambar 2.3 (a) Aliran <i>splash fill</i> . (b) Profil <i>splash fill</i> .....	8
Gambar 2.4 <i>Film fill</i> .....	9
Gambar 2.5 <i>Low-clog film fill</i> .....	9
Gambar 2.6 <i>Fan</i> .....	10
Gambar 2.7 <i>Cooling tower natural draft</i> aliran melintang .....	11
Gambar 2.8 <i>Cooling tower induced draft crossflow</i> .....	12
Gambar 2.9 <i>Cooling tower induced draft counterflow</i> .....	13
Gambar 2.10 <i>Cooling tower forced draft</i> .....	13
Gambar 2.11 Grafik lintasan udara pada <i>cooling tower counterflow</i> .....	14
Gambar 2.12 Skema kerja <i>cooling tower</i> .....	15
Gambar 2.13 Grafik <i>range</i> dan <i>approach</i> suhu pada <i>cooling tower</i> .....	16
Gambar 2.14 <i>Semicircular arc</i> .....	19
Gambar 2.15 Pertukaran energy <i>cooling tower</i> berlawanan arah .....	21
Gambar 2.16 Diagram entalpi-suhu udara dan air .....	22
Gambar 2.17 Pompa .....	23
Gambar 2.18 Skema rangkaian <i>cooling tower induced draft counterflow</i> yang di buat oleh Hidayat. ....	25
Gambar 2.19 Skema rangkaian <i>cooling tower forced draft counter flow</i> . ....	26
Gambar 3.1 Pengisi alumunium <i>semicircular arc</i> .....	29
Gambar 3.2 Skema rangkaian <i>cooling tower induced draft counter flow</i> .....	31
Gambar 3.3 <i>Cooling tower induced draft counter flow</i> .....	32
Gambar 3.4 Diagram alir penelitian .....	36
Gambar 4.1 Grafik <i>range cooling tower</i> .....	38
Gambar 4.2 Grafik <i>approach cooling tower</i> .....	40
Gambar 4.3 Grafik efektivitas <i>cooling tower</i> .....	42
Gambar 4.4 Grafik rasio air-udara <i>cooling tower</i> .....	43

Gambar 4.5 Grafik kapasitas pendingin <i>cooling tower</i> .....	45
Gambar 4.6 Grafik kehilangan penguapan <i>cooling tower</i> .....	46
Gambar 4.7 Diagram fasa larutan .....	47
Gambar 4.8 Grafik L/G <i>cooling tower</i> .....	48



## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan dunia industri sangat pesat seiring dengan berkembangnya kemajuan ilmu dan teknologi. Indonesia adalah salah satu negara yang sedang berkembang dalam pembangunan ekonomi nasional. Pembangunan industri adalah salah satu upaya peningkatan pertumbuhan ekonomi nasional untuk mewujudkan cita-cita nasional. Pada tahun 2018 perekonomian Indonesia tumbuh sebesar 5,17%, lebih tinggi dibandingkan pertumbuhan 2017 yang sebesar 5,017% (Kementrian Perindustrian, 2019). Bertambahnya industri juga untuk mewujudkan tujuan nasional agar dapat mensejahterakan masyarakat.

Industri adalah perusahaan yang menjalankan kegiatan ekonomi yang tergolong dalam sektor sekunder. Kegiatan itu antara lain adalah pabrik tekstil, pabrik perakitan dan pabrik pembuatan rokok. Industri merupakan suatu kegiatan ekonomi yang mengolah barang mentah, bahan baku barang setengah jadi atau barang jadi untuk dijadikan barang yang lebih tinggi kegunaannya (Sukirno Sadono, 1995). Dalam proses produksi banyak sekali elemen-elemen unit pendukung (*utilitas*) yang dibutuhkan untuk hasil produk yang maksimal dan efektif. Sebuah industri dalam melakukan proses produksi akan menggunakan air panas, sehingga membutuhkan pengolahan air panas hasil dari proses produksi karena air panas tidak bisa dibuang dalam kondisi suhu tinggi yang akan merusak lingkungan. Salah satu utilitas yang dapat mengatasi hal tersebut dalam sebuah industri adalah *cooling tower*.

Menurut literatur (El. Wakil, 1992) *cooling tower* 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. *Cooling tower* digunakan untuk mendinginkan air dalam jumlah besar di industri kimia, pembangkit listrik termal, pembangkit listrik tenaga nuklir dan industri minyak bumi (Merkel F, 1925). *Cooling tower induced*



*draft counter flow* adalah *cooling tower* yang aliran udara dan airnya tegak lurus dengan bantuan *fan*.

Untuk menghasilkan kerja maksimal, diperlukan bahan pengisi yang berfungsi untuk menghambat laju aliran fluida (Taufik Ahmad, 2014). Semakin lama kontak air dan udara dalam pengisi akan dapat menurunkan suhu karena terjadi pertukaran panas antara air dan udara yang dapat mempengaruhi proses penguapan pada *cooling tower*. Kerusakan bahan pengisi merupakan masalah utama pada *cooling tower*.

Aluminium (Al) adalah salah satu logam *non ferro* yang memiliki beberapa keunggulan, diantaranya adalah memiliki berat jenis yang ringan, ketahanan terhadap korosi, dan mampu bentuk yang baik (Diharjo, 1999). Keunggulan material aluminium terdapat pada berat jenisnya yang ringan dan kekuatannya yang dapat ditingkatkan sesuai dengan kebutuhan. Kekuatan aluminium biasanya ditingkatkan dengan cara paduan (*alloying*) (Amstead, 1997). Aluminium memiliki sifat mudah diproses menjadi bentuk yang diinginkan serta mempunyai unjuk kerja yang sesuai untuk beberapa komponen yang tidak memerlukan kekuatan tinggi. Selain itu, aluminium juga mudah membentuk oksida pasif yang dapat mencegah berlangsungnya proses korosi. Peningkatan produksi aluminium juga meningkat sehingga membuat aluminium sekarang mudah didapat.

Penelitian Prasetya (2016) meneliti tentang *Analisis Variasi Debit Air dan Ketinggian Pengisi Calciboard Terhadap Efektivitas Cooling Tower Forced Draft Counter Flow*. Peneliti ini bertujuan untuk mencari kinerja maksimal dari *cooling tower* dengan variasi debit air 6 liter/menit, 12 liter/menit, 18 liter/menit, dan ketinggian 50 cm, 100 cm, 150 cm menggunakan bahan pengisi *calciboard*. Hasil penelitian menunjukkan semakin tinggi debit dan tinggi *cooling tower* mengakibatkan naiknya kapasitas pendingin. Efektivitas pendingin tertinggi terjadi pada debit 12 liter/menit pada ketinggian pengisi 150 cm sebesar 57,1%.

Penelitian Hakim (2016) meneliti tentang *Analisis Efektivitas Cooling Tower Forced Draft Dengan Variasi Tegangan Listrik Kipas dan Pengisi Tali Ijuk*. Penelitian ini dilakukan pada *cooling tower* dengan dimensi tinggi keseluruhan 300 cm, dan diameter *cooling tower* 60 cm. Bahan pengisi terbuat dari tali ijuk

Penelitian ini bertujuan untuk mencari kinerja maksimal dari *cooling tower* dengan variasi suhu awal 40 °C, 50 °C, 60 °C dan variasi tegangan listrik *fan* 0 volt, 110 volt, dan 220 volt. Hasil penelitian menunjukkan semakin tinggi suhu awal dan tinggi tegangan listrik *fan cooling tower* mengakibatkan naiknya beban kalor. Efektivitas pendinginan tertinggi terjadi pada variasi dengan suhu awal 60 °C, tegangan listrik 220 volt sebesar 96,65% dengan menggunakan bahan pengisi tali ijuk.

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, luas 70 cm<sup>2</sup>, dan 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 100 cm, 150 cm, dan 200 cm. Efektivitas pendinginan tertinggi terjadi pada variasi dengan suhu awal 40 °C, ketinggian 200 cm sebesar 68,08% dengan menggunakan bahan pengisi bambu.

Penelitian yang dilakukan oleh Ramkumar Ramkrishnan dan Ragupathy Arumugam (2013) meneliti tentang kinerja *cooling tower forced draft counter flow* menggunakan bahan pengisi ubin keramik. Dalam penelitian ini menggunakan tiga bentuk pengisi menggunakan bahan ubin keramik yaitu *triangular*, *curved* (10 mm), dan *curved* (100 mm). 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 jenis pengisi lainnya. Efektivitas *cooling tower* yang lebih tinggi dicapai pada L/G rendah. Dari studi eksperimental, ditentukan bahwa pengisi keramik *curved* 100 mm menunjukkan kinerja terbaik. Hal ini disebabkan oleh bentuk pengepakan, bidang kontak dan waktu retensi air dan udara di zona pengisi.

Penelitian sebelumnya meneliti tentang berbagai variasi bahan pengisi *cooling tower* dengan bambu, *calciboard* dan keramik ubin. Dalam penelitian ini



peneliti akan menggunakan bahan pengisi alumunium yang diharapkan dapat memperbaiki kelemahan bahan pengisi penelitian sebelumnya pada pengisi *cooling tower* basah ini kurang efektif, karena *calciboard*, dan bambu adalah bahan yang tidak tahan apabila terlalu lama dipakai dan terkena air yang lembab dan panas dikarenakan sifat *calciboard* dan bambu sifatnya adalah menyerap air dan menyebabkan rapuh dan mudah patah. Oleh sebab itu bahan pengisi pada *cooling tower* ini diganti dengan bahan aluminium yang memiliki sifat yang lebih baik yaitu tahan air, tahan panas, tahan rayap dan memiliki nilai konduktivitas thermal yang tinggi. Bentuk *semicircular arc* yang mengacu pada penelitian sebelumnya adalah bentuk pengisi yang menunjukkan kinerja *cooling tower* terbaik. Aluminium digunakan sebagai bahan pengisi pengganti dengan bentuk *circle* yang dipilih karena bahan ini mudah didapat, memiliki nilai konduktor yang tinggi dan meminimalkan korosi karena air. Diharapkan penelitian ini menunjukkan performa *cooling tower* yang diharapkan selama ini dalam kinerja *cooling tower*.

*Cooling tower induced draft counter flow* dengan bahan pengisi alumunium yang diberi variasi suhu dan kecepatan udara merupakan perbaikan penelitian dari beberapa macam variasi *cooling tower* yang ada, diharapkan perbaikan ini dapat memaksimalkan kinerja *cooling tower* yang pernah dibuat untuk penelitian. Penggunaan bahan pengisi *aluminium arc* yang memiliki nilai *konduktivitas thermal* yang tinggi diharapkan dapat menjadi tolak ukur efisiensi yang diharapkan untuk proses pendinginan air dalam proses pendinginan mesin.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah, maka dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

- a. Bagaimana pengaruh pengisi alumunium *semicircular arc* terhadap efektifitas *cooling tower induced draft counter flow*?
- b. Bagaimana pengaruh pengisi alumunium *semicircular arc* terhadap rasio air dan udara *cooling tower induced draft counter flow*?
- c. Bagaimana pengaruh pengisi alumunium *semicircular arc* terhadap kapasitas pendingin *cooling tower induced draft counter flow*?

- d. Bagaimana pengaruh pengisi alumunium *semicircular arc* terhadap kehilangan penguapan *cooling tower induced draft counter flow*?
- e. Bagaimana pengaruh pengisi alumunium *semicircular arc* terhadap L/G *cooling tower induced draft counter flow*?

### 1.3 Tujuan Penelitian

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

- a. Untuk mengetahui pengaruh pengisi alumunium *semicircular arc* terhadap efektifitas *cooling tower induced draft counter flow*
- b. Untuk mengetahui pengaruh pengisi alumunium *semicircular arc* terhadap rasio air dan udara *cooling tower induced draft counter flow*
- c. Untuk mengetahui pengaruh pengisi alumunium *semicircular arc* terhadap kapasitas pendingin *cooling tower induced draft counter flow*
- d. Untuk mengetahui pengaruh pengisi alumunium *semicircular arc* terhadap kehilangan penguapan *cooling tower induced draft counter flow*
- e. Untuk mengetahui pengaruh pengisi alumunium *semicircular arc* L/G *cooling tower induced draft counter flow*?

### 1.4 Manfaat Penelitian

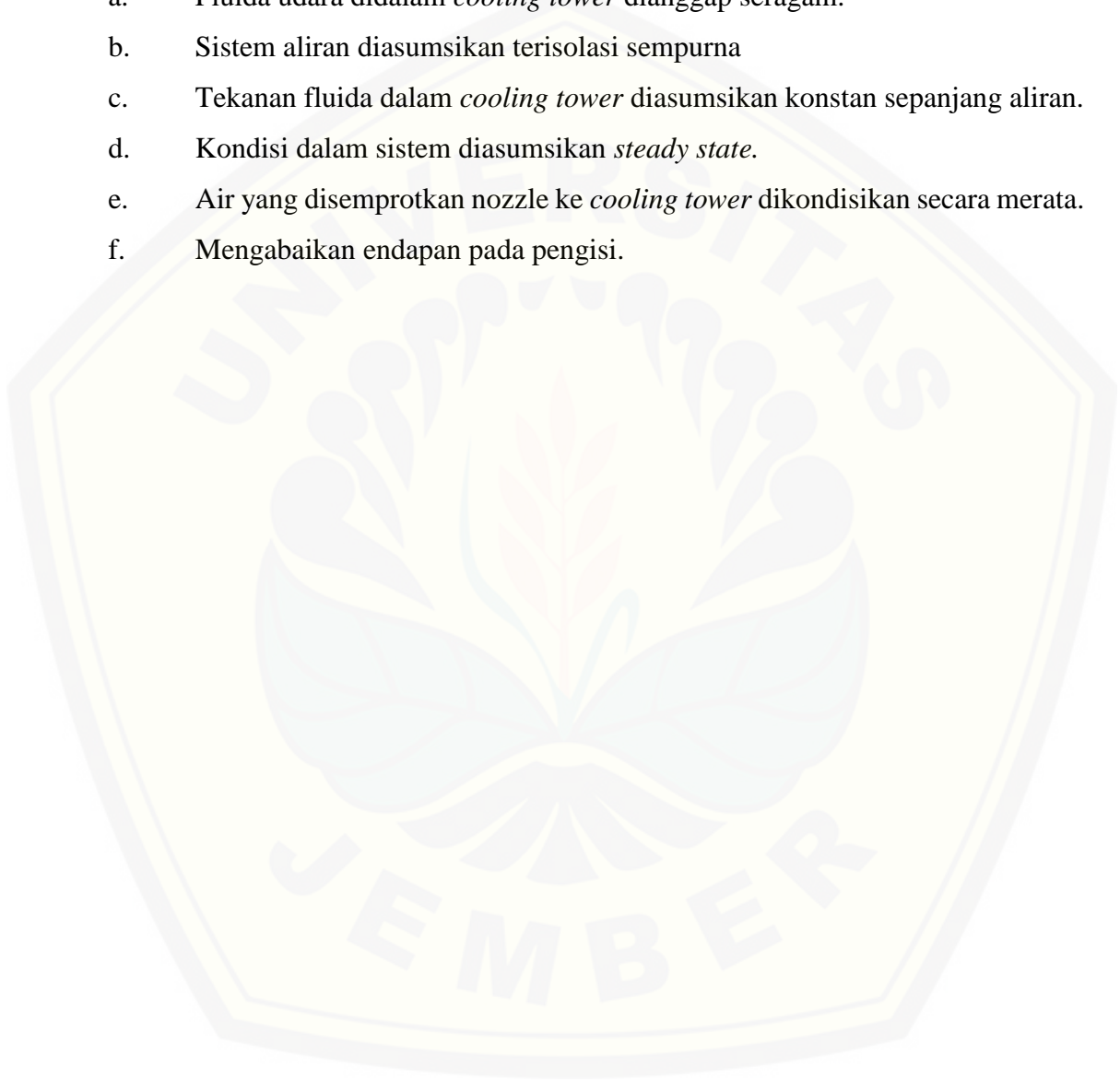
Manfaat yang diharapkan setelah melakukan penelitian tersebut adalah:

- a. Memperoleh informasi pengaruh pengisi alumunium *semicircular arc* terhadap kinerja performa *cooling tower induced draft counter flow*.
- b. Sebagai bahan pertimbangan dan masukan bagi peningkatan performa *cooling tower induced draft counter flow*.
- c. Sebagai bahan acuan atau informasi bagi peneliti lain dalam pengembangan teknologi *cooling tower induced draft counter flow*.

### 1.5 Batasan Masalah

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

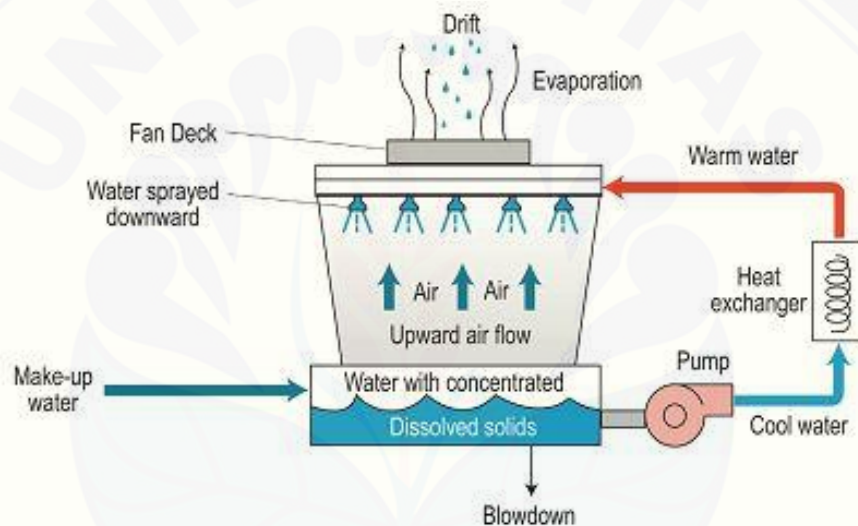
- a. Fluida udara didalam *cooling tower* dianggap seragam.
- b. Sistem aliran diasumsikan terisolasi sempurna
- c. Tekanan fluida dalam *cooling tower* diasumsikan konstan sepanjang aliran.
- d. Kondisi dalam sistem diasumsikan *steady state*.
- e. Air yang disemprotkan nozzle ke *cooling tower* dikondisikan secara merata.
- f. Mengabaikan endapan pada pengisi.



## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pengertian *Cooling Tower*

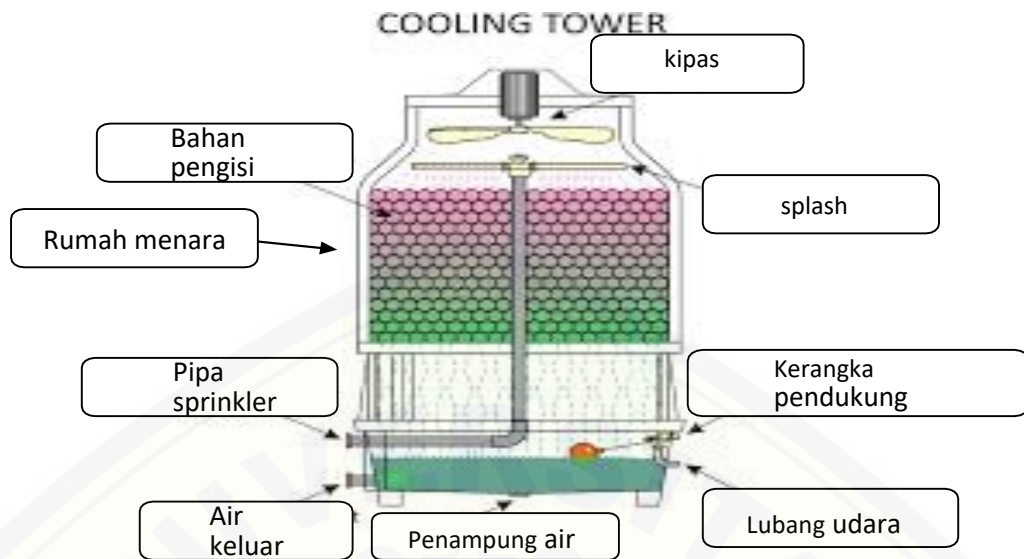
*Cooling tower* merupakan alat penukar kalor yang berfungsi mendinginkan air melalui kontak langsung dengan udara yang mengakibatkan sebagian kecil air menguap. *Cooling tower* menggunakan penguapan dimana sebagian air diuapkan ke aliran udara yang bergerak dan kemudian dibuang ke atmosfer. Sebagai akibatnya,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



Gambar 2.1 Diagram skematik *cooling tower*  
(Sumber: Mulyandasari, V., 2011)

### 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 2.2 merupakan komponen-komponen dari *cooling tower*:



Gambar 2.2 Konstruksi *cooling tower*  
(Sumber: Yulia, 2013)

#### 2.2.1 Kerangka Pendukung Menara (*Tower Supporter*)

*Tower supporter* berfungsi untuk mendukung *cooling tower* agar dapat berdiri kokoh dan tegak.

#### 2.2.2 Rumah *Cooling Tower* (*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.

#### 2.2.3 Pipa *Sprinkler*

Pipa *sprinkler* merupakan pipa yang berfungsi untuk mensirkulasikan air secara merata pada *cooling tower*, 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.

#### 2.2.4 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.

#### 2.2.5 Lubang Udara (*Inlet Louver*)

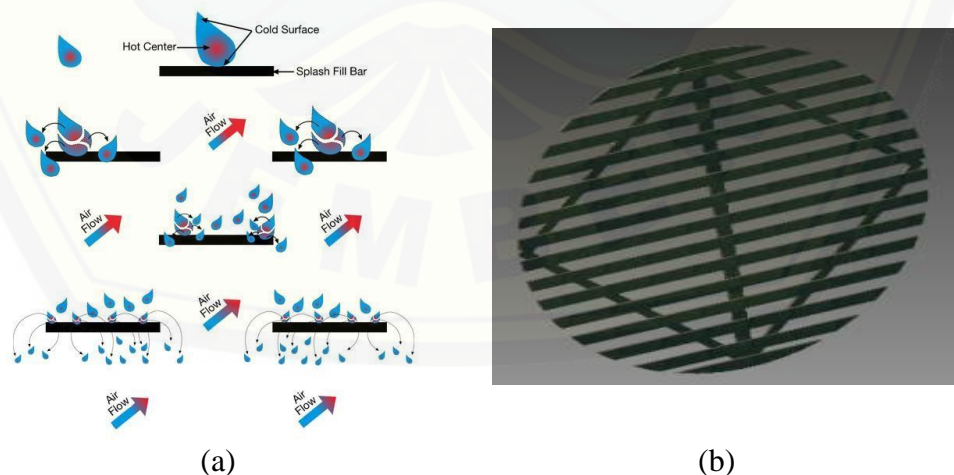
*Inlet louver* berfungsi sebagai tempat masuknya udara melalui celah-celah yang ada. Melalui *inlet louver* akan terlihat kualitas dan kuantitas air yang akan di distribusikan.

#### 2.2.6 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*)

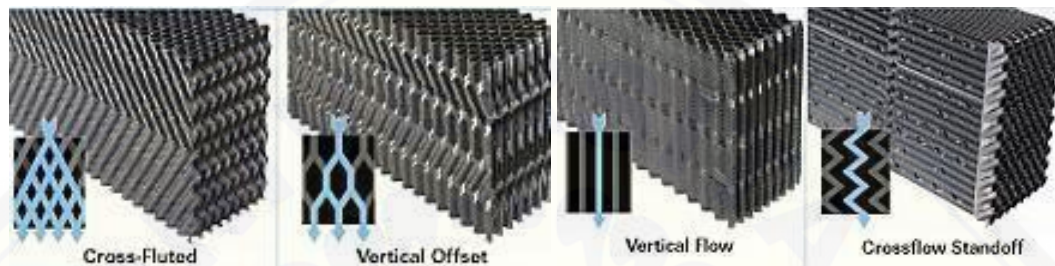
Air jatuh diatas lapisan yang berurut dari batang pemercik horisontal, secara terus menerus pecah menjadi tetesan yang lebih kecil. Bahan pengisi percikan dari plastik memberikan perpindahan kalor yang lebih baik dari pada bahan pengisi percikan dari kayu. Gambar 2.3 dibawah ini adalah aliran percikan dan profil *splash fill*.



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 berikut ini adalah bahan pengisi jenis *film fill* dan aliran fluidanya.

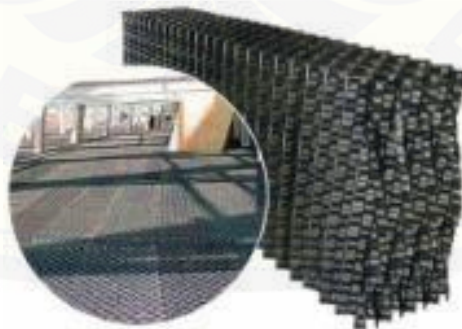


Gambar 2.4 *Film fill*.

(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 *Low-clog film fill*

(Sumber: Spx cooling technologies, 2014)



### 2.2.7 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).

### 2.2.8 Fan

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



Gambar 2.6 *Fan*  
(Sumber: Sara Cooling Tower, 2019)

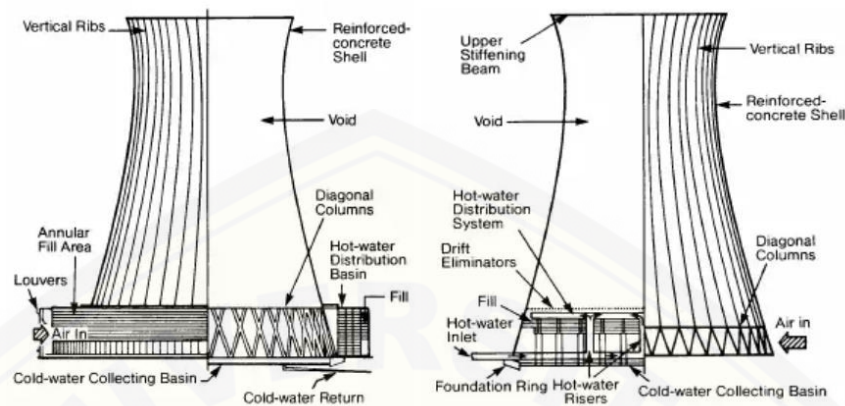
## 2.3 Jenis – Jenis *Cooling Tower*

*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 lembab 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: Gulf Coast Chemical Commercial Inc, 1995)

### 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* bisa 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*).

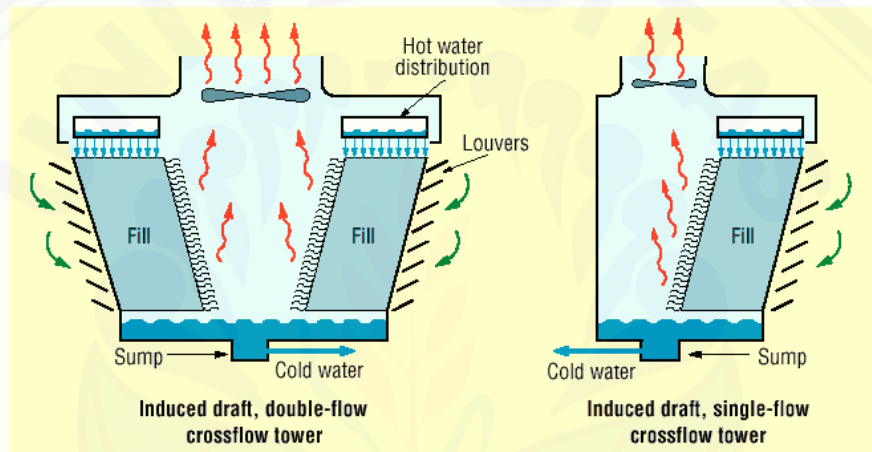
#### a. *Cooling Tower Induced Draft*

Untuk *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:

##### 1. *Cooling Tower Induced Draft Crossflow*

Pada tipe ini aliran udara diarahkan tegak lurus terhadap aliran

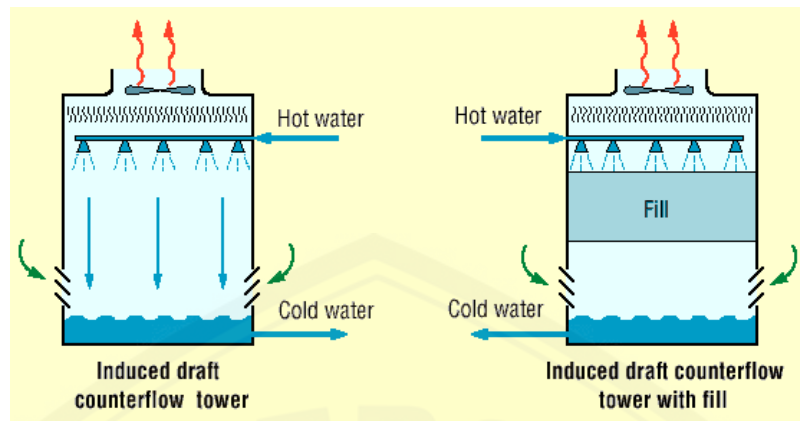
air. Air masuk pada puncak dan melewati bahan pengisi. Udara masuk melalui salah satu sisi (menara aliran tunggal), atau pada sisi berlawanan (menara aliran ganda) mengalirkan udara melintasi bahan pengisi menuju saluran keluar pada puncak seperti terlihat pada Gambar 2.8 keuntungan dari tipe ini adalah lebih sedikit daripada resirkulasi menara *forced draft* sebab kecepatan keluaranya 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, 2016)

## 2. Cooling Tower Induced Draft Counterflow

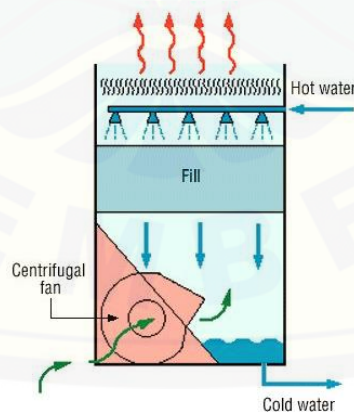
Pada tipe ini, air didinginkan dalam arah berlawanan dengan arah aliran udara didalam *cooling tower*. Udara yang ditarik oleh fan mengarah ke atas sedangkan air yang didinginkan mengalir jatuh kebawah. Keuntungan *cooling tower induced draft counterflow* sama dengan *cooling tower induced draft crossflow* yaitu resirkulasi lebih sedikit manara sebab kecepatan keluaranya 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, 2016)

b. *Forced Draft Cooling Tower*

Pada jenis ini udara dihembuskan ke menara oleh *fan* disaluran 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.

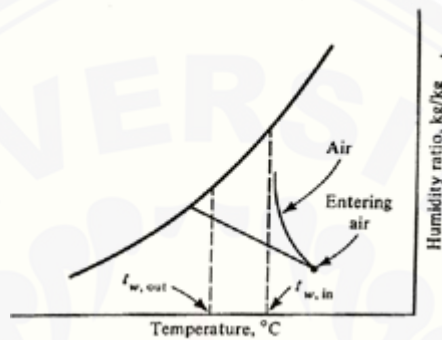


Gambar 2.10 *Cooling tower forced draft*  
(Sumber: Pedoman Efisiensi, 2016)

## 2.4 Fungsi dan Cara Kerja *Cooling Tower*

### 2.4.1 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 *cooling tower* aliran berlawanan.

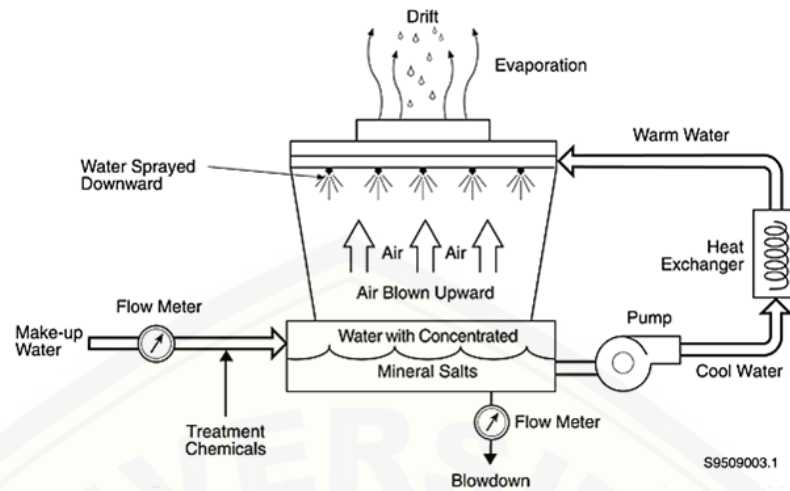


Gambar 2.11 Grafik lintasan udara pada *cooling tower counterflow*  
(Sumber: W.F. Stoecker., 2009)

### 2.4.2 Cara Kerja *Cooling Tower*

Prinsip kerja *cooling tower* berdasarkan pada perpindahan kalor dan pelepasan 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 industri dan setelah proses industri 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: Kurniawan, 2011)

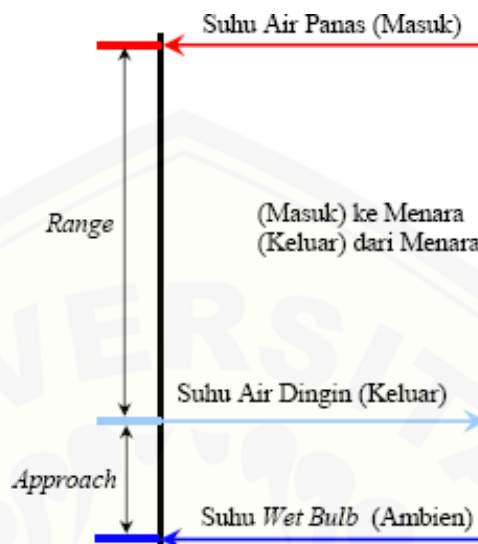
Sistem ini sangat efektif dalam proses pendinginan air karena suhu kondensasinya sangat rendah mendekati suhu *wet-bulb* udara. Air yang sudah mengalami penurunan suhu ditampung ke dalam bak. Di dalam *cooling tower* juga dipasang *make up water* untuk menambah kapasitas air pendingin jika terjadi kehilangan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

#### a. Kinerja *Cooling Tower*

Bagian ini menjelaskan tentang bagaimana kinerja tenaga pendinginan dapat dikaji. Kinerja *cooling tower* 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:

1. Temperatur udara bola basah
2. Temperatur udara bola kering
3. Temperatur air masuk *cooling tower*
4. Temperatur air keluar *cooling tower*
5. Laju aliran air
6. Laju aliran udara.

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



Gambar 2.13 Grafik *range* dan *approach* suhu pada *cooling tower*  
(Sumber: Pedoman Efisiensi Energi, 2006)

Parameter terukur tersebut kemudian digunakan untuk menentukan kinerja *cooling tower* dengan beberapa cara yaitu:

1) *Range*

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

Rumusnya adalah:

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

2) *Approach*

Merupakan perbedaan antara suhu air dingin keluar *cooling tower* dan suhu bola basah. Semakin rendah *approach* semakin baik kinerja *cooling tower*. Walaupun, *range* dan *approach* harus dipantau, ‘*approach*’ merupakan indikator yang lebih baik untuk kinerja *cooling tower*.

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

3) Efektivitas

Merupakan perbandingan antara *range* dan *range* ideal (dalam



persentase), yaitu perbedaan antara suhu masuk air pendingin dan suhu bola basah. Semakin tinggi perbandingan ini, maka semakin tinggi efektivitas *cooling tower*.

$$\text{Efektivitas CT (\%)} = 100 \times \text{Range} / (\text{suhu masuk} - \text{suhu bola basah}) \dots\dots\dots (2.3)$$

4) Kapasitas Pendinginan

Merupakan panas yang dibuang dalam kKal/jam, sebagai hasil dari kecepatan aliran masa air, panas spesifik dan perbedaan suhu. 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.

$$q = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana:

q = kapasitas pendinginan (kJ/s)

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

Cp = kalor jenis air (kJ/kg.K)

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

5) L/G (*Liquid/Gas*)

L/G adalah parameter yang sangat penting dalam pemilihan suatu *cooling tower*, terutama dalam pemilihan kapasitas *fan*.

$$L/G = \frac{h_{a1} - h_{a2}}{T_{masuk} - T_{keluar}} \dots\dots\dots (2.5)$$

6) 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):

$$\text{Kehilangan Penguapan (m}^3/\text{jam}^\circ\text{C)} = 0,00085 \times 1,8 \times \text{laju sirkulasi (m}^3/\text{jam)} \times (T_1 - T_2) \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana:

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

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

## 2.5 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 *industri* menjadi semakin meningkat termasuk penggunaan sebagai *filled cooling tower*. Konduktivitas termal yang dimiliki aluminium yaitu 273 Watt/m.K

Tabel 2.1 *Konduktivitas thermal* bahan

NO	BAHAN	Watt/m.K
1.	Perak (Silver) Ag	429,000
2.	Tembaga (Copper), Cu	401,000
3.	Aluminium Al	237,000
4.	Rhodium Rh	150,000
5.	Nikel, Ni	19,700
6.	Stanless Steel AISI 302	15,100
7.	Conerete Block 20cm thick	1,100
8.	Asbestos-Cement Board	0,600
9.	Plywood	0,120
10.	Aspal	0,062

(Sumber: Lienhard, 2008)

## 2.6 Semicircular Arc

Dalam bahasa latin semi berarti "setengah" dan *semicircle* adalah Setengah lingkaran. Bentuk tertutup yang terdiri dari setengah lingkaran dan diameter lingkaran itu. Definisi alternatif adalah bahwa itu adalah busur terbuka. Setengah lingkaran adalah setengah lingkaran, dibentuk oleh memotong seluruh lingkaran di sepanjang garis diameter. Setiap diameter lingkaran memotongnya menjadi dua setengah lingkaran yang sama (Srivastav Manoj Kumar, 2015).

Definisi alternatif setengah lingkaran adalah bahwa itu hanyalah busur - garis lengkung yang setengah dari keliling lingkaran, tanpa garis lurus yang menghubungkan ujungnya. Ini berarti ini bukan angka tertutup, dan karenanya.

- 1) Tidak memiliki area
- 2) Tidak memiliki perimeter.

Panjangnya adalah panjang busur, atau  $\pi R$ . Untuk menghindari kebingungan, yang terbaik untuk merujuk ini sebagai "*semicircular arc*"



Gambar 2.14 *Semicircular arc*  
(Sumber: [www.mathopenref.com](http://www.mathopenref.com))

## 2.7 Air

Air adalah zat cair yang tidak mempunyai rasa, warna dan bau pada kondisi standar, yaitu padatekanan 100 kPa (1 bar) and temperatur 273,15 K (0 °C), yang terdiri dari hidrogen dan oksigen dengan rumus kimiawi H<sub>2</sub>O. Satu molekul air tersusun atas dua atom hidrogen yang terikat secara kovalen pada satu atom oksigen. Zat kimia ini merupakan suatu pelarut yang penting, yang memiliki kemampuan untuk melarutkan banyak zat kimia lainnya, seperti garam-garam, gula, asam, beberapa jenis gas dan banyak macam molekul organik.

Air merupakan suatu larutan yang hampir bersifat universal, maka zat-zat yang paling alamiah maupun buatan manusia hingga tingkat tertentu terlarut di

dalamnya. Dengan demikian, air di dalam mengandung zat-zat terlarut. Zat-zat ini sering disebut pencemar yang terdapat dalam air (Linsley, 1991). Kalor jenis air sebesar  $4,2 \times 10^3$  kJ/kg.K. Berikut ini adalah Tabel 2.2 kalor jenis beberapa zat.

Tabel 2.2 Kalor jenis zat

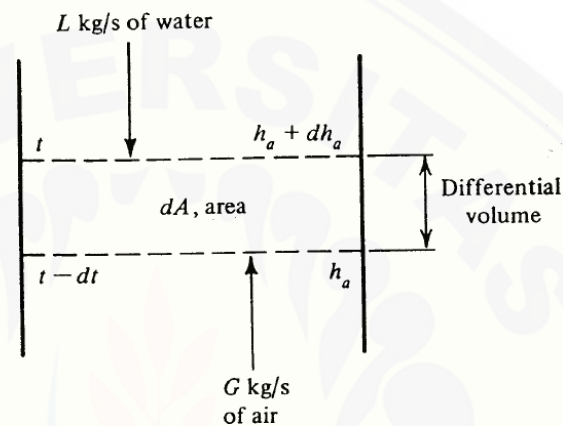
Zat	Kalor Jenis	
	Kal/g <sup>0</sup> C	J/Kg.K
Air	1,000	4200
Air laut	0,930	3900
Alkohol	0,550	230
Minyak tanah	0,520	220
Raksa	0,033	140
Es	0,595	2500
Alumunium	0,214	900
Kaca	0,160	670
Besi	0,110	460
Tembaga	0,093	390
Kuningan	0,900	380
Perak	0,056	230
Emas	0,031	130
Timbal	0,031	130

(Sumber: Arif kristanta, 2012)

Sifat air yang penting, dapat digolongkan ke dalam sifat fisis, kimiawi, dan biologis. Sifat fisis dari air yaitu didapatkan dalam ketiga wujudnya, yakni, bentuk padat sebagai es, bentuk cair sebagai air, dan bentuk gas sebagai uap air. Bentuk mana yang akan didapatkan, tergantung keadaan cuaca yang ada setempat. Sifat kimia dari air yaitu mempunyai pH=7 dan oksigen terlarut (=DO) jenuh pada 9 mg/L. Air merupakan pelarut yang universal, hampir semua jenis zat dapat larut di dalam air. Air juga merupakan cairan biologis, yakni didapat di dalam tubuh semua organisme. Sifat biologis dari air yaitu di dalam perairan selalu didapat kehidupan, fauna dan flora. Benda hidup ini berpengaruh timbal balik terhadap kualitas air.

## 2.8 Analisis Cooling Tower Counter Flow

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 2.15 menjelaskan tentang volume diferensial sebuah *cooling tower* aliran berlawanan dengan laju air yang masuk dari bagian puncak sebesar  $L$  k/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 2.15 Pertukaran energy *cooling tower* berlawanan arah  
(Sumber: Stoecker, W. F., dan Jones, J. W. 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:

$$dq = G dh_a = L \left( 4,19 \frac{kJ}{kg} \cdot K \right) dt \dots\dots\dots (2.8)$$

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

$$dq = \frac{hc dA}{c_{pm}} (h_i - h_a) \dots\dots\dots (2.9)$$

Dengan:

- $h_c$  = 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)

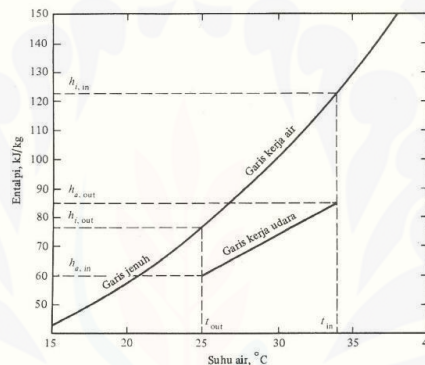


$C_{pm}$  = kalor jenis udara lembab, kJ/kg.K

Untuk mencari besarnya kalor yang dipindahkan oleh seluruh bagian *cooling tower*, persamaan (2.8) harus diintegrasikan. Baik  $h_i$  maupun  $h_a$  berubah-ubah menurut variable integrasi A. Dengan mengkombinasikan persamaan (2.7) dan (2.8), menyusun kembali dan kemudian mengintegrasinya akan menghasilkan.

$$L \int_t^t \frac{dt}{h_i - h_a} = \int_0^A \frac{hc dA}{C_{pm}} = \frac{hca}{C_{pm}} \dots \dots \dots (2.9)$$

Dengan  $t_{in}$  dan  $t_{out}$  berturut-turut adalah suhu air yang masuk dan meninggalkan *cooling tower*. Berikut ini adalah Gambar 2.16 menjelaskan tentang suhu dan entalpi udara dan air.



Gambar 2.16 Diagram entalpi-suhu udara dan air (Sumber: Stoker dan Jones, 2009)

Visual grafik suhu dan entalpi dapat dibuat seperti pada Gambar 2.16 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 2.16 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 (2-7). Cara tradisional dalam melakukan integrasi terhadap persamaan (2-8) adalah dengan proses *numeric* yang ditunjukkan oleh:

$$\frac{hca}{C_{pm}} = 4,19 L \Delta t \Sigma \frac{1}{(h_i - h_a)_m} \dots \dots \dots (2.10)$$

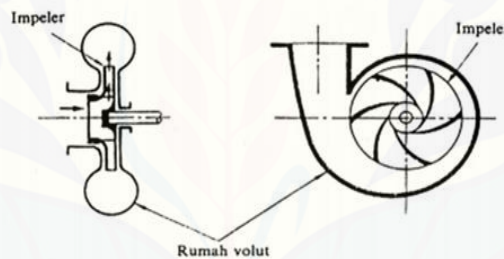
Dengan  $(h_i - h_a)_m$  adalah perbedaan harga tengah entalpi untuk suatu bagian kecil dari volume.

## 2.9 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.



Gambar 2.17 Pompa (Sumber: Sularso & Tahara,2000)

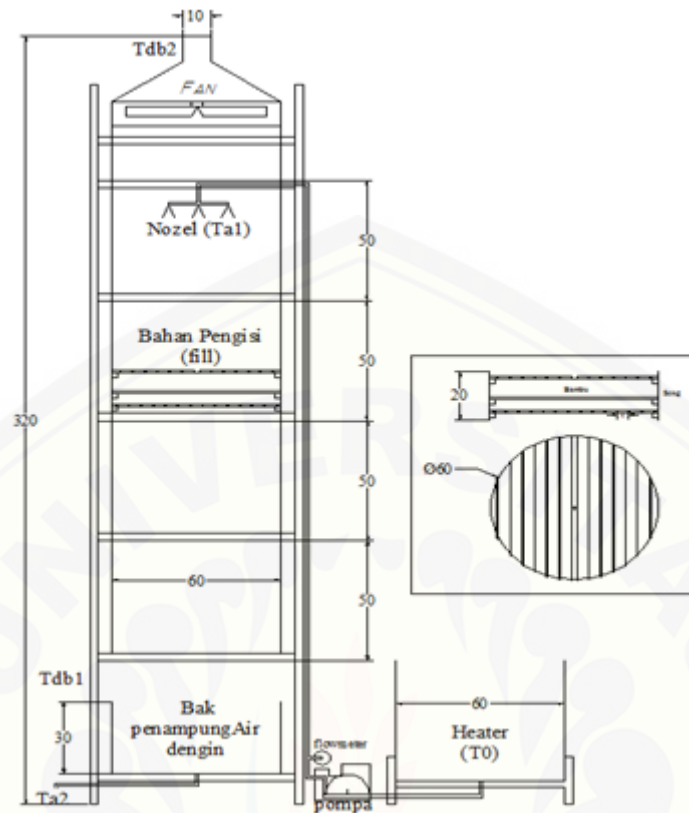
## 2.10 Penelitian terdahulu

Penelitian Mulyono (2010) tentang analisa beban kalor *cooling tower* basah *induced-draft* aliran lawan arah. Penelitian dilakukan dengan memasang termometer bola basah, termometer bola kering, anemometer, dan pengukur debit air di *cooling tower*. Hasil pengujian dengan suhu lingkungan 27 °C sampai 34 °C menunjukkan bahwa efektivitas menara 31,6% s.d 57,1% dan rata-rata 45,1%; *cooling range* 3,0 °C sampai 6 °C dan rata-rata 4,8 °C. *Approach* berkisar 4,5 °C sampai 6,5 °C dengan rata-rata 5,8 °C. Beban kalor pendinginan mulai 831,52 kJ/s hingga 1663,03 kJ/s dengan beban pendinginan rata-rata 1330,4 kJ/s. Beban kalor penguapan berkisar 50,1% hingga 65,2% dan rata-rata sebesar 56,3% dari beban pendinginan. Beban penambahan panas sensibel ke udara 34,8% hingga 47,7 % dan rata-rata 43,7 % . Perbandingan L/G 1,4 sampai dengan 1,47 dengan rata-rata L/G

1,43 (kg air/ kg udara). Berdasarkan rasio L/G menara ini bersesuaian dengan tipe *cooling tower* basah isian cetus (splash fill) yang mempunyai rasio L/G 1,1 sampai dengan 1,5, dengan beban kalor penguapan rata-rata masih dibawah nilai yang ada dirujukan yang berkisar 60 % sampai 75 %.

Penelitian Lintang (2011) meneliti tentang *Pengaruh Variasi Jarak Antar Flat Filler Horizontal Terhadap Unjuk Kerja Cooling tower Dengan Bahan Pengisi Plastik Dan Menggunakan Cooling Tower Forced Draft* dengan tinggi 1,5 meter dengan blower. Hasil penelitian didapat laju perpindahan kalor terkecil pada debit air panas masuk *cooling tower* 6 liter/menit dengan variasi jarak antar *flat filler* 4 cm yaitu 2.818,4837 watt. Sedangkan pada debit yang sama dengan variasi jarak antar *flat filler* 6 cm mengalami peningkatan laju perpindahan kalor sebesar kalor sebesar 3.946,0782 watt dan 4.248,9386 watt pada variasi flat filler 8 cm. Laju kalor perpindahan tertinggi terjadi pada debit air panas masuk 10 liter/menit dengan variasi jarak antar *flat filler* horizontal 8 cm yaitu sebesar 9.135,1837 watt.

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, luas 70 cm<sup>2</sup>, dan 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 100 cm, 150 cm, dan 200 cm. Efektivitas pendinginan tertinggi terjadi pada variasi dengan suhu awal 40 °C, ketinggian 200 °C sebesar 68,08 % dengan menggunakan bahan pengisi. Sedangkan perubahan temperatur air tertinggi terjadi pada variasi suhu awal 70 °C, tinggi 200 cm, tanpa atau dengan bahan pengisi, dengan nilai 17 °C dan 23 °C. Kapasitas pendinginan (beban kalor *cooling tower* ) tertinggi, pada variasi penambahan fill ketinggian 200 cm,  $T_{a1}$  70 °C, sebesar 410,54 kJ/s, dibandingkan dengan tanpa menggunakan *fill* dengan variasi yang sama beban kalor sebesar 31,42 kJ/s. Perbandingan massa liquid/gas (L/G) tertinggi terjadi pada variasi,  $T_{a1}$  70 °C, menggunakan *fill* sebesar 1,45 kJ/kg°C, dan (L/G) terendah 0,5 kJ/kg°C, terjadi pada variasi  $t_{a1}$  40 °C.

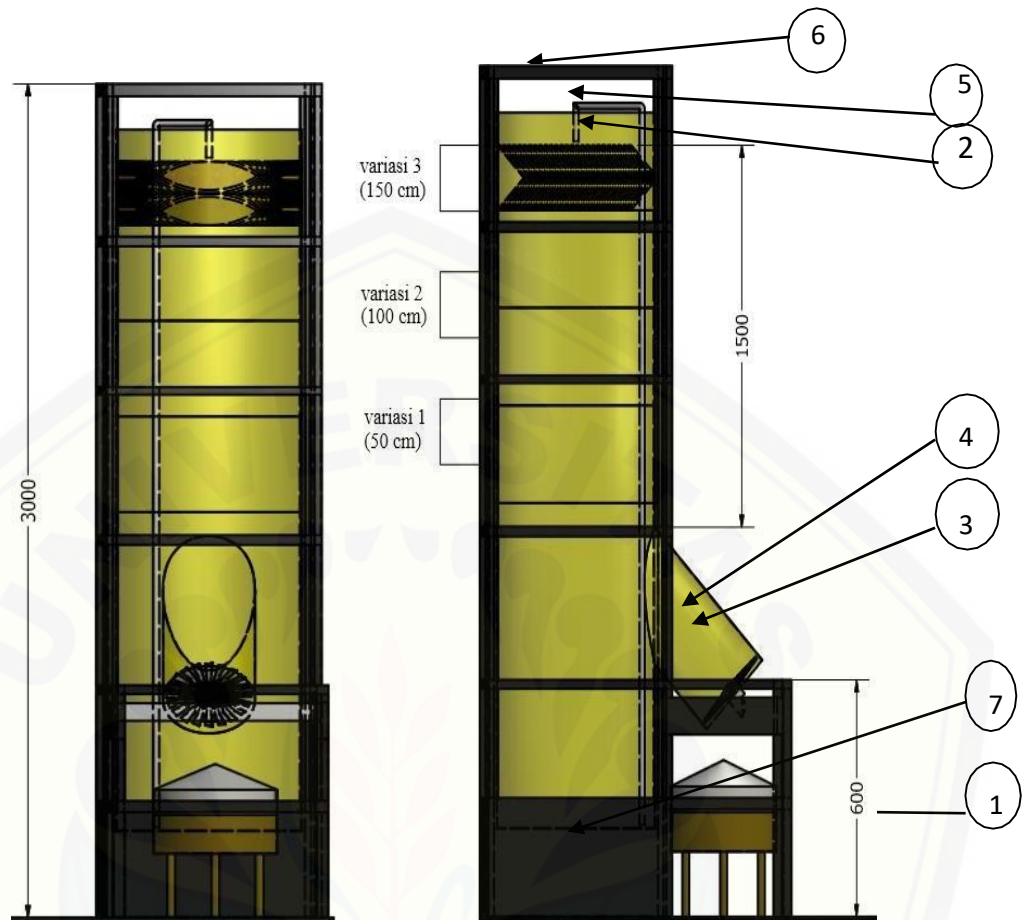


Gambar 2.18 Skema rangkaian *cooling tower induced draft counterflow* yang di buat oleh Hidayat (2014).

Penelitian Dinar (2016) meneliti tentang *Analisis Variasi Debit Air dan Ketinggian Pengisi Calciboard Terhadap Efektivitas Cooling Tower Forced Draft Counter Flow*. Peneliti ini bertujuan untuk mencari kinerja maksimal dari *cooling tower* dengan variasi debit air 6 liter/menit, 12 liter/menit, 18 liter/menit, ketinggian 50 cm, 100 cm, 150 cm. Hasil penelitian menunjukkan semakin tinggi debit dan tinggi *cooling tower* mengakibatkan naiknya kapasitas pendingin. Efektivitas pendingin tertinggi terjadi pada debit 12 liter/menit pada ketinggian pengisi 150 cm sebesar 57,1%.

Penelitian Hakim (2016) meneliti tentang *Analisis Efektivitas Cooling Tower Forced Draft Dengan Variasi Tegangan Listrik Kipas dan Pengisi Tali Ijuk*.





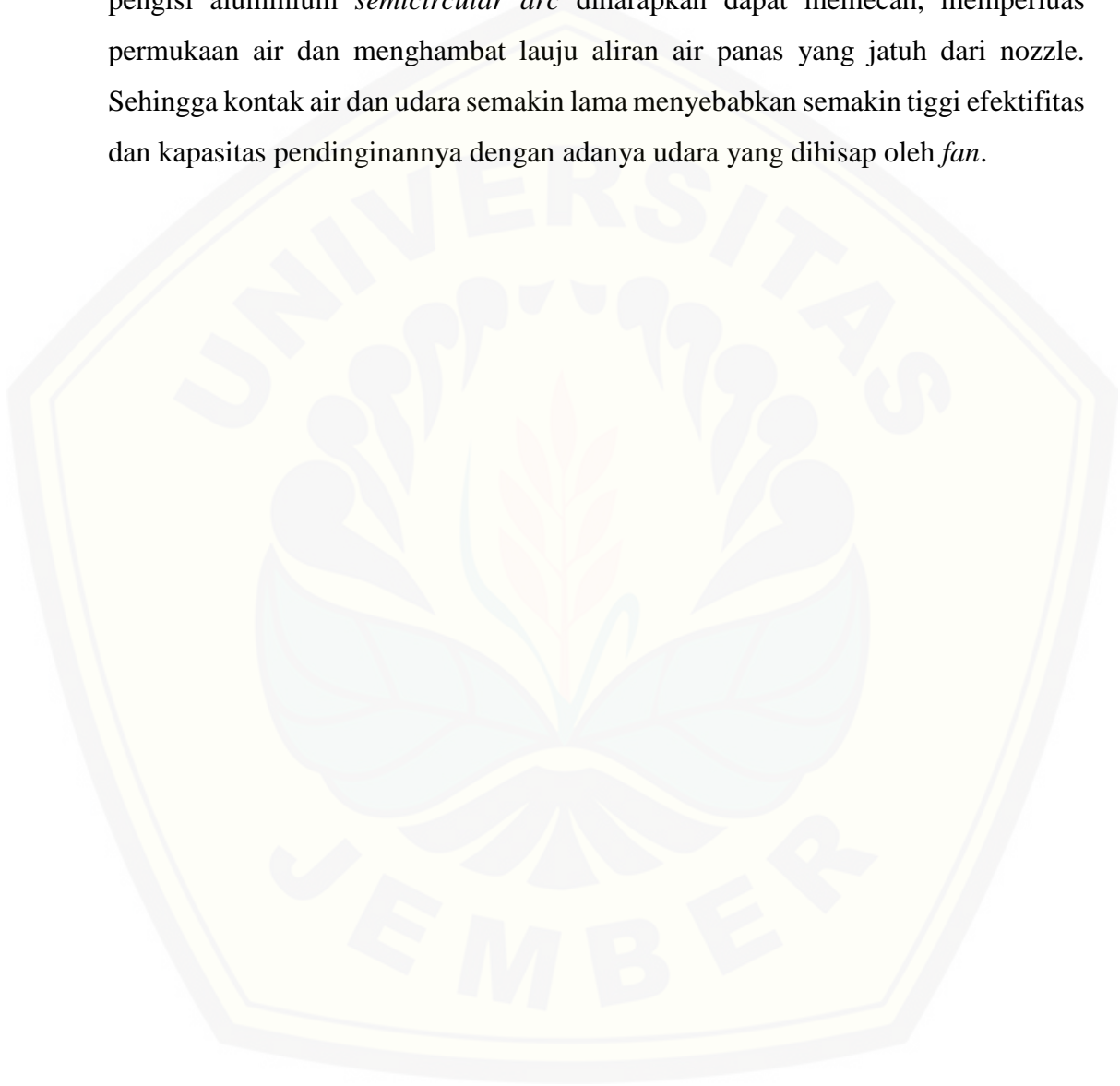
Gambar 2.19 Skema rangkaian *cooling tower forced draft counter flow*.  
Sumber: (Prasetya,2016)

Penelitian ini dilakukan pada *cooling tower* dengan dimensi tinggi keseluruhan 300 cm, dan diameter *cooling tower* 60 cm. Bahan pengisi terbuat dari tali ijuk. Penelitian ini bertujuan untuk mencari kinerja maksimal dari *cooling tower* dengan variasi suhu awal 40 °C, 50 °C, 60 °C dan variasi tegangan listrik *fan* 0 volt, 110 volt, dan 220 volt. Hasil penelitian menunjukkan semakin tinggi suhu awal dan tinggi tegangan listrik *fan cooling tower* mengakibatkan naiknya beban kalor. Efektivitas pendinginan tertinggi terjadi pada variasi dengan suhu awal 60 °C, tegangan listrik 220 volt sebesar 96,65% dengan menggunakan bahan pengisi tali ijuk disusun menjadi 4 layer.



### 2.11 Hipotesis

Hipotesis awal pengujian adalah bahan pengisi aluminium *semicircular arc* dengan peningkatan variasi kecepatan udara dan suhu air masuk akan meningkatkan performa kinerja *cooling tower counter flow*. Penambahan bahan pengisi aluminium *semicircular arc* diharapkan dapat memecah, memperluas permukaan air dan menghambat laju aliran air panas yang jatuh dari nozzle. Sehingga kontak air dan udara semakin lama menyebabkan semakin tinggi efektifitas dan kapasitas pendinginannya dengan adanya udara yang dihisap oleh *fan*.



### BAB 3. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode penelitian eksperimental dengan variasi suhu awal dan kecepatan udara 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 suhu air awal dan kecepatan udara dengan mengatur putaran *fan* terhadap performa kinerja *cooling tower induced draft counter flow*.

#### 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 Oktober 2019 sampai dengan Januari 2020.

Tabel 3.1 *Time line* penelitian

No	Kegiatan	Minggu ke-															
		Oktober				November				Desember				Januari			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Study Literatur	■	■	■	■												
2	Pembuatan Alat					■	■	■	■	■	■	■	■				
3	Pengambilan Data													■	■	■	■
4	Pengolahan Data																
5	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) *Stopwatch*

- d) *Flowmeter*
- e) *Voltage Regulator*
- f) *Anemometer*
- g) Pompa air, dengan spesifikasi pompa dapat dilihat pada Tabel 4 berikut ini:

Tabel 3.2 Spesifikasi pompa air

Merk	Shimizu
Daya Pompa	125 Watt
Hs	9 meter
H	20-10 meter
Kapasitas	10-18 liter/min.

- h) *Fan* diameter 35 cm
- i) Motor listrik 1 phasa

Tabel 3.3 Spesifikasi motor listrik

Merk	HAPPY YYG-70
Daya Pompa	70 Watt
Volt	220 V
Frekuensi	50 Hz
Arus	0,72 A

- j) Sakelar kabel
- k) Pipa
- l) Kompor LPG
- m) *Heater coil*
- n) Bak penampung
- o) Nozzle

### 3.3.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut:

- a. Aluminium *semicircular arc* sebagai bahan pengisi *cooling tower* .
- b. Air yang dipanaskan dalam wadah *heater* sebagai fluida kerja.

### 3.4 Spesifikasi *Cooling Tower*

Spesifikasi *cooling tower* adalah sebagai berikut:

- a. Kerangka terbuat dari besi hollow dengan ketebalan 1,2 mm dan ketinggian keseluruhan 2,5 m

- b. Diameter *cooling tower induced draft counter flow* 45 cm
- c. Bak penampung (*basin*) berdiameter 47 cm dan tinggi 50 cm
- d. Bahan pengisi menggunakan aluminium *semicircle arc* sebanyak 3 disusun, rangkaian pengisi aluminium *semicircle arc* dengan jari jari 2,54 cm disusun seperti gambar dibawah dan memenuhi diameter *cooling tower* membentuk lingkaran. Jarak susunan antar aluminium *semicircle arc* sebesar 2 cm dan tinggi pengisi yaitu 2,54 cm seperti Gambar 3.1 berikut:



Gambar 3.1 Pengisi aluminium *semicircular arc*

### 3.5 Prosedur Penelitian

#### 3.5.1 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 aluminium *semicircular arc* dan pemanas air (*heater*).

#### 3.5.2 Pemeriksaan Alat Pengujian

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

#### 3.5.3 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 aluminium

*semicircular arc* sesuai dengan variasi tinggi yang ditentukan dan *heater* dengan benar yaitu dengan menghubungkan pipa dari *heater* ke *cooling tower*, serta menaruh bahan pengisi *aluminium semicircular arc* di bawah *nozzle*.

$T_1$  : Suhu air masuk *Cooling tower*

$T_2$  : Suhu air keluar *Cooling tower*

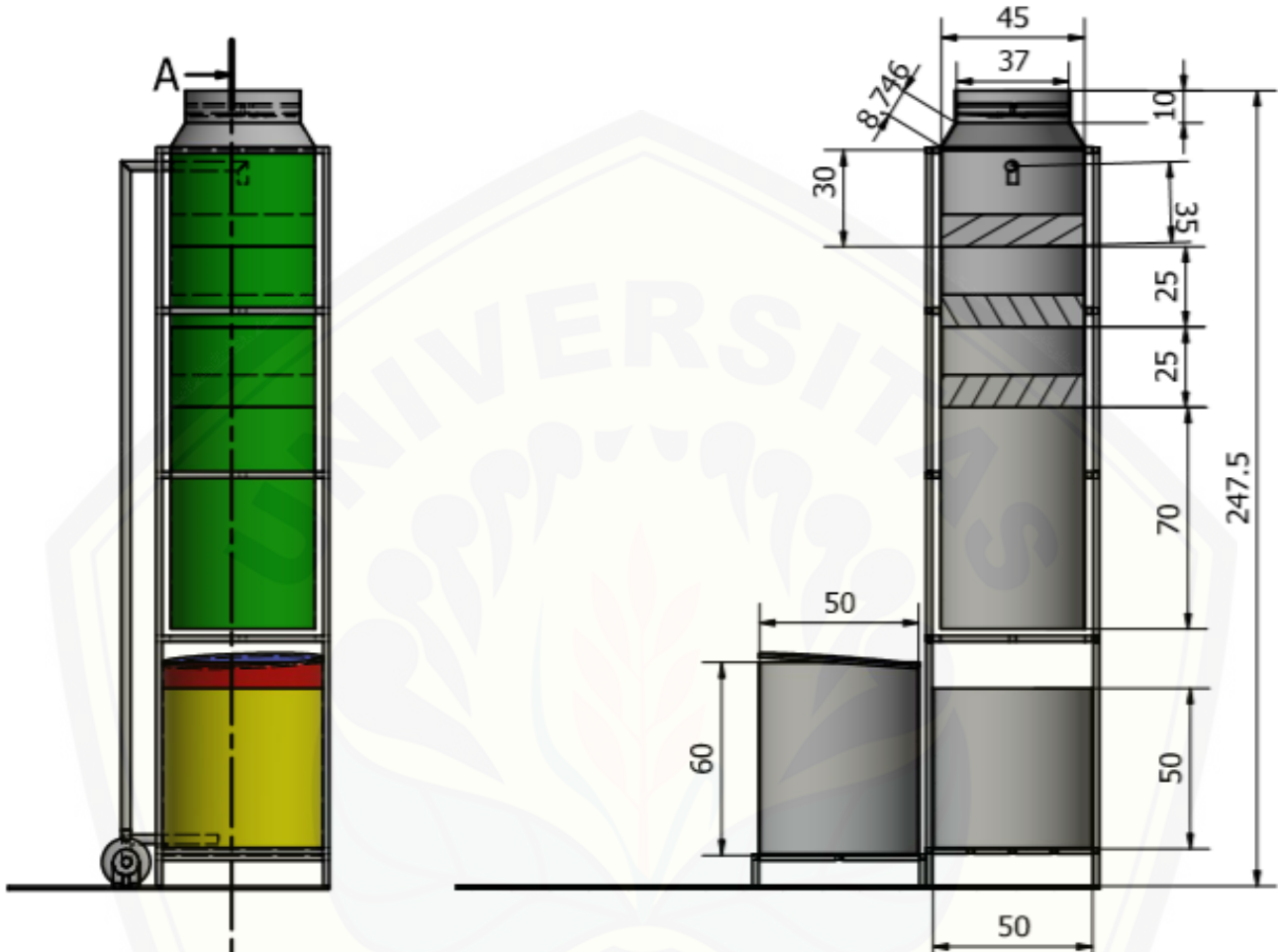
$T_{db}$  : Suhu bola kering *Cooling tower*

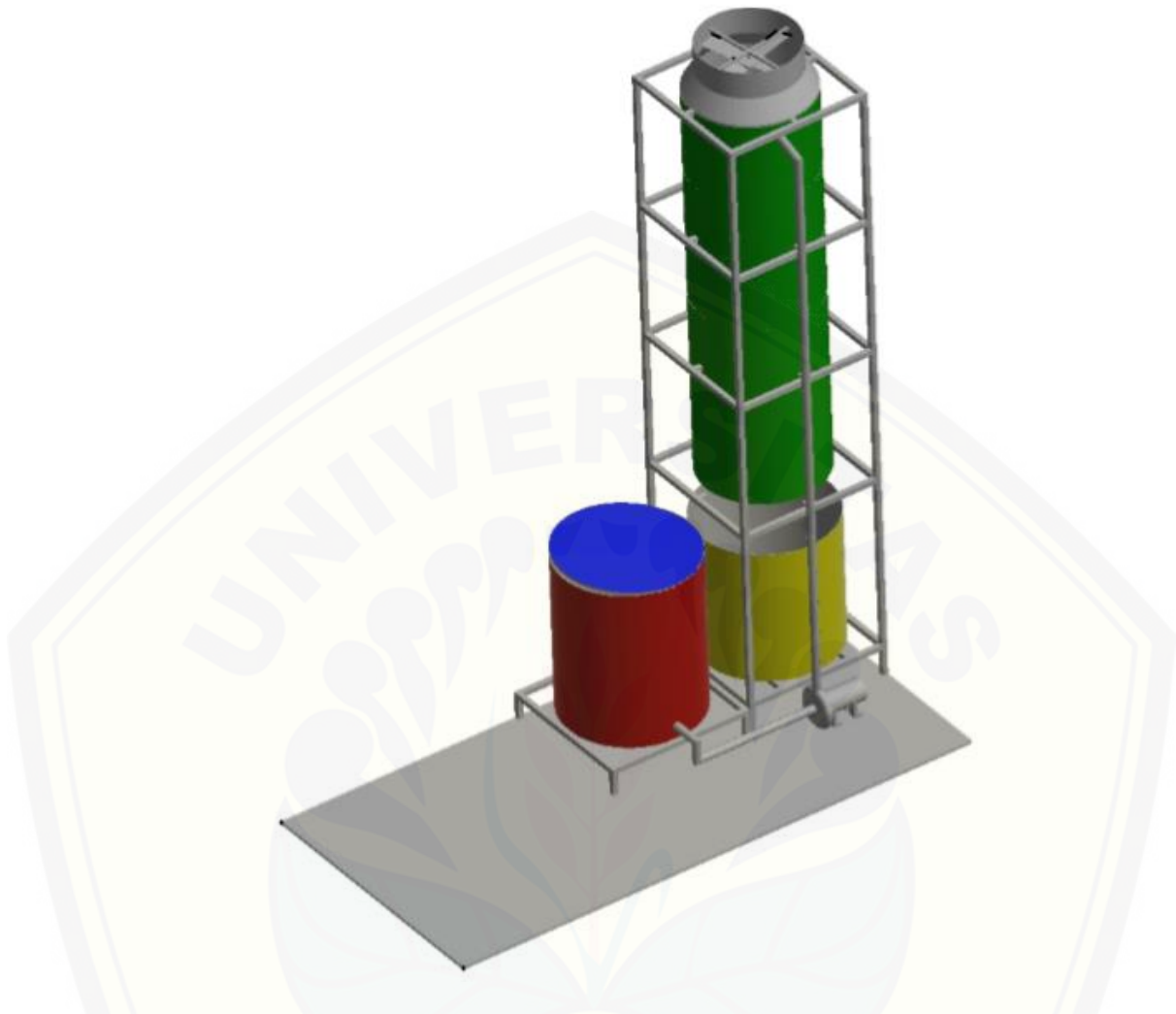
$T_{wb1}$  : Suhu bola basah masuk *Cooling tower*

$T_{wb2}$  : Suhu bola basah keluar *Cooling tower*

- b) Panaskan air dalam *heater* dengan tingkat suhu sesuai variasi suhu yang ditentukan dan hidupkan *fan* dengan kecepatan udara sesuai variasi.
- 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) Pengolahan data.



3.5.4 Rangkaian *Cooling Tower Induced Draft Counter Flow*Gambar 3.2 Skema rangkaian *cooling tower induced draft counter flow*



Gambar 3.3 *Cooling tower induced draft counter flow*

### 3.5.5 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.

### 3.5.6 Variabel

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

#### 1. Variabel Bebas

Variabel bebas yaitu variable yang mempengaruhi atau yang menyebabkan terjadinya perubahan. Variabel bebas adalah factor-faktor yang dipilih dan ditentukan oleh peneliti. Variabel bebas pada penelitian ini adalah suhu awal dan kecepatan udara dengan mengatur putaran motor *fan*.

Tabel 3.4 Variabel bebas

NO	Faktor	Level 1	Level 2	Level 3
1	Suhu Awal ( $T_0$ )	50 °C	60 °C	70 °C
		A	B	C
2	Kecepatan udara			
	Tanpa Bahan Pengisi	2 m/s	4 m/s	6 m/s
	Dengan Bahan Pengisi	1,6 m/s	2,4 m/s	4,8 m/s

#### 2. Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan suatu variable yang tergantung pada variabel bebasnya. Variabel terikat adalah faktor-faktor yang diamati dan diukur oleh peneliti untuk menentukan ada tidaknya pengaruh dari variable bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah suhu pada titik-titik yang dicari yaitu pada Tabel 3.5 berikut.

Tabel 3.5 Variabel terikat

NO	Variabel Terikat	Satuan
1	Suhu air Masuk ( $T_1$ )	°C
2	Suhu air keluar ( $T_2$ )	°C
3	Suhu bola basah ( $T_{wb}$ )	°C
4	Suhu bola kering ( $T_{db}$ )	°C

### 3. Variabel Kontrol

Variabel kontrol juga disebut sebagai variabel kendali. Menurut Sugeng (2007) disebut sebagai variabel kendali karena variabel kontrol adalah variabel yang perlu dikontrol, dipertahankan tetap, atau diacak sedemikian rupa sehingga pengaruh mereka dinetralisir, dikeluarkan atau disamakan bagi semua kondisi. Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah laju aliran air, bahan pengisi aluminium arc, dan ketinggian pengisi pada *cooling tower induced draft counterflow*.

### 3.6 Analisis Performa Kinerja *Cooling tower Induced Draft Counter Flow*

#### 1. Range

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

#### 2. Approach

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

#### 3. Efektivitas

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

#### 4. 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)

#### 5. L/G (*Liquid/Gas*)

$$L/G = \frac{h_{a1} - h_{a2}}{(T_{\text{masuk}} - T_{\text{keluar}}) \times C_p}$$

#### 6. Kehilangan penguapan

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

Dimana:

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

### 3.6 Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan pada saat pengujian. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan suhu masuk ( $T_1$ ), ketinggian pengisi, dan kecepatan putar *fan*. Cara pengambilan data dapat dilihat pada Tabel 3.6.

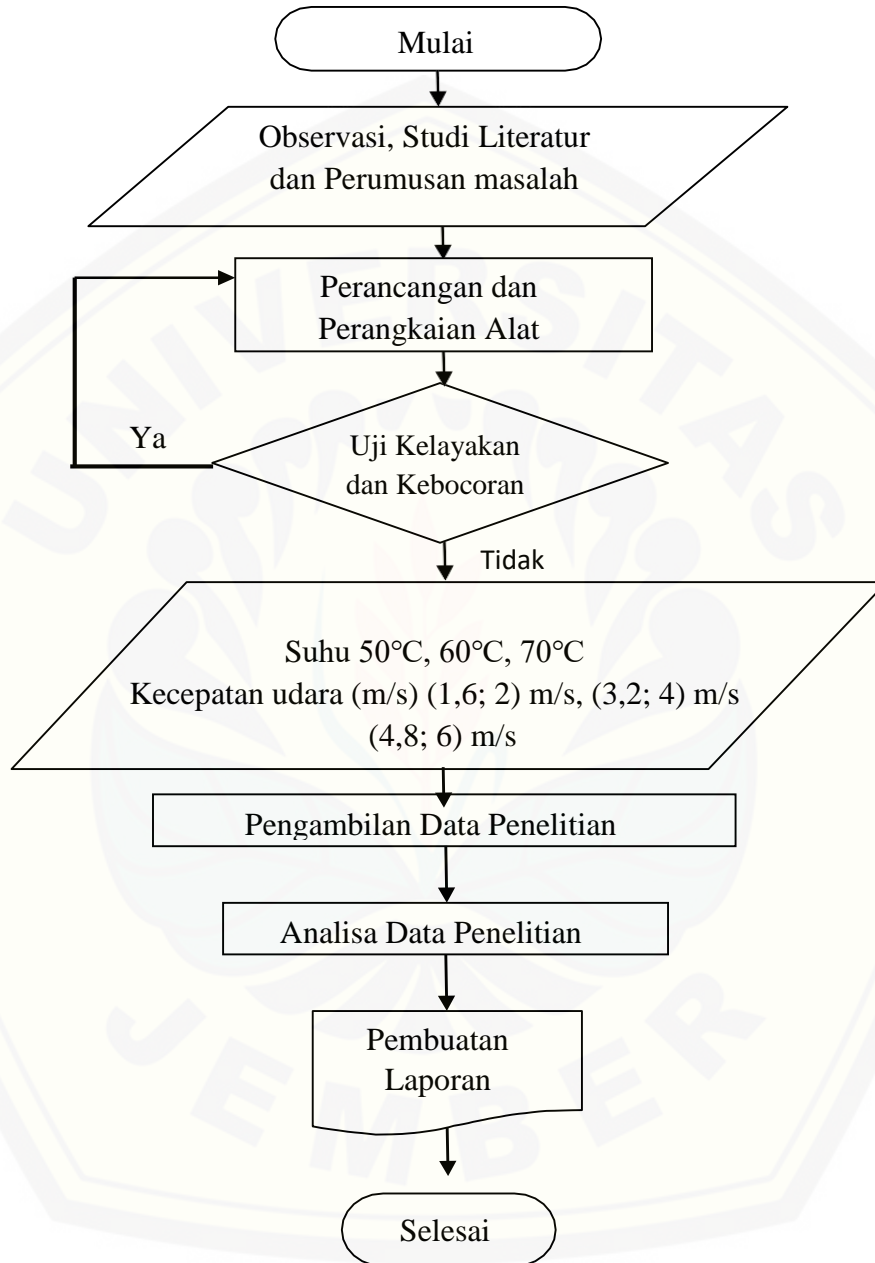
Tabel 3.6 Contoh data yang diambil

Kecepatan Udara (m/s)	$T_1$ (°C)	$T_2$ (°C)	$T_{wb1}$ (°C)	$T_{db}$ (°C)	$T_{wb2}$ (°C)	Qudara (kg/s)	Qair (kg/s)
2 m/s; 1,6 m/s		50 °C					
		60 °C					
		70 °C					
4 m/s; 2,4 m/s		50 °C					
		60 °C					
		70 °C					
6 m/s; 4,8 m/s		50 °C					
		60 °C					
		70 °C					



### 3.7 Diagram Alir

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



Gambar 3.4 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 alumunium *semicircular arc* dengan peningkatan variasi kecepatan udara dan suhu air masuk meningkatkan performa kinerja *cooling tower induced draft counter flow*. Hal ini dibuktikan dengan kenaikan sebesar 18,56% dari cooling tower tanpa bahan pengisi dengan cooling tower dengan bahan pengisi alumunium *semicircular arc* pada efektivitas *cooling tower* dan pada kapasitas pendinginan juga mengalami kenaikan sebesar 1.918,85 J/s.
- b. Efektivitas *cooling tower induced draft counter flow* dipengaruhi bahan pengisi dengan menggunakan alumunium *semicircular arc* terbukti dapat membantu proses pendinginan *cooling tower*, dengan penambahan variasi penambahan suhu awal air masuk dan kecepatan udara akan memperbesar penurunan suhu sehingga pendinginan semakun maksimal.
- c. Rasio air dan udara pada *cooling tower counter flow* dipengaruhi bahan pengisi dengan menggunakan alumunium *semicircular arc* terbukti dengan adanya perubahan nilai rasio air dan udara, dengan penambahan variasi penambahan suhu awal air masuk dan kecepatan udara akan memperbesar penurunan suhu.
- d. Kapasitas pendingin *cooling tower counter flow* dipengaruhi bahan pengisi dengan menggunakan alumunium *semicircular arc* terbukti dapat membantu proses pendinginan *cooling tower*, dengan penambahan variasi penambahan suhu awal air masuk dan kecepatan udara akan memperbesar penurunan suhu sehingga pendinginan semakun maksimal.
- e. Kehilangan penguapan *cooling tower counter flow* dipengaruhi bahan pengisi dengan menggunakan alumunium *semicircular arc* dengan penambahan variasi penambahan suhu awal air masuk dan kecepatan udara.

- f. Nilai *L/G cooling tower induced draft counter flow* dipengaruhi bahan pengisi dengan menggunakan alumunium *semicircular arc* dengan penambahan variasi penambahan suhu awal air masuk dan kecepatan udara. Perbandingan *L/G* menara pendingin merupakan laju kalor yang dilepas dari air ( $dq$ ) sama dengan laju kalor yang diterima udara.

## 5.2 Saran

Dari hasil penelitian mengenai Analisis Performa Kinerja *Cooling Tower Induced Draft Counter Flow* Dengan Bahan Pengisi Aluminium *Semicircular arc*, maka disarankan beberapa hal berikut:

- a. Penelitian ini masih terbatas pada analisa pengaruh bahan pengisi alumunium *semicircular arc* dengan variasi suhu awal air dan kecepatan udara *cooling tower counter flow*. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat memvariasikan komponen lebih banyak seperti menggunakan bahan pengisi lain yang lebih baik, jarak antar bahan pengisi, dan lain sebagainya
- b. 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 alumunium *semicircular arc* sebagai bahan pengisi.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Amstead, B.H. 1997. *Teknologi Mekanik*. Edisi ke7. Jilid 1. Penterjemah Sriati Djapri. Jakarta: Erlangga
- Diharjo, K., dan Triyono, T. 1999. *Buku Pegangan Kuliah Material Teknik*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Elfi, Y. 2013. Cooling Tower. <https://3lfiyulia.files.wordpress.com/2013/11/cooling-tower1.jpg> [Diakses pada 17 Oktober 2019].
- EL-Wakil, M.M., dan Jasjfi, E. 1992. *Instalasi Pembangkit Daya Power Plant Technology*. Jakarta: Erlangga.
- F. Merkel. 1925. Evaporative Cooling. *Journal of German Engineers*. VDI (German). 70: 123-128.
- Gulf Coast Chemical Commercial Inc. Cooling Systems.1995. [www.gc3.com/techdb/manual/coolfs.htm](http://www.gc3.com/techdb/manual/coolfs.htm). [Diakses pada 17 Oktober 2019].
- Hakim, A. R. 2016. Analisis Efektivitas Cooling tower Forced Draft Dengan Variasi Tegangan Listrik Kipas dan Pengisi Tali Ijuk. Skripsi. Jember: Universitas Jember.
- Hidayat, A. T. 2014. Analisis Beban Kalor Cooling tower Induced Draft Counter Flow Dengan Bahan Pengisi Bambu Wulung. Jember: Jurnal Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.
- Kreith, F. 1997. *Prinsip-Prinsip Perpindahan Panas*. Terjemah oleh Arko Prijono. Jakarta: Erlangga.
- Kristanta, A. 2012. Kalor. <https://arifkristanta.wordpress.com/2012/10/10/kalor>. [Diakses pada 17 Oktober 2019].

- Kurniawan. 2011. Cara Kerja Cooling Tower.<http://duniaengineer.blogspot.com> [Diakses pada 17 Oktober 2019].
- Lienhard, J. H. 2008. *A Heat Transfer Textbook Third Edition*. Phlogiston Press.
- Linsley, R. K., Franzini, J.B. 1991. *Teknik Sumberdaya Air Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Lintang, R., 2011. Pengaruh Variasi Jarak Antar Flat Filler Horizontal Terhadap Unjuk Kerja Cooling Tower. Thesis. Malang: Universitas Brawijaya.
- Math Open Refrence. <https://www.mathopenref.com/semicircle.html>. [Diakses pada 17 Oktober 2019].
- Mulyandasari, V. 2011. Cooling Tower Selection and Sizing. Malaysia: KLM Technology Group. 01:1-52.
- Mulyono. 2010. Analisa Beban Kalor Menara Pendingin Basah Induced-Draft Aliran Lawan Arah. Semarang: Jurnal Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang. 5: 145-151.
- Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia. 2006. Peralatan Energi Listrik Menara Pendingin. [www.energyefficiencyasia.org](http://www.energyefficiencyasia.org) [Diakses pada 17 oktober 2019].
- Perry.1997. *Perry's Chemical Engineering Handbook*. 7 ed. New York: Graw Hill Book Company, Inc.
- Prasetya, D. D., 2016. Analisis Variasi Debit Air dan Ketinggian Pengisi Calciboard Terhadap Efektivitas Cooling Tower Forced Draft Counterflow. Skripsi. Jember: Universitas Jember.
- Ramkrishnan, R. dan Arumugam, R. 2013. Experimental Study of Cooling Tower Performance Using Ceramic Tile Packing. India: Department of Mechanical Engineering, Annamalai University. 7 (1): 21-27.



- Sara Cooling Tower. 2019. Cooling Tower Part. [www.saracoolingtower.com](http://www.saracoolingtower.com). [Diakses pada 17 Oktober 2019].
- SPX Cooling Technologies. 2014. Counterflow Film Fill. <http://spxcooling.com/images/DF254fill-480.jpg> [Diakses pada 17 Oktober 2019].
- Srivastav, K. M. 2015. Circumcircle and incircle of a triangle with its impact in development of skill. India: International Journal of Mathematic Archive. 6(6).
- Stoecker, W. F., dan Jones, J. W. 2009. *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*. Terjemah Oleh Supratman Hara. Jakarta: Erlangga.
- Sukirno, S. 1995. *Pengantar Teori Ekonomi Mikro*. Edisi kedua. Jakarta : PT. Karya Grafindo Persada.
- Sularso, dan Tahara, H., 2000. *Pompa dan Kompresor*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Surdia, T. Saito, S. 1985. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Cetakan Ke-3. Jakarta: PT. Padnya Paramita.
- 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.
- Yulianto, S. 2013. Perancangan Cooling Tower Untuk Alat Penukar Kalor Shell And Tube Kapasitas Skala Laboratorium. SINTEK: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin. 7 (1).

## LAMPIRAN 1. Tabel Data Hasil Pengujian

## Kecepatan udara 2 m/s dengan suhu awal 50 °C tanpa bahan pengisi

NO	Waktu (s)	T1 (°C)	T2 (°C)			T2 (rata-rata)°C	Twb1 (°C)	Tdb (°C)	Twb2 (°C)
			A	b	c				
1	0	50,00	40,10	40,60	43,20	41,30	27,00	31,50	29,00
2	20	50,00	42,00	44,20	43,80	43,33	27,00	31,50	29,00
3	40	50,00	41,70	42,80	41,00	41,83	27,00	31,50	29,00
4	60	50,00	44,30	45,00	43,90	44,40	27,00	31,50	29,00
5	80	50,00	41,80	41,00	41,80	41,53	27,00	31,50	29,00
6	100	50,00	42,20	42,00	42,20	42,13	27,00	31,50	29,00
7	120	50,00	41,70	41,10	41,40	41,40	27,00	31,50	29,00
8	140	50,00	42,70	44,00	43,40	43,37	27,00	31,50	29,00
9	160	50,00	41,40	43,40	42,20	42,33	27,00	31,50	29,00
10	180	50,00	42,90	43,20	44,40	43,50	27,00	31,50	29,00
11	200	50,00	44,70	42,70	43,10	43,50	27,00	31,50	29,00
12	220	50,00	43,40	43,70	43,50	43,53	27,00	31,50	29,00
13	240	50,00	41,30	43,00	41,60	41,97	27,00	31,50	29,00
	<b>X</b>	<b>50,00</b>				<b>42,63</b>	<b>27,00</b>	<b>31,50</b>	<b>29,00</b>

## Kecepatan udara 2 m/s dengan suhu awal 60 °C tanpa bahan pengisi

NO	Waktu (s)	T1 (°C)	T2 (°C)			T2 (rata-rata)°C	Twb1 (°C)	Tdb (°C)	Twb2 (°C)
			a	B	c				
1	0	60,00	42,50	34,60	35,00	37,37	31,00	33,00	32,00
2	20	60,00	52,80	47,60	44,00	48,13	31,00	33,00	32,00
3	40	60,00	52,70	45,20	46,30	48,07	31,00	33,00	32,00
4	60	60,00	53,00	41,30	44,00	46,10	31,00	33,00	32,00
5	80	60,00	52,60	43,50	44,00	46,70	31,00	33,00	32,00
6	100	60,00	52,80	42,40	45,00	46,73	31,00	33,00	32,00
7	120	60,00	52,80	43,30	43,50	46,53	31,00	33,00	32,00
8	140	60,00	48,50	42,50	46,40	45,80	31,00	33,00	32,00
9	160	60,00	51,20	47,10	43,70	47,33	31,00	33,00	32,00
10	180	60,00	53,90	49,10	44,50	49,17	31,00	33,00	32,00
11	200	60,00	43,70	48,00	45,00	45,57	31,00	33,00	32,00
12	220	60,00	52,90	43,00	41,70	45,87	31,00	33,00	32,00
13	240	60,00	53,80	40,50	44,50	46,27	31,00	33,00	32,00
	<b>X</b>	<b>60,00</b>				<b>46,13</b>	<b>31,00</b>	<b>33,00</b>	<b>32,00</b>

## Kecepatan udara 2 m/s dengan suhu awal 70 °C tanpa bahan pengisi

NO	Waktu (s)	T1 (°C)	T2 (°C)			T2 (rata-rata)°C	Twb1 (°C)	Tdb (°C)	Twb2 (°C)
			a	b	c				
1	0	70,00	44,00	41,00	42,00	42,33	28,00	32,00	35,00
2	20	70,00	45,00	42,60	56,00	47,87	28,00	32,00	35,00
3	40	70,00	53,20	49,00	50,00	50,73	28,00	32,00	35,00
4	60	70,00	50,70	54,00	54,00	52,90	28,00	32,00	35,00
5	80	70,00	49,40	54,00	55,00	52,80	28,00	32,00	35,00
6	100	70,00	55,00	50,00	48,50	51,17	28,00	32,00	35,00
7	120	70,00	58,10	50,60	54,00	54,23	28,00	32,00	35,00
8	140	70,00	51,00	56,70	58,20	55,30	28,00	32,00	35,00
9	160	70,00	54,00	54,20	53,40	53,87	28,00	32,00	35,00
10	180	70,00	52,30	50,00	54,00	52,10	28,00	32,00	35,00
11	200	70,00	52,00	51,30	49,70	51,00	28,00	32,00	35,00
12	220	70,00	48,00	59,30	59,00	55,43	28,00	32,00	35,00
13	240	70,00	51,50	54,20	55,20	53,63	28,00	32,00	35,00
	<b>X</b>	<b>70,00</b>				<b>51,80</b>	<b>28,00</b>	<b>32,00</b>	<b>35,00</b>

## Kecepatan udara 4 m/s dengan suhu awal 50 °C tanpa bahan pengisi

NO	Waktu (s)	T1 (°C)	T2 (°C)			T2 (rata-rata)°C	Twb1 (°C)	Tdb (°C)	Twb2 (°C)
			a	b	c				
1	0	50,00	37,50	35,80	32,70	35,33	28,00	31,00	34,00
2	20	50,00	38,40	38,20	39,20	38,60	28,00	31,00	34,00
3	40	50,00	39,40	38,80	39,20	39,13	28,00	31,00	34,00
4	60	50,00	38,80	39,60	38,20	38,87	28,00	31,00	34,00
5	80	50,00	40,60	40,70	41,20	40,83	28,00	31,00	34,00
6	100	50,00	42,30	42,00	41,50	41,93	28,00	31,00	34,00
7	120	50,00	40,30	41,90	41,40	41,20	28,00	31,00	34,00
8	140	50,00	38,80	42,10	40,20	40,37	28,00	31,00	34,00
9	160	50,00	41,10	41,30	37,40	39,93	28,00	31,00	34,00
10	180	50,00	40,70	38,50	40,00	39,73	28,00	31,00	34,00
11	200	50,00	38,60	35,70	39,90	38,07	28,00	31,00	34,00
12	220	50,00	38,80	37,50	39,70	38,67	28,00	31,00	34,00
13	240	50,00	40,20	38,40	41,30	39,97	28,00	31,00	34,00
	<b>X</b>	<b>50,00</b>				<b>39,43</b>	<b>28,00</b>	<b>31,00</b>	<b>34,00</b>

## Kecepatan udara 4 m/s dengan suhu awal 60 °C tanpa bahan pengisi

NO	Waktu (s)	T1 (°C)	T2 (°C)			T2 (rata-rata)°C	Twb1 (°C)	Tdb (°C)	Twb2 (°C)
			a	b	c				
1	0	60,00	35,80	33,80	35,20	34,93	28,00	32,00	33,50
2	20	60,00	44,70	42,30	43,70	43,57	28,00	32,00	33,50
3	40	60,00	43,10	45,00	43,70	43,93	28,00	32,00	33,50
4	60	60,00	47,90	41,90	41,80	43,87	28,00	32,00	33,50
5	80	60,00	45,00	42,70	44,00	43,90	28,00	32,00	33,50
6	100	60,00	42,80	40,00	41,50	41,43	28,00	32,00	33,50
7	120	60,00	41,00	41,50	40,70	41,07	28,00	32,00	33,50
8	140	60,00	42,70	44,80	39,20	42,23	28,00	32,00	33,50
9	160	60,00	44,90	42,70	43,90	43,83	28,00	32,00	33,50
10	180	60,00	44,90	44,10	45,90	44,97	28,00	32,00	33,50
11	200	60,00	46,40	44,10	45,10	45,20	28,00	32,00	33,50
12	220	60,00	46,50	44,70	45,10	45,43	28,00	32,00	33,50
13	240	60,00	44,10	43,90	42,10	43,37	28,00	32,00	33,50
	<b>X</b>	<b>60,00</b>			<b>42,90</b>		<b>28,00</b>	<b>32,00</b>	33,50

## Kecepatan udara 4 m/s dengan suhu awal 70 °C tanpa bahan pengisi

NO	Waktu (s)	T1 (°C)	T2 (°C)			T2 (rata-rata)°C	Twb1 (°C)	Tdb (°C)	Twb2 (°C)
			a	b	c				
1	0	70,00	44,20	47,50	43,10	44,93	28,50	32,00	37,00
2	20	70,00	48,70	44,60	50,60	47,97	28,50	32,00	37,00
3	40	70,00	55,00	48,80	50,80	51,53	28,50	32,00	37,00
4	60	70,00	54,40	44,40	44,10	47,63	28,50	32,00	37,00
5	80	70,00	47,80	40,50	46,00	44,77	28,50	32,00	37,00
6	100	70,00	47,80	41,90	49,80	46,50	28,50	32,00	37,00
7	120	70,00	47,60	47,80	46,40	47,27	28,50	32,00	37,00
8	140	70,00	54,50	49,00	44,90	49,47	28,50	32,00	37,00
9	160	70,00	44,80	46,80	45,00	45,53	28,50	32,00	37,00
10	180	70,00	53,00	48,20	55,80	52,33	28,50	32,00	37,00
11	200	70,00	48,00	49,20	48,80	48,67	28,50	32,00	37,00
12	220	70,00	47,80	51,60	50,20	49,87	28,50	32,00	37,00
13	240	70,00	47,00	45,80	49,80	47,53	28,50	32,00	37,00
	<b>X</b>	<b>70,00</b>			<b>48,00</b>		<b>28,50</b>	<b>32,00</b>	<b>37,00</b>

## Kecepatan udara 6 m/s dengan suhu awal 50 °C tanpa bahan pengisi

NO	Waktu (s)	T1 (°C)	T2 (°C)			T2 (rata-rata)°C	Twb1 (°C)	Tdb (°C)	Twb2 (°C)
			a	b	c				
1	0	50,00	33,40	31,60	33,30	32,77	27,00	30,00	34,00
2	20	50,00	37,30	37,10	38,00	37,47	27,00	30,00	34,00
3	40	50,00	35,40	34,90	34,70	35,00	27,00	30,00	34,00
4	60	50,00	37,80	37,40	36,50	37,23	27,00	30,00	34,00
5	80	50,00	38,20	38,70	39,70	38,87	27,00	30,00	34,00
6	100	50,00	39,90	38,90	38,10	38,97	27,00	30,00	34,00
7	120	50,00	38,90	37,90	39,20	38,67	27,00	30,00	34,00
8	140	50,00	38,60	35,50	36,10	36,73	27,00	30,00	34,00
9	160	50,00	37,40	38,30	37,60	37,77	27,00	30,00	34,00
10	180	50,00	36,20	37,20	36,50	36,63	27,00	30,00	34,00
11	200	50,00	38,50	37,30	36,80	37,53	27,00	30,00	34,00
12	220	50,00	37,90	36,30	36,00	36,73	27,00	30,00	34,00
13	240	50,00	34,30	37,50	36,60	36,13	27,00	30,00	34,00
	<b>X</b>	<b>50,00</b>			<b>36,96</b>		<b>27,00</b>	<b>30,00</b>	<b>34,00</b>

## Kecepatan udara 6 m/s dengan suhu awal 60 °C tanpa bahan pengisi

NO	Waktu (s)	T1 (°C)	T2 (°C)			T2 (rata-rata)°C	Twb1 (°C)	Tdb (°C)	Twb2 (°C)
			a	b	c				
1	0	60,00	37,10	37,70	40,10	38,30	29,00	31,50	37,00
2	20	60,00	42,40	41,40	40,90	41,57	29,00	31,50	37,00
3	40	60,00	42,80	40,40	42,80	42,00	29,00	31,50	37,00
4	60	60,00	41,00	40,00	42,90	41,30	29,00	31,50	37,00
5	80	60,00	41,80	42,00	36,10	39,97	29,00	31,50	37,00
6	100	60,00	41,00	40,40	42,30	41,23	29,00	31,50	37,00
7	120	60,00	43,70	42,40	41,80	42,63	29,00	31,50	37,00
8	140	60,00	41,90	43,10	43,60	42,87	29,00	31,50	37,00
9	160	60,00	45,00	45,90	44,70	45,20	29,00	31,50	37,00
10	180	60,00	44,80	43,70	42,80	43,77	29,00	31,50	37,00
11	200	60,00	42,80	41,30	42,30	42,13	29,00	31,50	37,00
12	220	60,00	41,60	42,00	40,40	41,33	29,00	31,50	37,00
13	240	60,00	42,30	43,60	45,00	43,63	29,00	31,50	37,00
	<b>X</b>	<b>60,00</b>			<b>41,99</b>		<b>29,00</b>	<b>31,50</b>	37,00



**Kecepatan udara 6 m/s dengan suhu awal 70 °C tanpa bahan pengisi**

NO	Waktu (s)	T1 (°C)	T2 (°C)			T2 (rata-rata)°C	Twb1 (°C)	Tdb (°C)	Twb2 (°C)
			a	b	c				
1	0	70,00	44,40	45,20	42,80	44,13	28,00	32,00	40,00
2	20	70,00	51,70	48,80	47,80	49,43	28,00	32,00	40,00
3	40	70,00	42,50	44,20	43,80	43,50	28,00	32,00	40,00
4	60	70,00	48,20	48,20	46,80	47,73	28,00	32,00	40,00
5	80	70,00	41,70	44,80	44,20	43,57	28,00	32,00	40,00
6	100	70,00	47,70	46,70	47,80	47,40	28,00	32,00	40,00
7	120	70,00	43,00	43,60	42,00	42,87	28,00	32,00	40,00
8	140	70,00	42,70	42,80	45,80	43,77	28,00	32,00	40,00
9	160	70,00	44,20	41,20	42,30	42,57	28,00	32,00	40,00
10	180	70,00	51,00	48,70	49,20	49,63	28,00	32,00	40,00
11	200	70,00	42,60	45,70	43,60	43,97	28,00	32,00	40,00
12	220	70,00	47,00	44,20	45,70	45,63	28,00	32,00	40,00
13	240	70,00	44,60	41,20	43,10	42,97	28,00	32,00	40,00
	<b>X</b>	<b>70,00</b>		<b>45,17</b>			<b>28,00</b>	<b>32,00</b>	<b>40,00</b>

**Kecepatan udara 1,6 m/s dengan suhu awal 50 °C dengan bahan pengisi**

NO	Waktu (s)	T1 (°C)	T2 (°C)			T2 (rata-rata)°C	Twb1 (°C)	Tdb (°C)	Twb2 (°C)
			a	b	c				
1	0	50,00	35,00	33,50	32,50	33,70	27,00	30,00	38,50
2	20	50,00	34,70	34,60	33,30	34,20	27,00	30,00	38,50
3	40	50,00	34,80	34,80	33,10	34,20	27,00	30,00	38,50
4	60	50,00	36,00	34,10	33,70	34,60	27,00	30,00	38,50
5	80	50,00	33,90	32,10	32,80	32,90	27,00	30,00	38,50
6	100	50,00	34,00	34,30	33,90	34,10	27,00	30,00	38,50
7	120	50,00	33,80	35,40	33,80	34,30	27,00	30,00	38,50
8	140	50,00	34,50	32,80	32,90	33,40	27,00	30,00	38,50
9	160	50,00	33,70	32,10	32,90	32,90	27,00	30,00	38,50
10	180	50,00	35,00	30,70	33,60	33,10	27,00	30,00	38,50
11	200	50,00	33,80	29,40	33,60	32,30	27,00	30,00	38,50
12	220	50,00	34,10	28,80	32,50	31,80	27,00	30,00	38,50
13	240	50,00	33,50	31,90	33,80	33,10	27,00	30,00	38,50
	<b>X</b>	<b>50,0</b>		<b>33,4</b>			<b>27,00</b>	<b>30,0</b>	<b>38,50</b>

**Kecepatan udara 1,6 m/s dengan suhu awal 60 °C dengan bahan pengisi**

NO	Waktu (s)	T1 (°C)	T2 (°C)			T2 (rata-rata)°C	Twb (°C)	Tdb (°C)	Twb2 (°C)
			a	B	c				
1	0	60,00	38,10	34,30	33,30	35,20	27,00	31,50	43,00
2	20	60,00	38,30	34,40	34,40	35,70	27,00	31,50	43,00
3	40	60,00	34,40	33,20	34,00	33,90	27,00	31,50	43,00
4	60	60,00	36,60	34,60	33,50	34,90	27,00	31,50	43,00
5	80	60,00	36,30	35,40	36,50	36,10	27,00	31,50	43,00
6	100	60,00	34,90	35,00	35,20	35,00	27,00	31,50	43,00
7	120	60,00	34,70	35,70	35,40	35,30	27,00	31,50	43,00
8	140	60,00	36,90	36,20	34,70	35,90	27,00	31,50	43,00
9	160	60,00	34,10	35,00	35,90	35,00	27,00	31,50	43,00
10	180	60,00	35,40	35,10	35,40	35,30	27,00	31,50	43,00
11	200	60,00	35,80	34,60	34,30	34,90	27,00	31,50	43,00
12	220	60,00	36,60	34,10	34,90	35,20	27,00	31,50	43,00
13	240	60,00	37,70	34,40	34,20	35,40	27,00	31,50	43,00
	<b>X</b>	<b>60,00</b>		<b>35,20</b>			<b>27,00</b>	<b>31,50</b>	<b>43,00</b>

**Kecepatan udara 1,6 m/s dengan suhu awal 70 °C dengan bahan pengisi**

NO	Waktu (s)	T1 (°C)	T2 (°C)			T2 (rata-rata)°C	Twb (°C)	Tdb (°C)	Twb2 (°C)
			a	B	c				
1	0	70,00	33,20	38,00	42,50	37,90	28,00	32,000	45,00
2	20	70,00	41,60	33,80	36,00	37,10	28,00	32,00	45,00
3	40	70,00	37,20	39,90	39,90	39,00	28,00	32,00	45,00
4	60	70,00	36,80	38,50	35,80	37,00	28,00	32,00	45,00
5	80	70,00	38,80	36,80	36,60	37,40	28,00	32,00	45,00
6	100	70,00	38,70	34,80	40,20	37,90	28,00	32,00	45,00
7	120	70,00	36,40	40,50	34,20	37,00	28,00	32,00	45,00
8	140	70,00	37,80	34,80	36,00	36,20	28,00	32,00	45,00
9	160	70,00	36,50	38,00	34,20	36,20	28,00	32,00	45,00
10	180	70,00	34,60	39,30	34,20	36,00	28,00	32,00	45,00
11	200	70,00	40,00	39,50	40,20	39,90	28,00	32,00	45,00
12	220	70,00	36,60	40,70	37,20	38,20	28,00	32,00	45,00
13	240	70,00	34,40	36,80	36,40	35,90	28,00	32,00	45,00
	<b>X</b>	<b>70,00</b>		<b>37,40</b>			<b>28,0</b>	<b>32,0</b>	<b>45,00</b>

**Kecepatan udara 3,2 m/s dengan suhu awal 50 °C dengan bahan pengisi**

NO	Waktu (s)	T1 (°C)	T2 (°C)			T2 (rata-rata)°C	Twb1 (°C)	Tdb (°C)	Twb2 (°C)
			a	b	c				
1	0	50,00	34,50	34,40	34,40	34,43	27,00	31,00	34,00
2	20	50,00	35,70	35,90	35,40	35,67	27,00	31,00	34,00
3	40	50,00	37,40	36,10	35,90	36,47	27,00	31,00	34,00
4	60	50,00	35,50	36,20	36,10	35,93	27,00	31,00	34,00
5	80	50,00	41,00	34,10	34,70	36,60	27,00	31,00	34,00
6	100	50,00	36,10	34,00	33,80	34,63	27,00	31,00	34,00
7	120	50,00	37,30	36,10	36,60	36,67	27,00	31,00	34,00
8	140	50,00	38,90	35,10	36,60	36,87	27,00	31,00	34,00
9	160	50,00	39,40	34,20	33,00	35,53	27,00	31,00	34,00
10	180	50,00	35,90	33,50	31,50	33,63	27,00	31,00	34,00
11	200	50,00	38,20	32,30	32,20	34,23	27,00	31,00	34,00
12	220	50,00	35,70	33,30	33,00	34,00	27,00	31,00	34,00
13	240	50,00	37,50	30,60	31,50	33,20	27,00	31,00	34,00
	<b>X</b>	<b>50,00</b>			<b>35,22</b>		<b>27,00</b>	<b>31,00</b>	<b>34,00</b>

**Kecepatan udara 3,2 m/s dengan suhu awal 60 °C dengan bahan pengisi**

NO	Waktu (s)	T1 (°C)	T2 (°C)			T2 (rata-rata)°C	Twb1 (°C)	Tdb (°C)	Twb2 (°C)
			a	b	c				
1	0	60,00	38,40	41,90	40,90	40,40	27,00	32,00	37,50
2	20	60,00	36,80	39,50	38,50	38,27	27,00	32,00	37,50
3	40	60,00	35,40	34,60	33,80	34,60	27,00	32,00	37,50
4	60	60,00	33,90	39,80	39,80	37,83	27,00	32,00	37,50
5	80	60,00	38,90	36,80	37,20	37,63	27,00	32,00	37,50
6	100	60,00	39,10	33,60	32,00	34,90	27,00	32,00	37,50
7	120	60,00	39,20	34,00	33,00	35,40	27,00	32,00	37,50
8	140	60,00	41,70	38,00	39,20	39,63	27,00	32,00	37,50
9	160	60,00	39,40	37,90	39,40	38,90	27,00	32,00	37,50
10	180	60,00	34,00	34,90	33,00	33,97	27,00	32,00	37,50
11	200	60,00	38,30	37,80	33,00	36,37	27,00	32,00	37,50
12	220	60,00	38,20	36,90	35,00	36,70	27,00	32,00	37,50
13	240	60,00	38,50	37,00	37,90	37,80	27,00	32,00	37,50
	<b>X</b>	<b>60,00</b>			<b>37,11</b>		<b>27,00</b>	<b>32,00</b>	<b>37,50</b>

**Kecepatan udara 3,2 m/s dengan suhu awal 70 °C dengan bahan pengisi**

NO	Waktu (s)	T <sub>1</sub> (°C)	T <sub>2</sub> (°C)			T <sub>2</sub> (rata-rata)°C	T <sub>wb1</sub> (°C)	T <sub>db</sub> (°C)	T <sub>wb2</sub> (°C)
			a	b	c				
1	0	70,00	38,00	37,30	37,80	37,70	28,50	32,00	40,00
2	20	70,00	38,60	39,60	39,20	39,13	28,50	32,00	40,00
3	40	70,00	40,40	40,60	40,50	40,50	28,50	32,00	40,00
4	60	70,00	40,20	41,40	41,70	41,10	28,50	32,00	40,00
5	80	70,00	40,40	41,80	42,10	41,43	28,50	32,00	40,00
6	100	70,00	42,00	41,10	41,20	41,43	28,50	32,00	40,00
7	120	70,00	40,30	42,90	41,10	41,43	28,50	32,00	40,00
8	140	70,00	43,10	41,50	42,00	42,20	28,50	32,00	40,00
9	160	70,00	40,00	41,40	41,90	41,10	28,50	32,00	40,00
10	180	70,00	42,80	40,00	41,90	41,57	28,50	32,00	40,00
11	200	70,00	40,00	42,20	41,30	41,17	28,50	32,00	40,00
12	220	70,00	41,50	41,80	41,80	41,70	28,50	32,00	40,00
13	240	70,00	40,20	41,60	42,30	41,37	28,50	32,00	40,00
<b>X</b>		<b>70,00</b>				<b>40,91</b>	<b>28,50</b>	<b>32,00</b>	<b>40,00</b>

**Kecepatan udara 4,8 m/s dengan suhu awal 50 °C dengan bahan pengisi**

NO	Waktu (s)	T <sub>1</sub> (°C)	T <sub>2</sub> (°C)			T <sub>2</sub> (rata-rata)°C	T <sub>wb1</sub> (°C)	T <sub>db</sub> (°C)	T <sub>wb2</sub> (°C)
			a	b	c				
1	0	50,00	39,00	41,10	41,50	40,53	28,50	31,50	31,00
2	20	50,00	39,70	42,20	42,20	41,37	28,50	31,50	31,00
3	40	50,00	40,70	42,30	41,90	41,63	28,50	31,50	31,00
4	60	50,00	43,00	42,30	42,20	42,50	28,50	31,50	31,00
5	80	50,00	43,40	42,60	42,90	42,97	28,50	31,50	31,00
6	100	50,00	40,60	42,70	42,20	41,83	28,50	31,50	31,00
7	120	50,00	41,80	42,70	42,70	42,40	28,50	31,50	31,00
8	140	50,00	42,00	43,40	43,40	42,93	28,50	31,50	31,00
9	160	50,00	40,10	42,10	42,10	41,43	28,50	31,50	31,00
10	180	50,00	42,30	43,20	42,80	42,77	28,50	31,50	31,00
11	200	50,00	41,60	42,10	42,10	41,93	28,50	31,50	31,00
12	220	50,00	43,00	41,50	42,10	42,20	28,50	31,50	31,00
13	240	50,00	42,90	42,50	42,00	42,47	28,50	31,50	31,00
<b>X</b>		<b>50,00</b>				<b>42,07</b>	<b>28,50</b>	<b>31,50</b>	<b>31,00</b>



**Kecepatan udara 4,8 m/s dengan suhu awal 60 °C dengan bahan pengisi**

NO	Waktu (s)	T <sub>1</sub> (°C)	T <sub>2</sub> (°C)			T <sub>2</sub> (rata-rata)°C	T <sub>wb1</sub> (°C)	T <sub>db</sub> (°C)	T <sub>wb2</sub> (°C)
			a	b	c				
1	0	60,00	38,20	35,80	35,40	36,47	27,00	33,00	34,50
2	20	60,00	36,40	34,00	42,40	37,60	27,00	33,00	34,50
3	40	60,00	45,00	40,60	40,40	42,00	27,00	33,00	34,50
4	60	60,00	47,40	41,40	40,80	43,20	27,00	33,00	34,50
5	80	60,00	45,20	41,00	42,20	42,80	27,00	33,00	34,50
6	100	60,00	46,00	41,30	42,60	43,30	27,00	33,00	34,50
7	120	60,00	45,70	42,40	42,50	43,53	27,00	33,00	34,50
8	140	60,00	45,70	42,40	43,10	43,73	27,00	33,00	34,50
9	160	60,00	47,40	43,50	43,10	44,67	27,00	33,00	34,50
10	180	60,00	48,00	43,00	41,90	44,30	27,00	33,00	34,50
11	200	60,00	47,50	43,00	43,60	44,70	27,00	33,00	34,50
12	220	60,00	46,80	42,90	43,00	44,23	27,00	33,00	34,50
13	240	60,00	47,30	42,50	39,10	42,97	27,00	33,00	34,50
<b>X</b>		<b>60,00</b>		<b>42,58</b>			<b>27,00</b>	<b>33,00</b>	<b>34,50</b>

**Kecepatan udara 4,8 m/s dengan suhu awal 70 °C dengan bahan pengisi**

NO	Waktu (s)	T <sub>1</sub> (°C)	T <sub>2</sub> (°C)			T <sub>2</sub> (rata-rata)°C	T <sub>wb1</sub> (°C)	T <sub>db</sub> (°C)	T <sub>wb2</sub> (°C)
			a	b	c				
1	0	70,00	43,80	41,70	40,80	42,10	28,50	31,50	36,50
2	20	70,00	44,90	46,70	48,40	46,67	28,50	31,50	36,50
3	40	70,00	41,30	48,50	49,20	46,33	28,50	31,50	36,50
4	60	70,00	52,30	49,50	50,40	50,73	28,50	31,50	36,50
5	80	70,00	49,20	49,70	50,70	49,87	28,50	31,50	36,50
6	100	70,00	47,20	51,20	50,70	49,70	28,50	31,50	36,50
7	120	70,00	46,20	44,60	44,80	45,20	28,50	31,50	36,50
8	140	70,00	48,40	49,30	47,60	48,43	28,50	31,50	36,50
9	160	70,00	47,40	47,20	46,80	47,13	28,50	31,50	36,50
10	180	70,00	51,80	49,30	48,00	49,70	28,50	31,50	36,50
11	200	70,00	50,40	50,70	51,30	47,13	28,50	31,50	36,50
12	220	70,00	50,00	51,40	51,60	51,00	28,50	31,50	36,50
13	240	70,00	50,30	49,40	50,20	49,97	28,50	31,50	36,50
<b>X</b>		<b>70,00</b>		<b>48,00</b>			<b>28,50</b>	<b>31,50</b>	<b>36,50</b>

Keterangan:

T<sub>1</sub> : Suhu air masuk *Cooling tower*

T<sub>2</sub> : Suhu air keluar *Cooling tower*

T<sub>db</sub> : Suhu bola kering *Cooling tower*



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

$T_{wb2}$  : Suhu bola basah keluar *Cooling tower*



LAMPIRAN 2. Nilai Rata-rata.

**Cooling tower Tanpa Bahan Pengisi**

Kecepatan Udara (m/s)	T <sub>1</sub> (°C)	C <sub>pa</sub> (KJ/kg.K)	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	Rangge (°C)	Approach (°C)	Efektifitas (%)	Rasio Air dan Udara
2,00	50	4,18	85,26	94,85	7,37	15,63	32,06	1,60
	60	4,18	85,26	110,95	13,87	19,13	42,04	1,61
	70	4,18	89,95	129,41	18,20	23,80	43,34	1,61
4,00	50	4,18	87,61	105,34	10,57	11,93	46,96	0,80
	60	4,18	85,26	121,19	17,10	15,90	51,81	0,80
	70	4,18	92,40	143,24	22,00	19,50	53,01	0,80
6,00	50	4,18	85,26	112,97	13,04	9,96	56,69	0,53
	60	4,18	94,85	143,24	18,01	12,99	58,08	0,54
	70	4,18	89,95	166,62	24,83	17,17	59,13	0,54

**Cooling tower Tanpa Bahan Pengisi**

Kecepatan Udara (m/s)	T <sub>1</sub> (°C)	Kapasitas pendingin (kJ/s)	L/G	Kehilangan Penguapan (kg/s)
2,00	50	1,81	5,43	0,000664
	60	3,41	7,73	0,001249
	70	4,47	9,05	0,001638
4,00	50	2,60	7,01	0,000951
	60	4,20	8,78	0,001539
	70	5,41	9,65	0,001980
6,00	50	3,21	8,88	0,001173
	60	4,43	11,23	0,001620
	70	6,10	12,90	0,002235

**Cooling tower dengan bahan pengisi**

Kecepatan Udara (m/s)	T <sub>1</sub> (°C)	C <sub>p</sub> air (J/kg.K)	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	Range (°C)	Approach (°C)	Efektifitas (%)	Rasio Air dan Udara
2,00	50	4,18	92,40	105,34	7,92	13,58	36,84	2,00
	60	4,18	85,26	121,19	17,42	15,58	52,80	2,06
	70	4,18	92,40	139,70	22,00	19,50	53,01	2,06
4,00	50	4,18	85,26	112,97	14,78	8,22	64,26	1,00
	60	4,18	85,26	146,95	22,89	10,11	69,37	1,00
	70	4,18	92,40	166,62	29,09	12,41	70,10	1,00
6,00	50	4,18	85,26	154,55	16,57	6,43	72,05	0,67
	60	4,18	85,26	193,66	24,78	8,22	75,10	0,67
	70	4,18	89,95	241,07	32,63	9,37	77,69	0,67

**Cooling tower Dengan Bahan Pengisi**

Kecepatan Udara (m/s)	T <sub>1</sub> (°C)	Kapasitas pendingin (kJ/s)	L/G	Kehilangan Penguapan (kg/s)
2,00	50	1,95	6,82	0,0007
	60	4,28	8,61	0,0016
	70	5,41	8,98	0,0020
4,00	50	3,63	7,83	0,0013
	60	5,63	11,26	0,0021
	70	7,15	10,66	0,0026
6,00	50	4,07	17,48	0,0015
	60	6,09	18,28	0,0022
	70	8,02	19,35	0,0029

Keterangan:

T<sub>1</sub> (°C) : Suhu air masuk

h<sub>1</sub> : Entalpi udara bola basah masuk

h<sub>2</sub> : Entalpi Entalpi udara bola basah keluar

**LAMPIRAN 3. PERHITUNGAN****Data Cooling tower dengan Bahan Pengisi:**

Kecepatan udara variasi	: 4,8 m/s
Suhu air masuk variasi	: 70 °C
Suhu air keluar	: 37,37 °C
Suhu bola basah masuk	: 28,00 °C
Suhu bola basah keluar	: 45,00 °C
Diameter luasan aliran udara	: 35 cm
Densitas Air	: 1000 kg/m <sup>3</sup>
Debit Air (Q <sub>air</sub> )	: 0,06
Kalor jenis air (C <sub>p</sub> )	: 4,18 J/kgK

**Perhitungan :**

- a. *Range* = *Suhu air masuk* – *Suhu air keluar*  
= 70 °C – 37,37 °C  
= 32,63 °C
- b. *Approach* = *Suhu air masuk* – *Suhu air keluar*  
= 37,37 °C – 28,00 °C  
= 9,37 °C
- c. Efektivitas *Cooling tower* =  $\frac{Range}{Range+Approach} \times 100\%$   
=  $\frac{32,63}{32,63+9,37}$   
= 77,69 %
- d. Rasio Air-Udara =  $\frac{\dot{m}_{air\ spesifik}}{\dot{m}_{udara\ spesifik}}$   
=  $\frac{0,37}{0,55}$   
= 0,67
- e. Kapasitas Pendingin =  $\dot{m}_{air} \cdot C_p \cdot Range$   
= 0,06 . 4,18 . 32,63  
= 8,02 kJ/s
- f. Kehilangan Penguapan =  $0,00085 \times 1,8 \times \dot{m}_{air} \times Range$   
= 0,00085 × 1,8 × 0,06 × 32,63

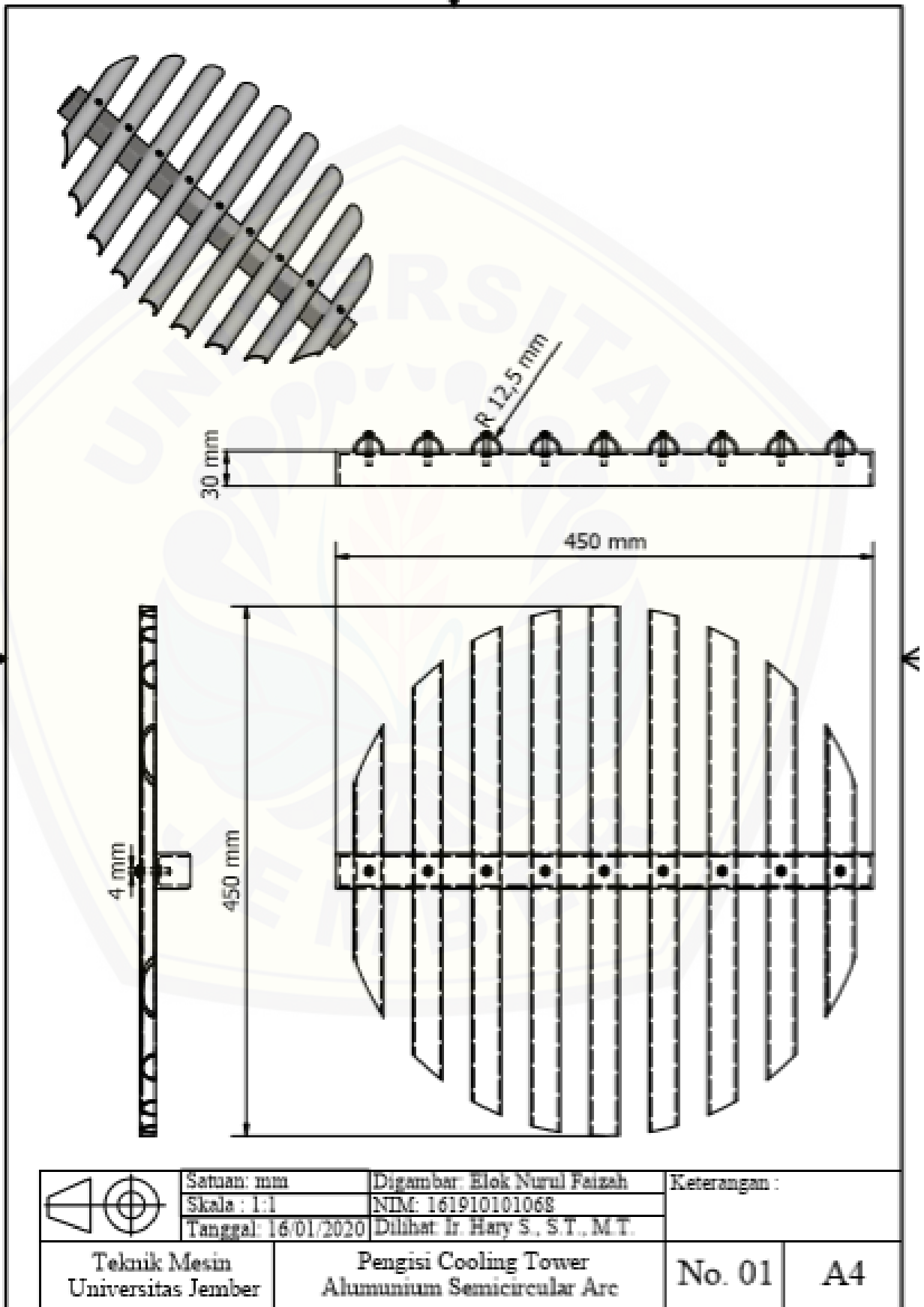
g. L/G

$$\begin{aligned} &= 0,0029 \text{ Kg/s} \\ &= \frac{h_{a1} - h_{a2}}{(T_{masuk} - T_{keluar}) \times C_p} \\ &= \frac{241,07 - 89,95}{(70 - 32,63) - 4,18} \\ &= 1,10 \end{aligned}$$

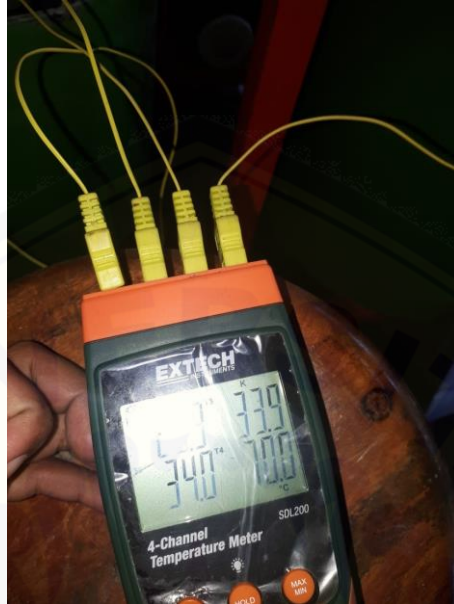




LAMPIRAN 4. GAMBAR PENGISI ALUMINIUM SEMICIRCULAR ARC



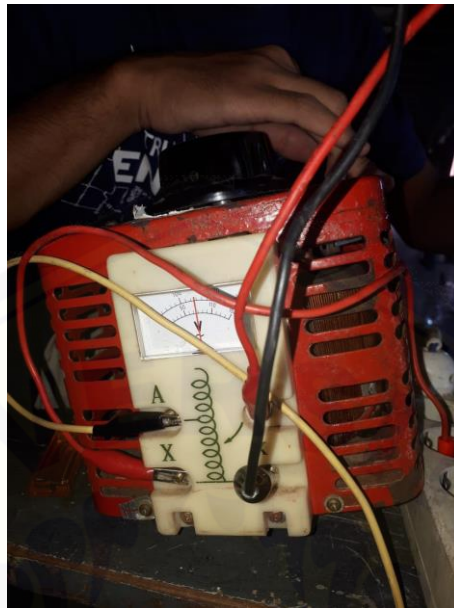
LAMPIRAN 5. DOKUMENTASI PENELITIAN



Gambar Thermokopel pembaca suhu air *cooling tower*



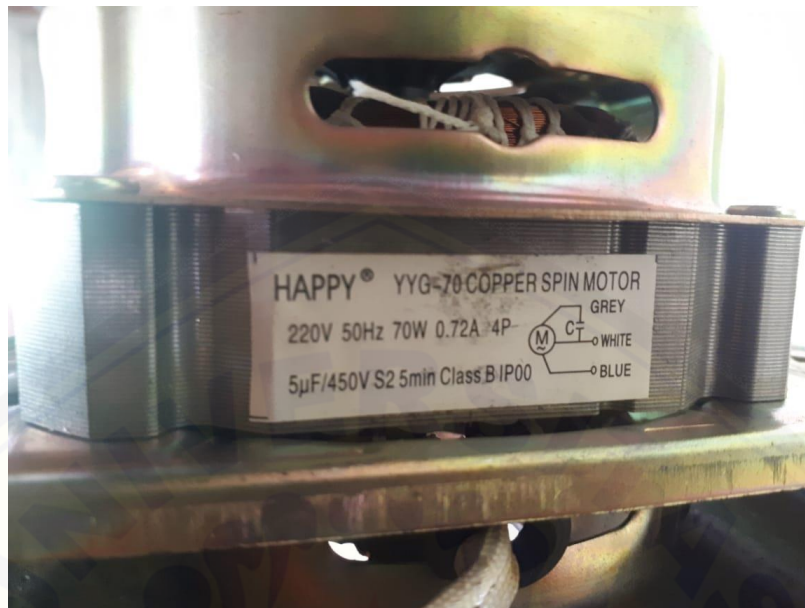
Gambar Thermometer pembaca suhu bola kering dan bola basah



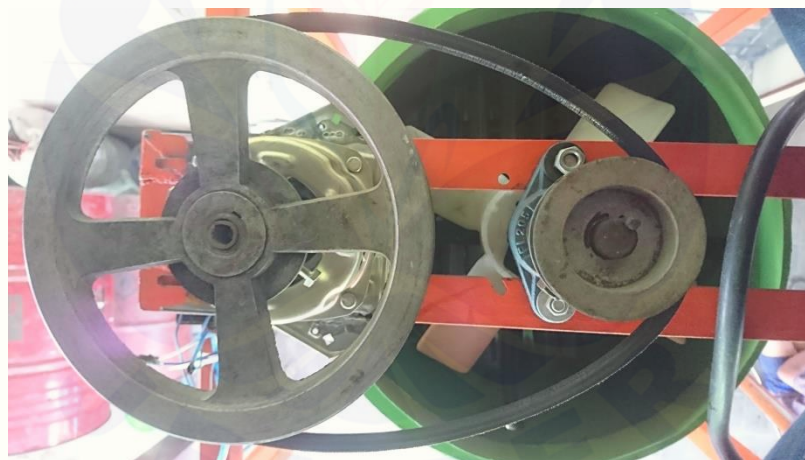
Gambar VR (*Voltage Regulator*)



Gambar *Flowmeter*



Gambar Motor Listrik untuk memutar kipas



Gambar pemasangan *pulley* untuk penggerak kipas





Gambar pemasangan pengisi *Semicircular arc* dari atas



Gambar pemasangan pengisi *Semicircular arc* dari bawah





Gambar Pengisi *Semicircular arc*



Gambar Pengisi *Semicircular arc*



Gambar Pengukuran suhu bola kering dan bola basah



Gambar Pengukuran Kecepatan Udara



Gambar pemanasan air



Gambar pemanasan air



Gambar pengambilan data

