



**ANALISIS VARIASI DEBIT AIR DAN KETINGGIAN PENGISI
CALCIBOARD TERHADAP EFEKTIVITAS *COOLING TOWER*
*FORCED DRAFT COUNTERFLOW***

SKRIPSI

Oleh

**DANAR DWI PRASETYA
NIM 121910101074**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2016**



**ANALISIS DEBIT AIR DAN KETINGGIAN PENGISI *CALCIBOARD*
TERHADAP EFEKTIVITAS *COOLING TOWER FORCED DRAFT
COUNTERFLOW***

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh
DANAR DWI PRASETYA
NIM 121910101074

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2016**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Kedua orangtua saya, Bapak Budi Sugiantoro dan Ibu Sri Munjiati yang tercinta;
2. Kakakku Mahardika Eka Ananta, dan seluruh keluargaku yang tercinta;
3. Kartika Dini Lestari terimakasih telah menjadi kekasih sekaligus sahabat dan teman yang selalu mendukung bahkan mengingatkan;
4. Saudaraku Teknik Mesin 2012 yang selalu menemani hari-hariku di Jember;
5. Keluarga seperantauan “Kontrakan Brantas AKB/AKP”, khususnya Prasetya Eka Indradianto, Agus Sobirin, M.I.Nando, Deni Rudiyanto, Nanda Choirul Amshori, Yahya Abidin, Teguh Ari Cahyono, Syafiul Anwar., yang selalu menghibur;
6. Saudaraku Camp Pare kampung inggris 2014/2015, khususnya Achmad Nuryanto;
7. Seluruh anggota acasine dan seluruh teman smp;
8. Guru-guruku sejak taman kanak-kanak sampai dengan perguruan tinggi;
9. Seluruh dosen, staff pengajar dan administrasi Fakultas Teknik Universitas Jember yang membantu penulis dalam menyelesaikan studi S1;
10. Kepada Teknisi laboratorium Konversi Energi yang sangat membantu dalam menyelesaikan alat dan, yang telah bersedia meluangkan waktu untuk membantu saya mengambil data;
11. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember.

MOTO

Sebaik- baik manusia adalah yang paling bermanfaat bagi manusia yang lain.

(HR.Thabrani dan Daruquthni)^{*)}

Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.

(terjemahan Al-Qur'an surat Alam Nasyrah ayat 6)^{**)}

Maka apabila kamu telah selesai (dari sesuatu urusan), maka kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain.

(terjemahan Al-Qur'an surat Alam Nasyrah ayat 7)^{***)}

^{*)}Shahih al-Jami' no 3289 (Hasan).

^{**)}Al-Qur'an digital versi 2.1 freeware.2004.Al-Qur'an digital dan terjemahannya.
Bandung:CV Diponegoro.

^{***)}Al-Qur'an digital versi 2.1 freeware.2004.Al-Qur'an digital dan terjemahannya.
Bandung:CV Diponegoro.

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Danar Dwi Prasetya

NIM : 121910101074

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Analisis Variasi Debit Air dan Ketinggian *Calciboard* Terhadap Efektivitas *Cooling Tower Forced Draft*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada instansi manapun, serta 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 adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 2 Agustus 2016
yang menyatakan,

Danar Dwi Prasetya
NIM 121910101074

SKRIPSI

Analisis Variasi Debit Air dan Ketinggian Pengisi *Calciboard* Terhadap Efektifitas *Cooling Tower Forced Draft Counterflow*

Oleh

Danar Dwi Prasetya

NIM 121910101074

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Agus Triono,S.T.,M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Ir.Digdo Listyadi S.,M.Sc.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Analisis Variasi Debit Air dan Ketinggian Pengisi Calciboard Terhadap Efektivitas Cooling Tower Forced Draft Counterflow” yang telah diuji dan disahkan pada:

Hari, Tanggal : 15 Agustus 2016

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

DPU,

DPA,

Dr. Agus Triono.,ST.MT.
NIP.197008072002121001

Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc.
NIP. 196806171995011001

Penguji I,

Penguji II,

Aris Zainul Muttaqin, ST., M.T.
NIP. 196812071995121002

Boy Arief, S.T., M.T.PhD
NIP. 197409011999031002

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr.Ir. Entin Hidayah, M.U.M.
NIP.196612151995032001



RINGKASAN

Analisis Variasi Debit Air dan Ketinggian Pengisi *Calciboard* Terhadap Efektivitas *Cooling Tower Forced Draft Counterflow*; Danar Dwi Prasetya,121910101074; 2016; 67 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Ketinggian pengisi merupakan salah satu yang berpengaruh terhadap kinerja *cooling tower*. Dan jumlah debit air yang masuk juga salah satu yang berpengaruh terhadap kinerja *cooling tower*. Perpaduan antara kedua variasi tersebut diharapkan akan menghasilkan panas yang dibuang ke atmosfer lebih banyak. Peningkatan debit air yang masuk ini dilakukan dengan mengatur kran yang sudah dihitung sebelumnya, sehingga kecepatan air masuk dapat diketahui. Bahan pengisi yang berfungsi untuk memecah aliran air yang jatuh dari *nozzle* menjadi butiran-butiran air, dengan maksud memperluas permukaan pendinginan. Bahan yang dipakai yaitu papan *calciboard* diharapkan bisa memaksimalkan pendinginan.

Penelitian ini difokuskan tentang kinerja pendinginan *cooling tower* dengan variasi penambahan debit air pengaturan kran air dan posisi ketinggian pengisi. Variasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah debit air 6, 12 dan 18 liter/menit. Variasi ketinggian pengisi 50 cm, 100 cm, dan 150 cm.

Dari hasil penelitian menunjukkan, kinerja *cooling tower* pada ketinggian 150 cm dan variasi debit 12 liter/menit mempunyai nilai efektivitas pendinginan sebesar 86,87%. Semakin tinggi pengisi maka efektivitas pendinginan akan semakin naik. Penambahan ketinggian pengisi *calciboard* mengakibatkan kenaikan kapasitas pendinginan sehingga pendinginannya maksimal. Kapasitas pendinginan tertinggi terjadi pada variasi debit 12 liter/menit dan ketinggian 150 cm dengan nilai sebesar 25,70 kJ/s.

SUMMARY

Analysis of Variations Rate of Flow Water and Height Filler Calciboard For Effectiveness Forced Draft Cooling Tower Counterflow; Danar Dwi Prasetya, 121910101074; 2016; 67 pages; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

Height filler is one which affects the performance of cooling tower. And the amount of incoming water discharge is also one which affects the performance of cooling tower. The combination between the two variations is expected to generate heat rejected to atmosphere. Increased discharge of incoming water is done by setting unscrew the faucet that has been previously calculated, so that the speed of incoming water can be known. The filler which serves to break up the flow of water that falls from the nozzle into granules and water drops, with the intention of expanding the cooling surface. The materials used are calciboard is expected to maximize cooling.

This study focused on the performance Cooling cooling tower with the addition of water discharge variation settings open the water tap and the addition of fillers height position. Variations used in this study is the water discharge 6 liters / min, 12 liter / min, 18 liter / min. Filler height variation 50 cm, 100 cm and 150 cm.

The results showed, the performance of cooling tower at a height of 150 cm and a variation of discharge of 12 liters / minute have cooling effectiveness score of 86.87%. The higher of filler, effectiveness of the cooling will further increase. The addition of fillers calciboard altitude results in increased cooling capacity so that the maximum cooling. Cooling capacity is highest in debit variation of 12 liters / minute and a height of 150 cm with a value of 25.70 kJ / s

PRAKATA

Puji syukur kepada Allah SWT, atas segala nikmat hidup dan kesempatan menimba ilmu, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Variasi Debit Air dan Ketinggian Pengisi *Calciboard* Terhadap Efektivitas *Cooling Tower Forced Draft Counterflow*”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk mencapai gelar Sarjana Teknik. Dalam penelitian dan penyusunan skripsi ini, penulis banyak dibantu, dibimbing, dan didukung oleh berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orangtua saya, Bapak Budi Sugiantoro dan Ibu Sri Munjiati, terima kasih atas dukungan moril dan materil sehingga saya dapat menyelesaikan studi S1;
2. Bapak Dr. Agus Triono, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing utama dan Bapak Ir. Digdo Listyadi S.M.Sc. selaku dosen pembimbing anggota yang selalu memberikan ide, saran, motivasi, serta meluangkan waktunya untuk membimbing saya selama proses penelitian dan penyusunan laporan skripsi ini;
3. Bapak Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T. selaku dosen penguji I, dan Bapak Boy Arief F., S.T., M.T. selaku dosen penguji II yang memberikan saran dan kritikan bersifat konstruktif untuk penyusunan skripsi ini;
4. Teknisi laboratorium konversi energy Feri Ramadhan yang telah membantu dalam penyelesaian alat dan pengambilan data;
5. Kakakku Mahardika Eka Ananta dan seluruh keluarga besar dari Bapak dan Ibu saya yang selalu memberi dukungan kepada saya agar selalu maju;
6. Sahabat dan juga kekasih Kartika Dini Lestari yang telah memberikan masukan dan dorongan agar dapat menyelesaikan tugas ini dengan maksimal;
7. Saudaraku Teknik Mesin 2012 yang selalu memotivasi saya untuk terus maju, salam Solidarity Forever;

8. Guru-guruku sejak taman kanak-kanak sampai dengan perguruan tinggi yang telah memberikan bekal ilmu dunia dan akhirat;
9. Seluruh staf pengajar dan administrasi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan ilmu, membimbing, dan membantu kelancaran saya selama saya duduk di bangku perkuliahan.
10. Kepada Arif Rahman Hakim, Syafiul Anwar dan Agus Sobirin teman proyek alat ini dengan semangat menjadi anggota dan rekan dalam proses penelitian dan pengerjaan alat;
11. Semua pihak yang telah membantu proses penelitian dan penyusunan skripsi ini dari awal hingga akhir;

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

Jember, 16 Agustus 2016

Penulis

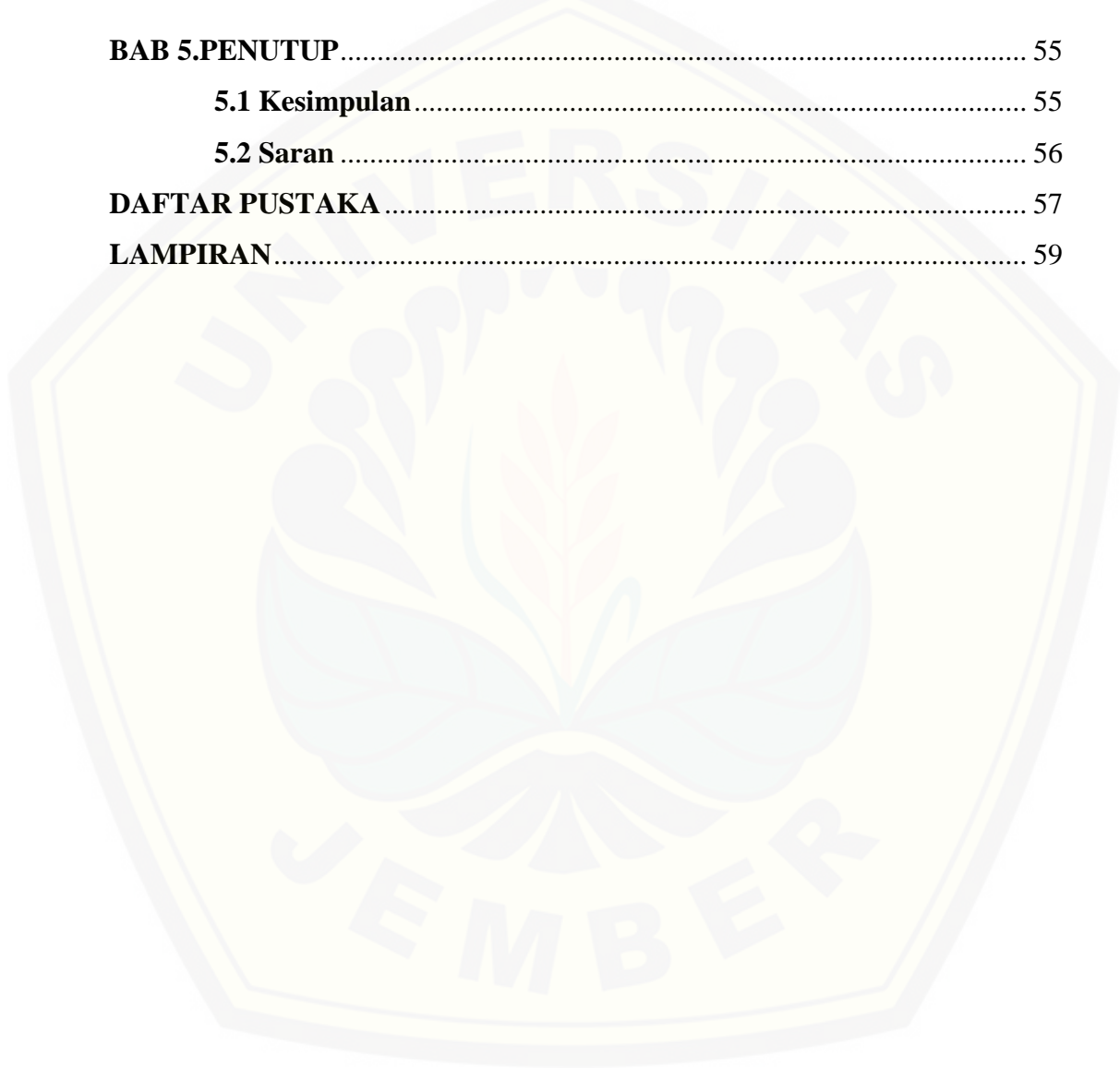
DAFTAR ISI

HALAMAN

HALAMAN JUDUL.....	i
PERSEMBAHAN.....	ii
MOTO.....	iii
PERNYATAAN.....	iv
PEMBIMBING.....	v
PENGESAHAN.....	vi
RINGKASAN.....	vii
PRAKATA.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
1.6 Hipotesis.....	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Definisi <i>Cooling Tower</i>.....	6
2.2 Konstruksi dan Komponen <i>Cooling Tower</i>.....	7
2.3 Jenis-Jenis Menara Pendingin.....	11
2.3.1 Menara Pendingin Jenis <i>Natural Draft</i>	12
2.3.2 Menara Pendingin <i>Draft</i> Mekanik.....	12
2.4 Fungsi dan Cara Kerja <i>Cooling Tower</i>.....	15

2.5 Kinerja Cooling Tower.....	16
2.6 Analisis Menara Pendingin Aliran Berlawanan Arah	20
2.7 Calciboard	23
2.8 Air.....	24
2.9 Definisi Pompa	25
2.10 Penelitian Terdahulu	26
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	28
3.1 Metode Penelitian.....	28
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian.....	28
3.3 Alat dan Bahan.....	29
3.3.1 Alat dan Instrumen penelitian.....	29
3.3.2 Bahan Penelitian	31
3.3.3 Spesifikasi Cooling Tower.....	31
3.4 Prosedur Penelitian	
3.4.1 Persiapan Alat Pengujian	32
3.4.2 Pemeriksaan Alat Pengujian	33
3.4.3 Tahapan Pengambilan Data	33
3.5 Rangkaian Cooling Tower Forced Draft Counterflow.....	34
3.6 Skema Aliran Air Cooling Tower.....	34
3.7 Variabel.....	35
3.6.1 Variabel Bebas	35
3.6.2 Variabel Terikat	35
3.8 Analisa Kinerja Cooling Tower	35
3.9 Diagram Alir.....	37
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	38
4.1 Data Hasil Pengujian	38
4.2 Range.....	39
4.3 Approach	41
4.4 Efektivitas Pendinginan.....	43

4.5 Kapasitas Pendinginan	45
4.6 Debit Air Spesifik	47
4.7 Rasio Air dan Udara	49
4.8 Laju Penguapan Air	50
4.9 Perbandingan Aliran Massa Cair Terhadap Gas	52
BAB 5.PENUTUP.....	55
5.1 Kesimpulan.....	55
5.2 Saran	56
DAFTAR PUSTAKA	57
LAMPIRAN.....	59



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Diagram skematik sistem menara pendingin	6
2.2 Konstruksi menara pendingin	7
2.3 <i>Splash fill</i>	9
2.4 <i>film fill</i>	10
2.5 <i>Low-clog film fill</i>	10
2.6 Kipas	11
2.7 Menara pendingin <i>natural draft</i> aliran melintang	12
2.8 Menara pendingin <i>induced draft cross flow cooling tower</i>	13
2.9 Menara pendingin <i>forced draft</i>	14
2.10 menara pendingin <i>induced draft</i>	15
2.11 Grafik lintasan udara pada menara pendingin berlawanan arah	15
2.12 Skema kerja cooling tower	16
2.13 Grafik Range dan approach temperature pada menara pendingin	17
2.14 Pertukaran energy menara pendingin berlawanan arah	21
2.15 Diagram entalpi-suhu udara dan air	22
2.16 pompa sentrifugal.....	26
2.17 Skema rangkaian <i>cooling tower induced draft counterflow</i>	28
3.1 Kipas	30
3.2 Nozzle	31
3.3 Pengisi calciboard	32
3.4 Skema Rangkaian <i>cooling tower forced draft counterflow</i>	34
3.5 Diagram alir penelitian.....	37
4.1 Grafik Ketinggian range semua variasi.....	40
4.2 Grafik ketinggian approach semua variasi.....	42
4.3 Grafik ketinggian efektivitas Pendinginan semua variasi	44

4.4 Grafik ketinggian pengisi dan kapasitas Pendinginan semua variasi.....	46
4.5 Grafik debit air spesifik semua variasi.....	48
4.6 Grafik rasio air dengan udara.....	49
4.7 Grafik laju penguapan air semua variasi.....	51
4.8 Grafik perbandingan massa cair dan Gas semua variasi.....	53



DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Konduktivitas thermal bahan.....	24
2.1 Kalor jenis zat	25
3.1 Spesifikasi pompa air	30
3.2 Spesifikasi kipas.....	30
4.1 Hasil pengujian variasi debit air cooling tower 6 liter/menit.....	38
4.2 Hasil pengujian variasi debit air cooling tower 12 liter/menit.....	38
4.3 Hasil pengujian variasi debit air cooling tower 18 liter/menit.....	39
4.4 Data rata-rata hasil perhitungan range dari semua variasi	39
4.5 Data rata-rata hasil perhitungan approach dari semua variasi	41
4.6 Data rata-rata hasil perhitungan efektivitas Pendinginan.....	43
4.7 Data rata-rata hasil perhitungan kapasitas Pendinginan.....	46
4.8 Data rata-rata hasil debit air spesifik dari semua variasi.....	47
4.9 Data rata-rata hasil rasio air dengan udara semua variasi	49
4.10 Data rata-rata hasil debit laju penguapan.....	51
4.11 Data rata-rata hasil L/G semua variasi.....	53

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
LAMPIRAN 1. Tabel data hasil pengujian	59
A.1 Ketinggian pengisi 50 cm dan debit air 6 liter/menit.....	59
A.2 Ketinggian pengisi 50 cm dan debit air 12 liter/menit.....	59
A.3 Ketinggian pengisi 50 cm dan debit air 18 liter/menit.....	59
A.4 Ketinggian pengisi 100 cm dan debit 6 liter/menit.....	60
A.5 Ketinggian pengisi 100 cm dan debit 12 liter/menit.....	60
A.6 Ketinggian pengisi 100 cm dan debit 18 liter/menit.....	60
A.7 Ketinggian pengisi 150 cm dan debit 6 liter/menit.....	61
A.8 Ketinggian pengisi 150 cm dan debit 12 liter/menit.....	61
A.9 Ketinggian pengisi 150 cm dan debit 18 liter/menit.....	61
LAMPIRAN 2. Nilai rata-rata, Volume spesifik, Rasio kelembaban, Debit udara dan Entalpi	62
LAMPIRAN 3. PERHITUNGAN.....	63
LAMPIRAN 4. Hasil semua perhitungan rata-rata	65
LAMPIRAN 5. Gambar pengujian	66

BAB.1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Panas apabila disinggung dengan kondisi yang suhunya berbeda, maka akan terjadi perpindahan energi. Apa yang ada perpindahan disebut panas tidak dapat diukur atau diamati secara langsung melainkan pengaruhnya dapat diamati dan diukur (Kreith: 1997). Panas tersebut dapat menguntungkan dan dapat juga merugikan. Menurut Sudrajat (2015), “mesin konversi energi terus berkembang dengan adanya terobosan dan perubahan metode agar mesin tersebut tidak mengalami panas berlebih sehingga mencapai efisiensi tertinggi agar mesin pada kondisi temperatur yang optimal dan kerja mesin tersebut tidak terganggu karena panas yang berlebih (*over heating*)”. Menurut Wibisono (2005), “Sistem pendinginan mesin sangat berpengaruh terhadap kerja suatu mesin karena proses pendinginan adalah bagian dari proses efisiensi mesin bekerja itu sendiri”. Pendinginan yang dipakai umumnya menggunakan fluida cair dan dengan bantuan konveksi paksa udara yang dihembuskan oleh *fan* dengan kecepatan tertentu sehingga kalor dilepaskan ke lingkungan.

Salah satu alat penukar kalor yang menggunakan air dan udara sebagai fluida kerjanya ialah *cooling tower* (Mulyono: 2010). Alat ini pada umumnya diaplikasikan pada suatu pabrik yang menggunakan mesin yang menghasilkan panas besar serta membutuhkan pendinginan yang cepat salah satu contoh seperti pendinginan pembangkit tenaga listrik tenaga uap. Fungsi *cooling tower* adalah menurunkan panas dengan bantuan fluida kerja dan melepaskan ke lingkungan agar panas yang dihasilkan tidak berlebih dari mengambil sedikit bagian air yang berevaporasi.

Penelitian tentang *cooling tower* sudah banyak variasinya, dari revitalisasi *cooling tower*, perencanaan pembangunan *cooling tower*, variasi hembusan angin yang digunakan menggunakan *forced draft* atau *induced draft* (lawan arah atau sejajar) dan pengisi yang digunakan dengan tujuan untuk mengetahui efektifitas pendinginan *cooling tower* untuk mendinginkan suatu fluida. Karakteristik *cooling*

tower pada umumnya diukur dengan perbandingan antara data manual kisaran (*range*), pendekatan (*approach*), dan beban kalor (*cooling load*) (Sudrajat: 2015).

Penelitian Mulyono (2010) tentang analisa beban kalor menara pendingin basah *induced-draft* aliran lawan arah. 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 menara pendingin 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) tentang pengaruh variasi jarak flat filler horizontal terhadap unjuk kerja *cooling tower*. Hasil penelitian menghasilkan laju perpindahan kalor terkecil terjadi pada debit air panas 6 liter/menit menggunakan flat filler jarak 4 cm sebesar 2818,4837 watt dan semakin meningkat terus grafik laju perpindahan kalor pada debit 10 liter/menit dengan jarak flat filler 8 cm sebesar 9135,1837 watt.

Penelitian Hidayat (2014) meneliti tentang Analisis Beban Kalor *Cooling tower Induced Draft Counterflow* Dengan Bahan Pengisi Bambu Wulung. 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. Hasil penelitian menunjukkan semakin tinggi suhu awal dan tinggi *cooling tower* mengakibatkan naiknya beban kalor. Efektivitas pendinginan tertinggi terjadi pada variasi dengan suhu awal 40 °C, ketinggian 200 cm 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, ta1 70 °C, sebesar 41,54 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, ta1 70 °C, menggunakan fill sebesar 1,45 kJ/kg. °C, dan (L/G) terendah 0,5 kJ/kg. °C, terjadi pada variasi Ta1 40 °C.

Penelitian terdahulu meneliti tentang variasi tegangan kipas dengan pengisi bambu wulung, bambu pada pengisi *cooling tower* basah ini kurang efektif, karena bambu adalah bahan yang tidak tahan apabila terlalu lama dipakai dan terkena air yang lembab dan panas dikarenakan sifat bambu sifatnya adalah menyerap air dan menyebabkan rapuh dan mudah patah. Oleh sebab itu bahan pengisi pada *cooling tower* ini diganti dengan bahan *calciboard* yang memiliki sifat yang lebih baik yaitu tahan air, panas, tahan rayap. *Cooling tower fan forced draft counterflow* dengan bahan pengisi *calciboard* yang diberi variasi ketinggian pengisi dan debit air, merupakan modifikasi penelitian dari beberapa macam variasi *cooling tower* yang ada, diharapkan modifikasi ini dapat memaksimalkan kinerja *cooling tower* yang pernah dibuat untuk penelitian. Penggunaan bahan pengisi yang ramah lingkungan, mudah didapat dan tahan lama diharapkan dapat menjadi tolak ukur efisiensi yang diharapkan untuk proses pendinginan air dalam proses pendinginan mesin.

1.2 Rumusan Masalah

Penelitian ini akan melakukan analisa kinerja *cooling tower* dengan menambah variasi debit air dan ketinggian bahan pengisi untuk mempercepat pelepasan kalor agar lebih efektif untuk *cooling tower* yang ada. Penambahan aliran air dilakukan dengan cara mengatur katup atau kran pada pipa *cooling tower*. Adapun perumusannya:

- a. Bagaimana pengaruh variasi debit air pada pompa penggerak fluida pada *cooling tower* terhadap kinerja *cooling tower*.
- b. Bagaimana pengaruh variasi ketinggian pengisi *cooling tower* terhadap kinerja *cooling tower*.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

- a. Untuk mengetahui pengaruh variasi debit air pada motor penggerak terhadap kinerja yang terjadi pada *cooling tower*
- b. Untuk mengetahui pengaruh variasi ketinggian pengisi terhadap kinerja yang terjadi pada *cooling tower*.
- c. Untuk mengetahui efektivitas pendingin *cooling tower* dengan variasi yang ada.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

- a. Mengetahui kinerja *cooling tower* dengan variasi debit air pompa pada penggerak fluida masuk *cooling tower*.
- b. Mengetahui kinerja *cooling tower* dengan variasi ketinggian pengisi pada *cooling tower*.
- c. Mengetahui efektivitas Pendinginan air pada *cooling tower* dengan memvariasikan debit aliran air pompa dan variasi ketinggian pengisi *cooling tower*.
- d. Sebagai bahan pertimbangan bagi industri yang memanfaatkan instalasi *cooling tower*, dalam usaha meningkatkan efektivitas *cooling tower*.

1.5 Batasan Masalah

Terdapat beberapa faktor yang tidak terkontrol sehingga berpengaruh pada pengambilan data dan analisis. Untuk itu perlu diberikan batasan dan asumsi agar mempermudah menganalisis permasalahan di atas yaitu:

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

- d. Tidak menghitung kinerja alat ukur.
- e. Kondisi dalam sistem setelah penyalan diasumsikan *steady state*.
- f. Air yang di semprotkan nozzle ke cooling tower dikondisikan secara merata.
- g. Tegangan kipas 110 Volt.

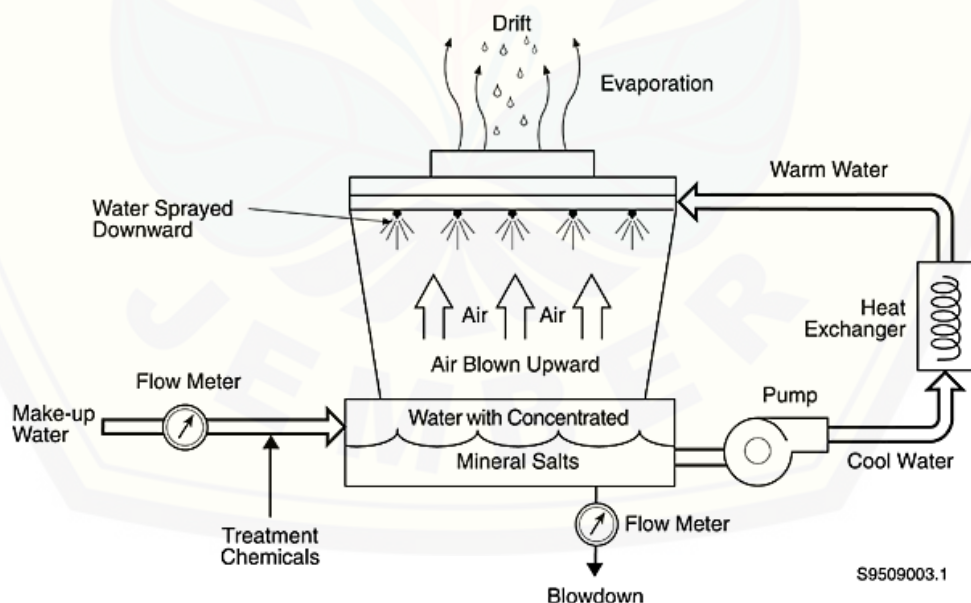
1.6 Hipotesis

Hipotesis awal pengujian adalah semakin tinggi pengisi cooling tower maka kontak air dan udara semakin lama menyebabkan proses konveksi paksa berlangsung optimal karena aliran udara yang panjang dihembuskan oleh kipas, sebaliknya semakin dekat ketinggian pengisi dan kipas maka udara pendinginan kurang optimal. Pengaturan kran pada pipa motor penggerak pompa air berpengaruh pada debit air yang masuk *cooling tower*, Semakin tinggi debit air per menit maka kapasitas pendinginan *cooling tower* semakin meningkat pula.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi *Cooling Tower*

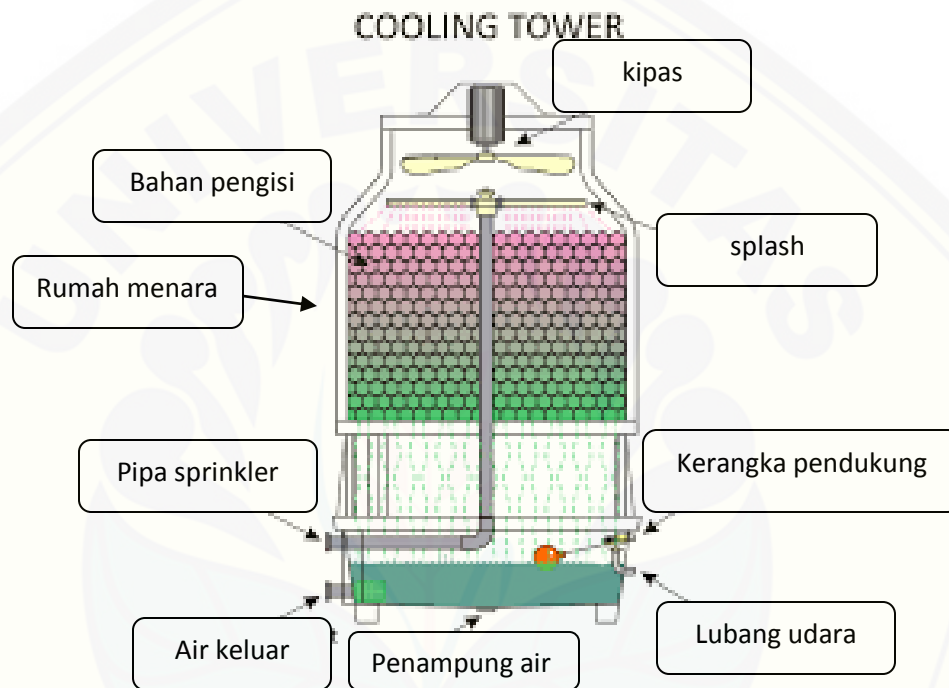
Cooling tower induced draft adalah peralatan pembuang kalor berdasarkan mekanisme pendinginan air dengan menggunakan udara yang berkontak secara langsung dan menguapkan sebagian air tersebut (Stoecker dan Jones, 2009). Sedangkan menurut (El-Wakil dan Jasjfi, 1992) *Cooling tower* merupakan alat penukar kalor dengan fluida kerja menggunakan air dan udara. Menara pendingin menggunakan penguapan dimana sebagian air diuapkan ke aliran udara yang bergerak dan kemudian dibuang ke atmosfer. Sebagai akibatnya, air yang tersisa didinginkan secara signifikan seperti dilihat pada Gambar 2.1. menara pendingin mampu menurunkan suhu air lebih dari peralatan-peralatan yang hanya menggunakan udara untuk membuang panas, seperti radiator dalam mobil, dan oleh karena itu biayanya lebih efektif dan efisien energinya.



Gambar 2.1. Diagram skematik sistem menara pendingin
(Sumber: Laboratorium Nasional Pacific Northwest, 2001)

2.2 Konstruksi dan Komponen *Cooling Tower*

Dari 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 *cooling tower* :



Gambar 2.2. Konstruksi menara pendingin.
(Sumber: Yulia, 2013)

1. Kerangka pendukung menara (*tower supporter*)

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

2. Rumah menara pendingin (*casing*)

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

3. Pipa *sprinkler*

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

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

4. Penampung air (*water basin*)

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

5. Lubang udara (*inlet louver*)

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

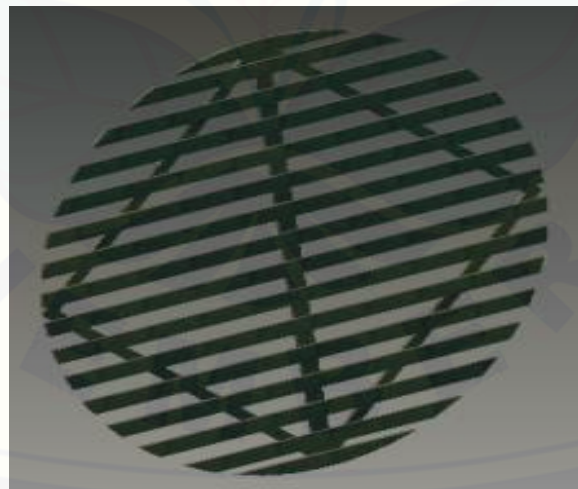
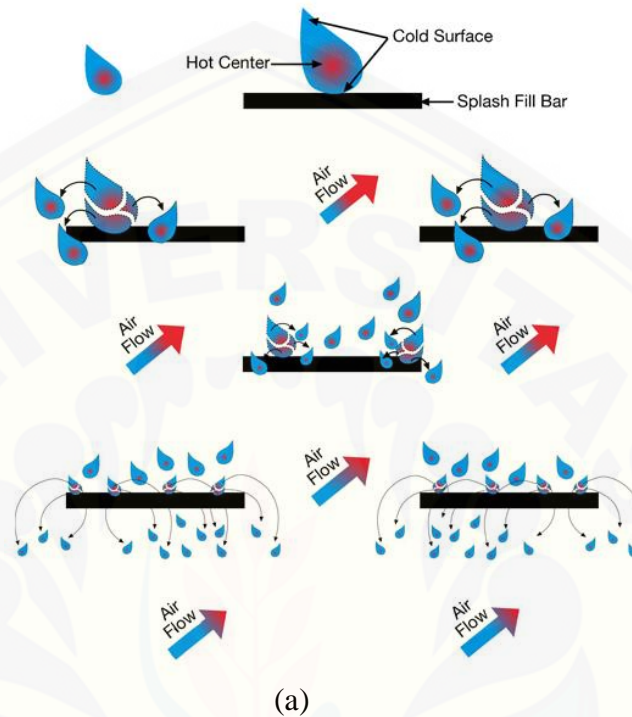
6. Bahan pengisi (*Filling material*).

Hampir seluruh menara menggunakan bahan pengisi (terbuat dari plastik atau kayu) untuk memfasilitasi perpindahan panas dengan memaksimalkan kontak udara dan air. bahan pengisi harus dapat menimbulkan kontak yang baik antara air dan udara agar terjadi laju perpindahan kalor yang baik. Bahan pengisi harus kuat, ringan dan tahan lapuk. Jenis bahan pengisi:

a. Bahan pengisi jenis percikan (*Splash fill*)

Air jatuh diatas lapisan yang berurut dari batang pemercik horisontal, secara terus menerus pecah menjadi tetesan yang lebih kecil. Bahan pengisi percikan dari plastik memberikan perpindahan kalor yang lebih baik dari pada

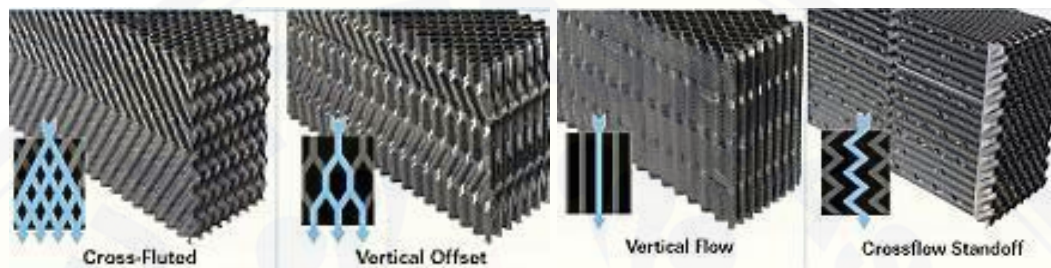
bahan pengisi percikan dari kayu. Gambar 2.3 dibawah ini adalah aliran percikan dan profil *splash fill*.



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.

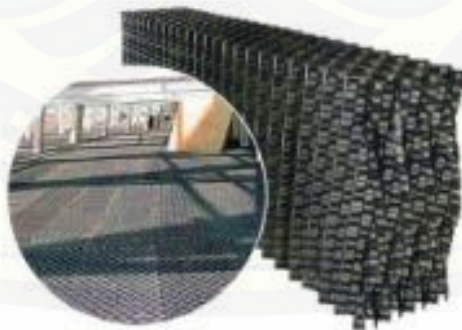


Gambar 2.4 *film fill* .

(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*

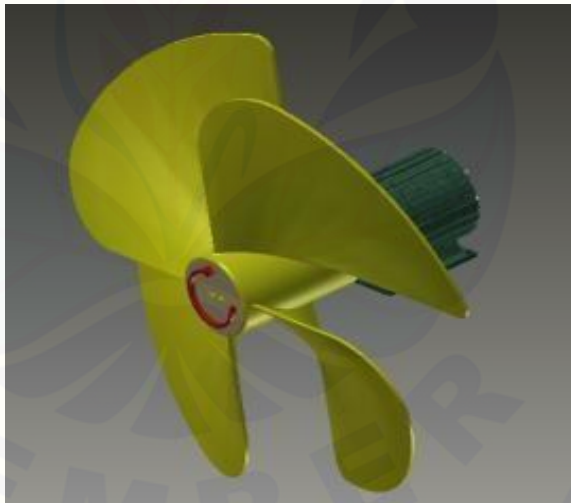
(Sumber: Spx cooling technologies, 2014)

7. Saluran udara masuk.

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

8. Kipas

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



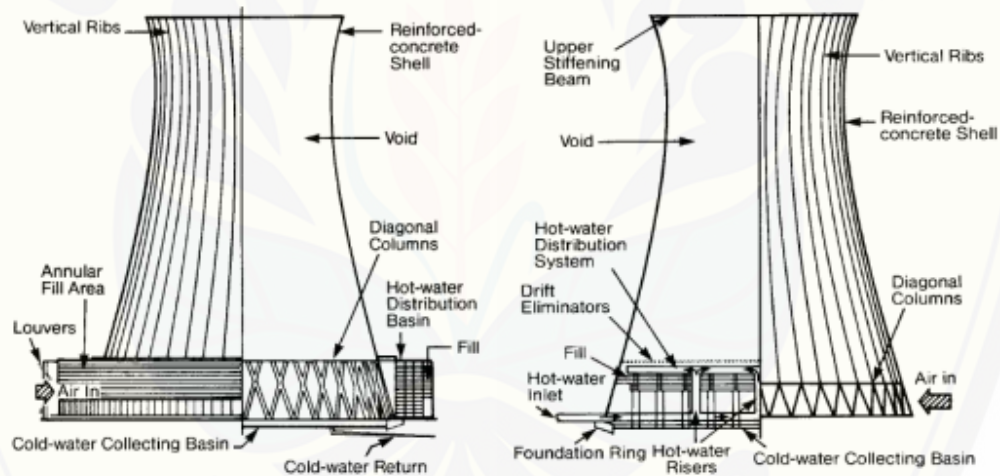
Gambar 2.6 kipas
(Sudrajat,2015)

2. 3 Jenis-Jenis Menara Pendingin

Menara pendingin secara garis besar dibagi menjadi dua, yaitu jenis *natural draft* dan jenis *mechanical draft*.

2.3.1 Menara Pendingin Jenis *Natural Draft*

Menara pendingin jenis *natural draft* menggunakan perbedaan suhu antara udara ambien dan udara yang lebih panas dibagian dalam menara. Begitu udara panas mengalir ke atas melalui menara, udara segar yang dingin mengalir ke menara melalui saluran udara masuk di bagian bawah. Pada menara pendingin tipe ini tidak diperlukan kipas dan hampir tidak ada sirkulasi udara panas yang dapat mempengaruhi kinerja. Kontruksi beton banyak digunakan untuk dinding menara dengan ketinggian hingga mencapai 200 m. Menara pendingin 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 Menara pendingin natural draft aliran melintang
(Sumber: Fulkerson & Associates, Inc.2012)

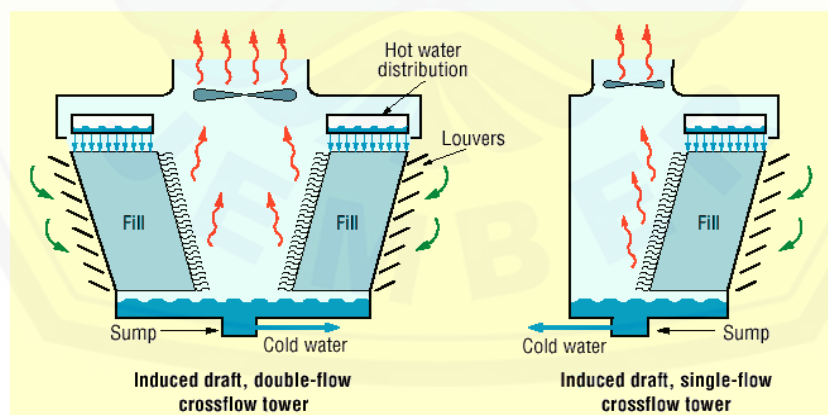
2.3.2 Menara Pendingin *Draft Mekanik*

Menara *draft* mekanik memiliki *fan* yang besar untuk mendorong atau mengalirkan udara melalui air yang disirkulasi. Air yang dijatuhkan diatas 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 menara *draft*

mekanis adalah diameter *fan* dan kecepatan operasi, bahan pengisi untuk tahanan sistim dan lain-lain. Menara tersedia dalam bentuk rakitan pabrik atau didirikan dilapangan. Banyaknya menara pendingin tergantung kapasitas yang dikehendaki. Aliran udara di menara pendingin basah terjadi dengan atau tanpa bantuan kipas (*fan*), arah aliran udara searah (*parallel flow*) atau aliran berlawanan arah (*counter flow*) dengan jatuhnya air. Ada tiga jenis menara draft mekanik yaitu jujut dorong (*forced draft*), aliran melintang jujut isap (*induced draft*), dan menara pendingin aliran berlawanan (*counter draft*).

a. *Induced draft cross flow cooling tower*

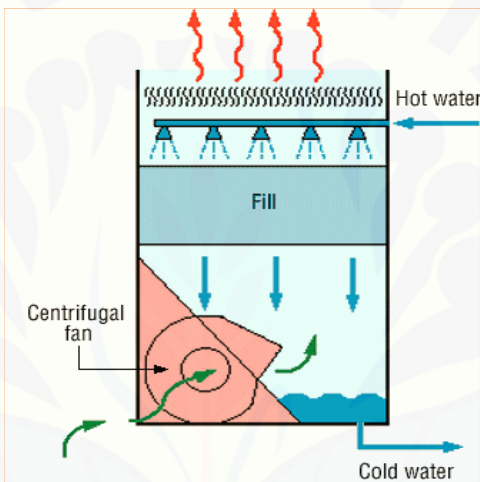
Pada tipe ini air masuk pada puncak dan melewati isian, udara masuk dari salah satu sisi (menara aliran tunggal), atau pada sisi berlawanan (menara aliran ganda) mengalirkan udara melintas isian menuju saluran keluar pada puncak seperti terlihat pada Gambar 2.8. Keuntungan dari tipe ini adalah lebih sedikit dari pada resirkulasi menara *forced draft* sebab kecepatan keluaranya udara 3 hingga 4 kali lebih tinggi dari pada 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 Menara Pendingin *induced draft cross flow cooling tower*
(Sumber : Pedoman Efisiensi Energi, 2006)

b. *Forced draft cooling tower*

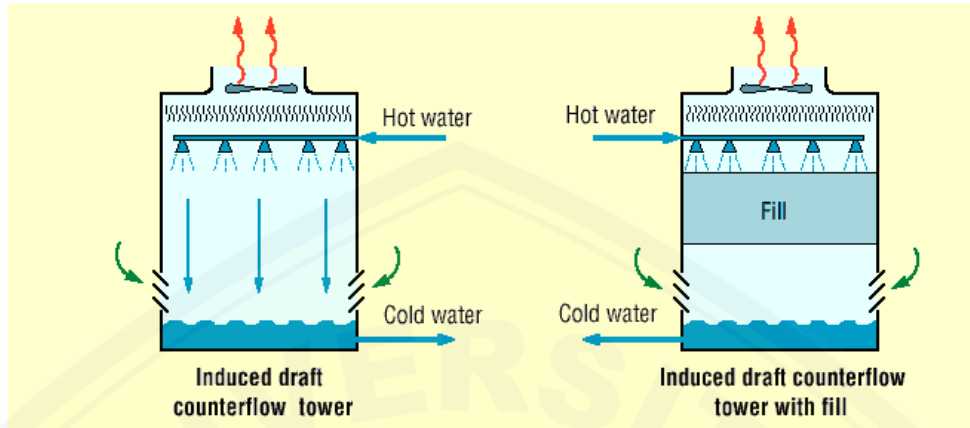
Pada jenis ini udara dihembus ke menara oleh *fan* di saluran udara masuk bagian bawah sehingga udara akan bertabrakan dengan air seperti yang ditunjukkan Gambar 2.9 . Keuntungan dari jenis ini adalah cocok untuk resistansi udara yang tinggi karena adanya *fan* dengan *blower* sentrifugal dan *fan* relatif tidak berisik. Kekurangannya adalah resirkulasi, laju udara masuk tinggi dan keluar rendah, solusinya dengan menempatkan menara di ruangan pabrik digabung dengan saluran buang.



Gambar 2.9 Menara Pendingin *forced draft*
(Sumber : Pedoman Efisiensi Energi, 2006)

a. Menara pendingin aliran berlawanan (*induced draft*)

Terlihat pada Gambar 2.10 air panas masuk pada puncak udara masuk dari bawah dan keluar pada puncak menggunakan *fan forced* dan *induced draft*. Keuntungan *induced draft* sama dengan *induced draft cross flow cooling tower* yaitu resirkulasi lebih sedikit menara sebab kecepatan keluaranya udara 3 hingga 4 kali lebih tinggi dari pada 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.

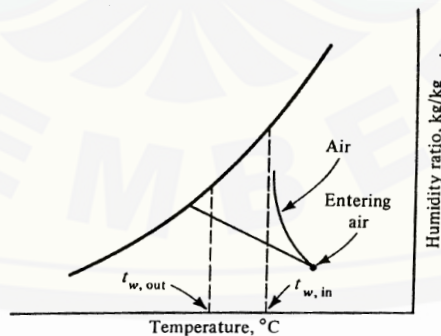


Gambar 2.10 Menara Pendingin *induced draft*
(Sumber : Pedoman Efisiensi Energi, 2006)

2.4 Fungsi dan Cara Kerja *Cooling Tower*

2.4.1 Fungsi *Cooling tower*

Cooling tower secara garis besar berfungsi untuk menyerap kalor dari air panas dan mengubah sejumlah air yang relatif dingin untuk dipergunakan kembali di suatu instalasi pendingin, dengan kata lain *cooling tower* berfungsi untuk menurunkan suhu aliran air dengan cara mengekstraksi panas dari air dan mengemisikannya ke atmosfer. Berikut adalah Gambar 2.11 Grafik lintasan udara pada menara pendingin aliran berlawanan.



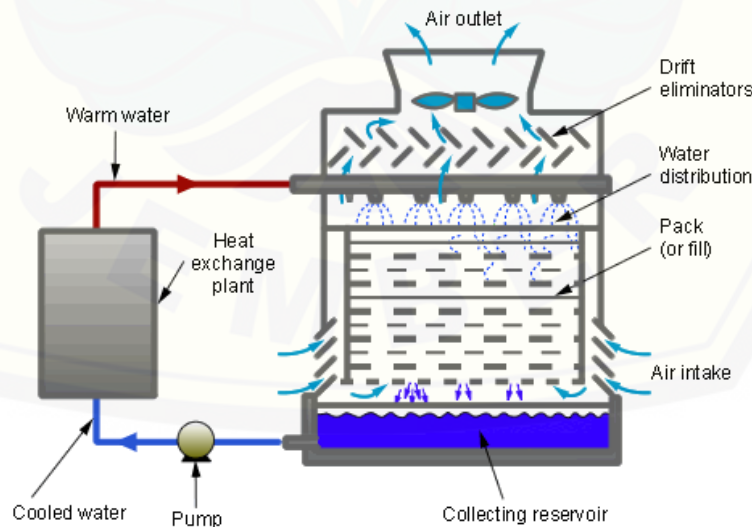
Gambar 2.11 Grafik lintasan udara pada menara pendingin aliran berlawanan.
(Sumber: Stoecker dan Jones, 2009)

Suatu laju perpindahan kalor *sensibel* didalam setiap bagian menara memungkinkan kita melakukan perhitungan suhu udara keluar, apabila suhu masuk diketahui.

2.4.2 Cara Kerja *Cooling tower*

Prinsip kerja *cooling tower* berdasarkan pada pelepasan kalor, perpindahan kalor berlangsung dari air ke udara. *cooling tower* menggunakan penguapan dimana sebagian air diuapkan ke aliran udara yang bergerak dan kemudian dibuang ke atmosfer. Prinsip kerja *cooling tower* dapat dilihat pada Gambar 2.12 Air dari bak dipompa menuju *heater* untuk dipanaskan dan dialirkan menuju *cooling tower*. Air panas yang keluar tersebut secara langsung melakukan kontak dengan udara sekitar yang bergerak secara paksa karena pengaruh kipas yang terpasang pada bagian atas menara pendingin, lalu mengalir jatuh ke bahan pengisi.

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



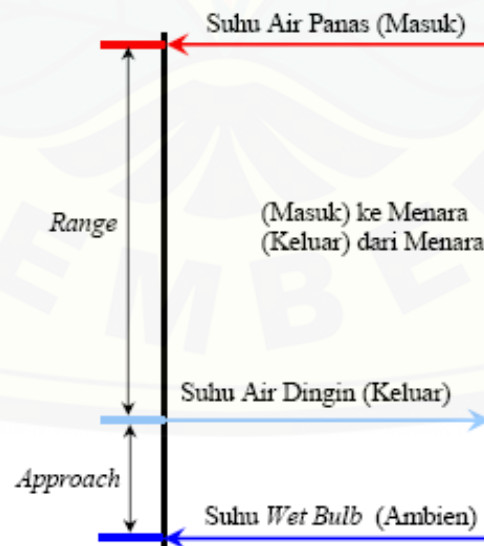
Gambar 2.12 Skema kerja *cooling tower*.
(Sumber: Chemical and Oil Refining, 2015)

2.5 Kinerja *Cooling Tower*

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

1. Temperatur udara *wet bulb*
2. Temperatur udara *dry bulb*
3. Temperatur air masuk menara pendingin
4. Temperatur air keluar menara pendingin
5. Temperatur udara keluar
6. Laju aliran air
7. Laju aliran udara.

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



Gambar 2.13. Grafik *Range* dan *approach* temperatur pada menara pendingin (Sumber: Pedoman Efisiensi Energi, 2006)

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

a) *Range*

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

$$\text{Range } (^{\circ}\text{C}) = [\text{suhu masuk } (^{\circ}\text{C}) - \text{suhu keluar } (^{\circ}\text{C})] \dots \dots \dots (2-1)$$

b) *Approach*

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

$$\text{Approach CT } (^{\circ}\text{C}) = [\text{suhu keluar } (^{\circ}\text{C}) - \text{suhu wet bulb } (^{\circ}\text{C})] \dots \dots \dots (2-2)$$

c) Efektivitas

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

$$\text{Efektivitas CT } (\%) = 100 \times \text{Range} / (\text{suhu masuk} - \text{suhu wet bulb}) \dots \dots \dots (2-3)$$

d) Kapasitas pendinginan

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

$$q = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \dots \dots \dots (2-4)$$

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

$$q_{sp} = \frac{q}{A_{tower}} \dots \dots \dots (2-5)$$

Dimana:

q_{sp} = kapasitas pendinginan spesifik (kJ/s.m²)

q = kapasitas pendinginan (kJ/s)

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

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

ΔT = perbedaan suhu air masuk dan suhu air keluar (K)

A_{tower} = luas penampang menara pendingin (m²)

e) Debit air spesifik

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

$$\dot{m}_{sp} = \dot{m}/A_{tower} \dots \dots \dots (2-6)$$

Dimana:

\dot{m}_{sp} = debit air spesifik (kg/s.m²)

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

A_{tower} = luas penampang menara pendingin (m²)

f) Rasio air dengan udara

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

$$\text{Rasio air - udara} = \frac{\text{Debit air spesifik (kg/s.m}^2\text{)}}{\text{Debit udara spesifik (kg/s.m}^2\text{)}} \dots \dots \dots (2-7)$$

g) Kehilangan penguapan

Merupakan jumlah air yang diuapkan untuk tugas pendinginan. Secara teoritis jumlah penguapan mencapai 1,8 m³ untuk setiap 10.000.000 kkal panas yang dibuang. Rumus berikut dapat digunakan Perry (1997):

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

Dimana:

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

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

$$\text{Laju penguapan air (}\ell/\text{menit)} = (\omega_{H2} - \omega_{H1}) \times \frac{V}{\rho \cdot v} \times 60 \dots \dots \dots (2-8)$$

Dimana:

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

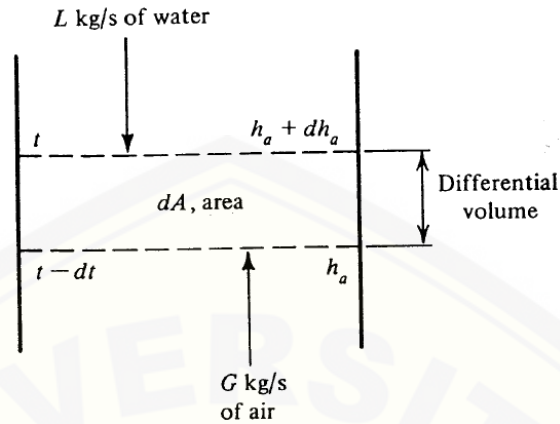
V = debit aliran udara (m^3/s)

ρ = densitas air = 0,99285 kg/ ℓ

v = volum spesifik udara ambien (m^3/kg).

2.6 Analisis Menara Pendingin Aliran Berlawanan

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



Gambar 2.14 Pertukaran energi menara pendingin berlawanan arah.
(Sumber: Stoecker dan Jones, 2009)

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

$$dq = G dh_a = L (4,19 \text{ kJ/ kg} \cdot \text{K}) dt \cdot kW \dots\dots\dots(2-9)$$

dari prinsip-prinsip tentang potensial entalpi. Maka persamaan lain untuk dq yaitu:

$$dq = \frac{hc dA}{C_{pm}} (h_i - h_a) \dots\dots\dots(2-10)$$

Dengan :

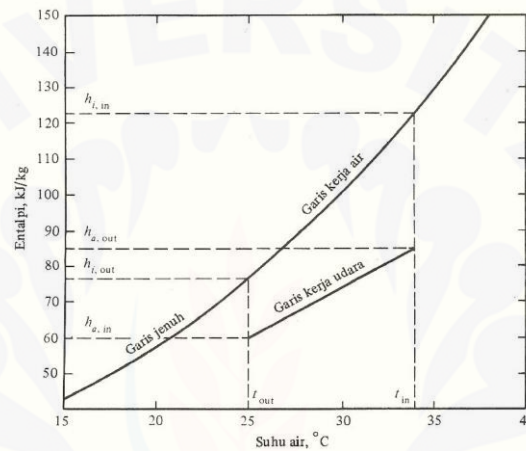
- hc = koefisien konveksi, kW/m² .K
- h_i = entalpi udara jenuh pada suhu air, kJ/(kg udara kering)
- h_a = entalpi udara, kJ/(kg udara kering)
- C_{pm} = kalor jenis udara lembab, kJ/kg .K..

Untuk mencari besarnya laju besarnya kalor yang dipindahkan oleh seluruh bagian menara pendingin, persamaan (2-10) harus diintegrasikan. Baik h_i maupun h_a berubah-ubah menurut *variable* integrasi A . dengan mengkombinasikan persamaan

(2-9) dan (2-10), menyusun kembali dan kemudian mengintegrasinya akan menghasilkan.

$$L \int_{t_{out}}^{t_{in}} \frac{dt}{h_i - h_a} = \int_0^A \frac{hc dA}{C_{pm}} = \frac{hcA}{C_{pm}} \dots\dots\dots(2-11)$$

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



Gambar 2.15 Diagram entalpi-suhu udara dan air.

(Sumber: Stoecker dan Jones, 2009)

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

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

$$\frac{hca}{c_{pm}} = 4,19 L \Delta t \sum \frac{1}{(h_i - h_a)_m} \dots\dots\dots(2-12)$$

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

2.7 Calciboard

Calciboard adalah material bangunan yang terbuat dari campuran semen, pasir silika dan serat selulosa. Kemudian bahan-bahan tersebut diproses sedemikian rupa, lalu dikeringkan dengan dengan memakai tekanan dan temperatur yang sangat tinggi atau proses *autoclave*. Hal inilah yang membuat material ini bersifat aman bagi kesehatan serta ramah lingkungan dan produk yang stabil dan tahan lama. Dengan materi penyusun tersebut membuat bahan ini tahan air dan tahan rayap, kemudahan lain adalah mudah ringkas dan cepat dalam pemasangan. Pada umumnya kalsiboard ini adalah papan pengganti gypsum, triplek, dan asbes. Keistimewaan kalsiboard sebagai material konstruksi antara lain:

- a. Tahan air atau cuaca
- b. Tahan rayap
- c. Tahan api
- d. Dimensi stabil karena mempunyai nilai susut muai sangat kecil, sehingga tidak retak karena perubahan suhu ekstrim
- e. Tahan benturan
- f. Variasi ketebalan 3-20 mm sehingga bisa diaplikasikan untuk plafon, partisi dinding bahkan lantai.

Konduktivitas termal kalsiboard sama dengan konduktivitas termal yang dimiliki papan semen atau asbestos yaitu 0,6 watt/ m.K.

Tabel 2.1 konduktivitas thermal bahan

BAHAN	K Watt/m.K
Perak (Silver) ,Ag	429
Tembaga (Copper),Cu	401
Alumunium Murni,Al	237
Rhodium ,Rh	150
Nikel ,Ni	19,7
Stainless Steel AISI 302	15,1
Concrete Block 20cm thick	1,1
Asbestos- Cement Board	0,6
Plywood	0.12
Aspal(asphalt)	0,062

(Sumber:Lienhard, 2004)

2.8 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 H₂O. 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 2.3 kalor jenis beberapa zat.

Tabel 2.2 kalor jenis zat.

Zat	kalor jenis ©	
	kal/g °C	J/kg.K
Air	1,00	4200
Air laut	0,93	3900
Alkohol	0,55	230
Minyak tanah	0,52	220
Raksa	0,033	140
Es	0,595	2500
Alumunium	0,214	900
Kaca	0,16	670
Besi	0,11	460
Tembaga	0,093	390
Kuningan	0,90	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.

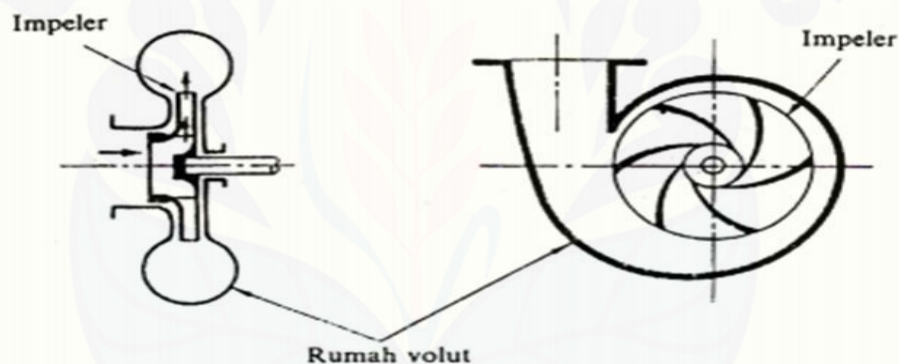
2.9 Definisi Pompa

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 di mana 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 2.16 (Sumber:Sularso&Tahara,2000)

2.10 Penelitian Terdahulu

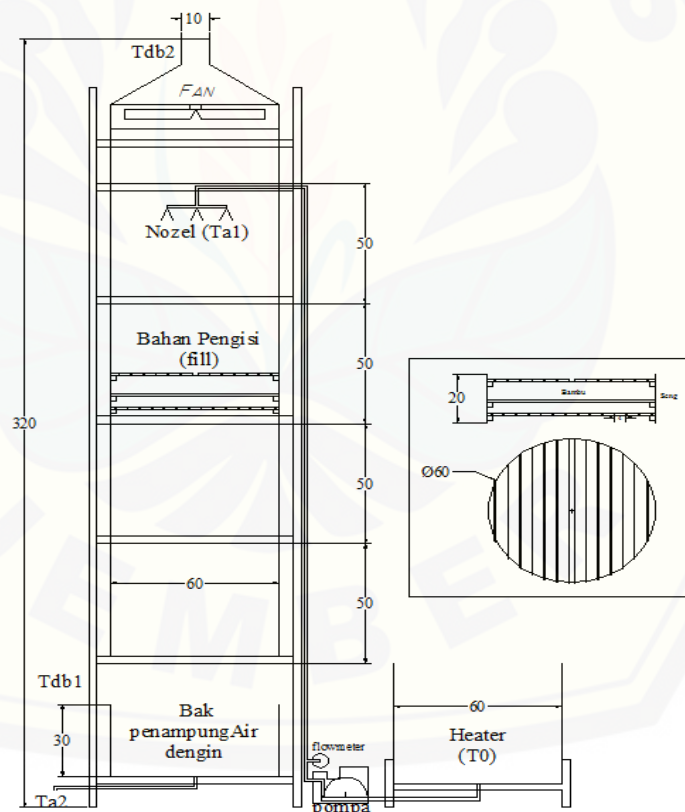
Penelitian Mulyono (2010) tentang analisa beban kalor menara pendingin basah *induced-draft* aliran lawan arah, Penelitian dilakukan dengan memasang termometer bola basah, termometer bola kering, anemometer, dan pengukur debit air di menara pendingin. Hasil pengujian dengan suhu lingkungan 27°C sampai 34°C menunjukkan bahwa efektivitas menara 31,6% s.d 57,1% dan rata-rata 45,1%; *cooling range* $3,0^{\circ}\text{C}$ sampai 6°C dan rata-rata $4,8^{\circ}\text{C}$. *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 (kgair/ kg udara). Berdasarkan rasio L/G menara ini bersesuaian dengan tipe menara pendingin 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 4cm yaitu 2818,4837 watt. Sedangkan pada debit yang sama dengan variasi jarak antar flat filler 6 cm mengalami peningkatan laju perpindahan kalor sebesar 3946,0782 watt dan 4248,9386 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 8cm yaitu sebesar 9135,1837 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 cm², dan penampang tabung dalam berdiameter 60cm. 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 100cm, 150cm, dan 200cm. Hasil penelitian menunjukkan semakin tinggi suhu awal dan tinggi *cooling tower* mengakibatkan naiknya beban kalor. Efektivitas pendinginan tertinggi terjadi pada variasi dengan suhu awal 40°C, ketinggian 200 cm

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, ta1 70°C , sebesar 41,54 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, ta1 70°C , menggunakan fill sebesar 1,45 kJ/kg. $^{\circ}\text{C}$, dan (L/G) terendah 0,5 kJ/kg. $^{\circ}\text{C}$, terjadi pada variasi ta1 40°C . Gambar 2.17 merupakan skema Rangkaian *Cooling tower induced draft counterflow* yang di buat oleh Hidayat (2014).



Gambar 2.17 Skema rangkaian *cooling tower induced draft counter flow* (Sumber: Hidayat, 2014)

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

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

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan dengan rencana kerja yang telah disusun. Penelitian ini dapat dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember pada bulan April 2016 sampai dengan Juni 2016.

3.3 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam proses penelitian meliputi:

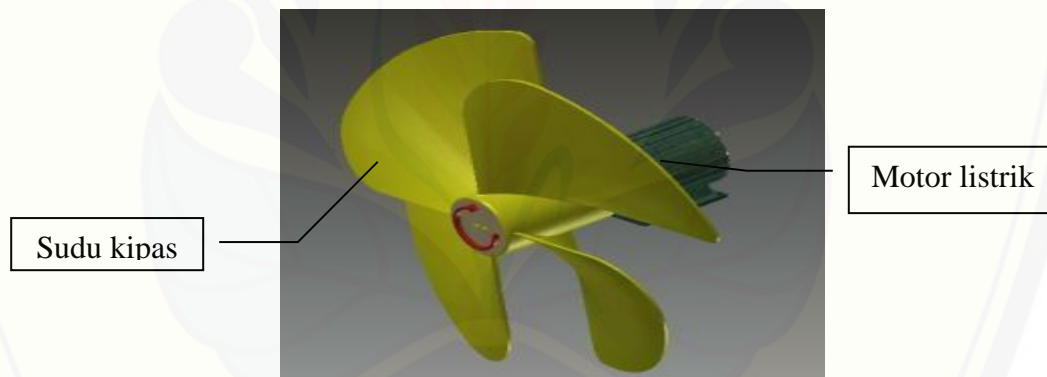
3.3.1 Alat dan instrumen penelitian

- a. Satu *unit cooling tower forced draft counterflow* dengan diameter 60 cm
- b. *Thermokopel*
- c. *Thermoreader*
- d. *Stopwatch.*
- e. *Flowmeter*
- f. *Voltmeter*
- g. Pompa air, dengan spesifikasi pompa dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut ini:

Tabel 3.1 spesifikasi pompa air.

Spesifikasi komponen	
Merk	Sanyo tipe, PW H137A
Daya pompa	125 Watt
Suction head	9 meter
Discharge head	9 meter
Total head	18 meter
Kapasitas	34 liter/ menit (maks)

h. Kipas



Gambar 3.1 Kipas

Tabel 3.2 spesifikasi kipas.

Spesifikasi komponen	
Merk	Sanyo tipe, PW H137A
Daya kipas	125 Watt
kipas	Kipas kondensor AC

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



Gambar 3.2 *Nozzle*

3.3.2 Bahan penelitian

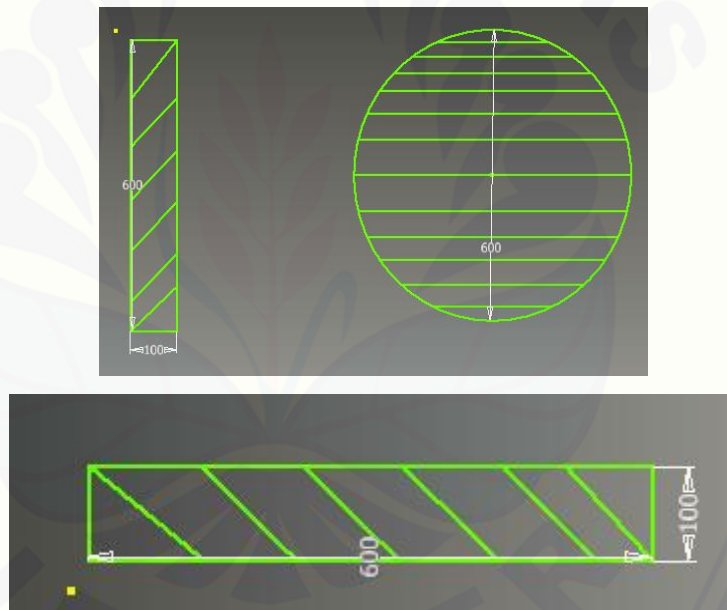
Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut:

- a. Papan kalsiboard sebagai bahan pengisi *cooling tower*.
- b. Air yang dipanaskan dalam wadah *heater* sebagai fluida kerja.
- c. Keran untuk mengatur debit aliran air pada *cooling tower*.

3.3.3 Spesifikasi *Cooling Tower*.

Spesifikasi *cooling tower* adalah sebagai berikut

1. Kerangka terbuat dari besi siku dengan ketinggian keseluruhan 3,2 m dan luas 0.7 m
2. Diameter *cooling tower* 60 cm
3. Bak penampung menggunakan drum oli berdiameter 60 cm dan tinggi 30cm.
4. Penutup menggunakan seng dengan tebal 0,2 cm.
5. Bahan pengisi menggunakan papan *calciboard* sebanyak 2 ditumpuk dan ditopang kayu, 1 rangkaian pengisi *calciboard* disusun miring dan memenuhi diameter *cooling tower* membentuk lingkaran, jarak susunan antar kalsiboard dengan miring 45° sebesar 5 cm dan tinggi 1 pengisi yaitu 10 cm., seperti Gambar 3.3 berikut:



Gambar 3.3 pengisi *calciboard*

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Persiapan alat pengujian

Persiapan alat pengujian dilakukan dengan merangkai ulang instalasi perpipaan sesuai kebutuhan, dalam hal ini alat pengujinya menggunakan *cooling tower* berbahan pengisi *calciboard* dan pemanas air (*heater*).

3.4.2 Pemeriksaan alat pengujian

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

3.4.3 Tahapan pengambilan data

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

1. Merangkai komponen-komponen *cooling tower*, bahan pengisi *calciboard*, dan *heater* dengan benar yaitu dengan menghubungkan pipa dari *heater* ke *cooling tower*, serta menaruh bahan pengisi *calciboard* di bawah *nozzle*. Pemasangan alat ukur suhu (*termokopel*) pada titik-titik yang telah ditentukan menggunakan terminal port pada 7 titik yang diamati, Yaitu pada Gambar 3.4:

T_0 : Suhu air *heater* (1)

T_{a1} : Suhu air masuk *Cooling Tower* (2)

T_{a2} : Suhu air keluar *Cooling Tower* (7)

T_{db1} : Suhu bola kering masuk *Cooling Tower* (3)

T_{bd2} : Suhu bola kering keluar *Cooling Tower* (5)

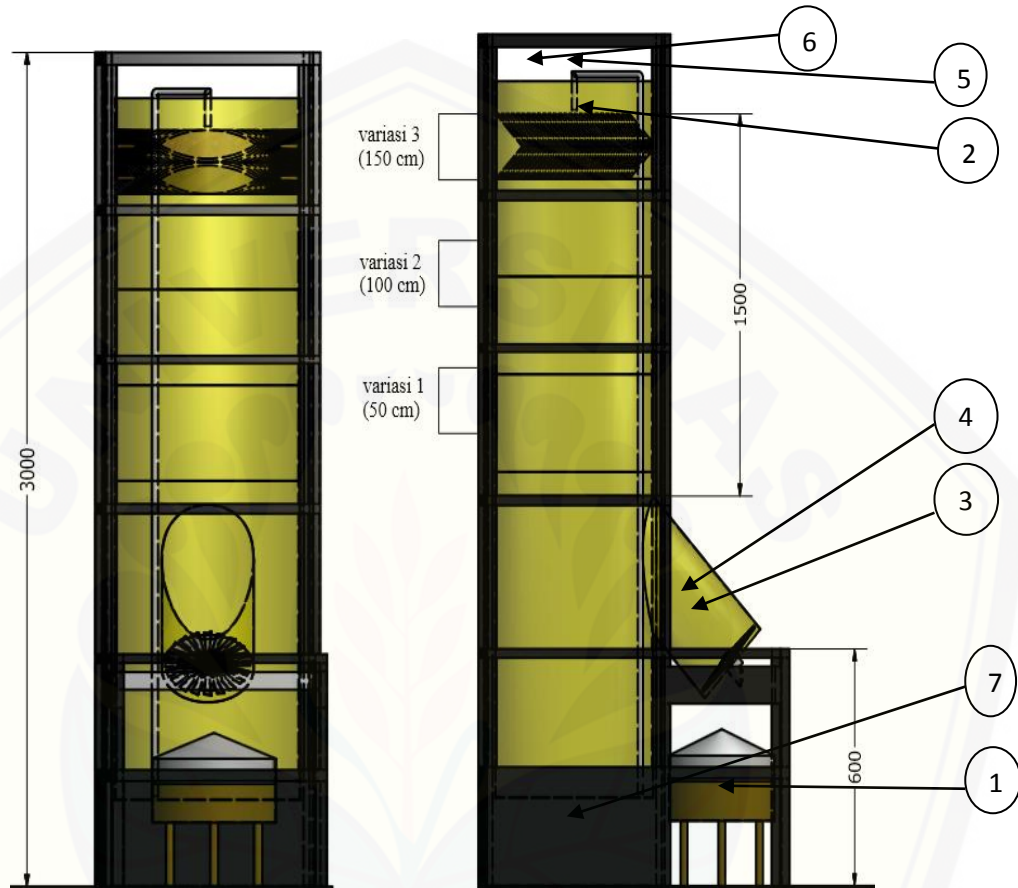
T_{wb1} : Suhu bola basah masuk *Cooling Tower* (4)

T_{wb2} : Suhu bola basah keluar *Cooling Tower* (6)

2. Panaskan air dalam *heater* dengan tingkat suhu sampai 50°C dan hidupkan kipas dengan tegangan 110 volt.
3. Hubungkan motor penggerak pompa *cooling tower* dengan tegangan listrik 220 Volt dan atur debit aliran air 6, 12 dan 18 liter per menit.
4. Selanjutnya menjalankan alat uji sampai sistem dan aliran air bersirkulasi dengan baik pada *cooling tower*.
5. Mencatat suhu yang ditunjukkan oleh pengukur suhu pada semua titik laju aliran pelepasan panas. Dengan variasi *cooling tower* yang sudah ditentukan.
6. Pengumpulan data.
7. Perhitungan data

3.5 Rangkaian *Cooling Tower Forced Draft Counterflow*.

Rangkaian alat yang digunakan pada penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.4 Skema Rangkaian *Cooling tower forced draft counter flow*.

3.6 Skema Aliran Air *Cooling tower*

Air dipanaskan pada bak tangki nomor 1 dengan kompor gas sampai suhu 50°C. Setelah itu dipompa dinaikkan keatas cooling tower melewati pipa disamping cooling tower setinggi 3 meter. Sampai diujung air tersebut di semprotkan oleh *nozzle* yang berada pada ujung pipa masuk cooling tower nomer 2, secara bersamaan udara cooling tower yang dihembuskan oleh kipas dari bawah *cooling tower*. Lalu air dari *nozzle* terkena gaya gravitasi kemudian turun mengenai pengisi maka terjadilah perpindahan panas konveksi dan kemudian turun kebawah ke tampungan tangki

nomer 7 atau bak pendingin, lalu di pompa lagi ke bak pemanas nomor 1. Begitu seterusnya proses sirkulasinya.

3.7 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.

3.6.1. Variabel Bebas

Variabel bebas yaitu variabel yang bebas ditentukan oleh peneliti sebelum melakukan penelitian. Variabel bebas pada percobaan ini adalah variasi debit fluida air 6, 12 dan 18 liter per menit dengan ditambahkan ketinggian filler pada cooling tower yaitu 50, 100 dan 150 cm dari lubang kipas, suhu air masuk 50°C.

3.6.2. Variabel Terikat

Variabel Terikat merupakan suatu variabel yang besarnya tidak dapat ditentukan sepenuhnya oleh peneliti, tetapi besarnya tergantung pada variabel bebasnya. Variabel terikat dalam penelitian ini meliputi laju aliran air dan suhu pada titik-titik yang dicari yaitu pada T_0 , T_{a1} , T_{a2} , T_{db1} , T_{db2} , T_{wb1} , dan T_{wb2} .

3.8 Analisa Kinerja *Cooling Tower*

a) *Range*

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

b) *Approach*

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

c) Efektivitas

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

d) Kapasitas pendinginan

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

Dimana:

q = kapasitas pendinginan (kJ/s)

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

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

ΔT = perbedaan suhu air masuk dan suhu air keluar (K)

e) Debit air spesifik

$$\dot{m}_{sp} = \dot{m}/A_{tower}$$

Dimana:

\dot{m}_{sp} = debit air spesifik (kg/s.m²)

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

A_{tower} = luas penampang menara pendingin (m²)

f) Rasio air dengan udara

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

g) Kehilangan penguapan

$$\text{Laju penguapan air (}\ell\text{/menit)} = (\omega_{H2} - \omega_{H1}) \times \frac{v}{\rho \cdot v} \times 60$$

Dimana:

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

Q_u = debit aliran udara (m³/s)

ρ = densitas air = 0,99285 kg/ ℓ

v = volum spesifik udara ambien (m³/kg).

h) Perbandingan Cair/Gas (L/G).

$$L/G = (h_2 - h_1) / (4.19 \cdot \Delta T)$$

Dimana:

L/G = Perbandingan aliran massa cair terhadap gas (kJ/Kg °C)

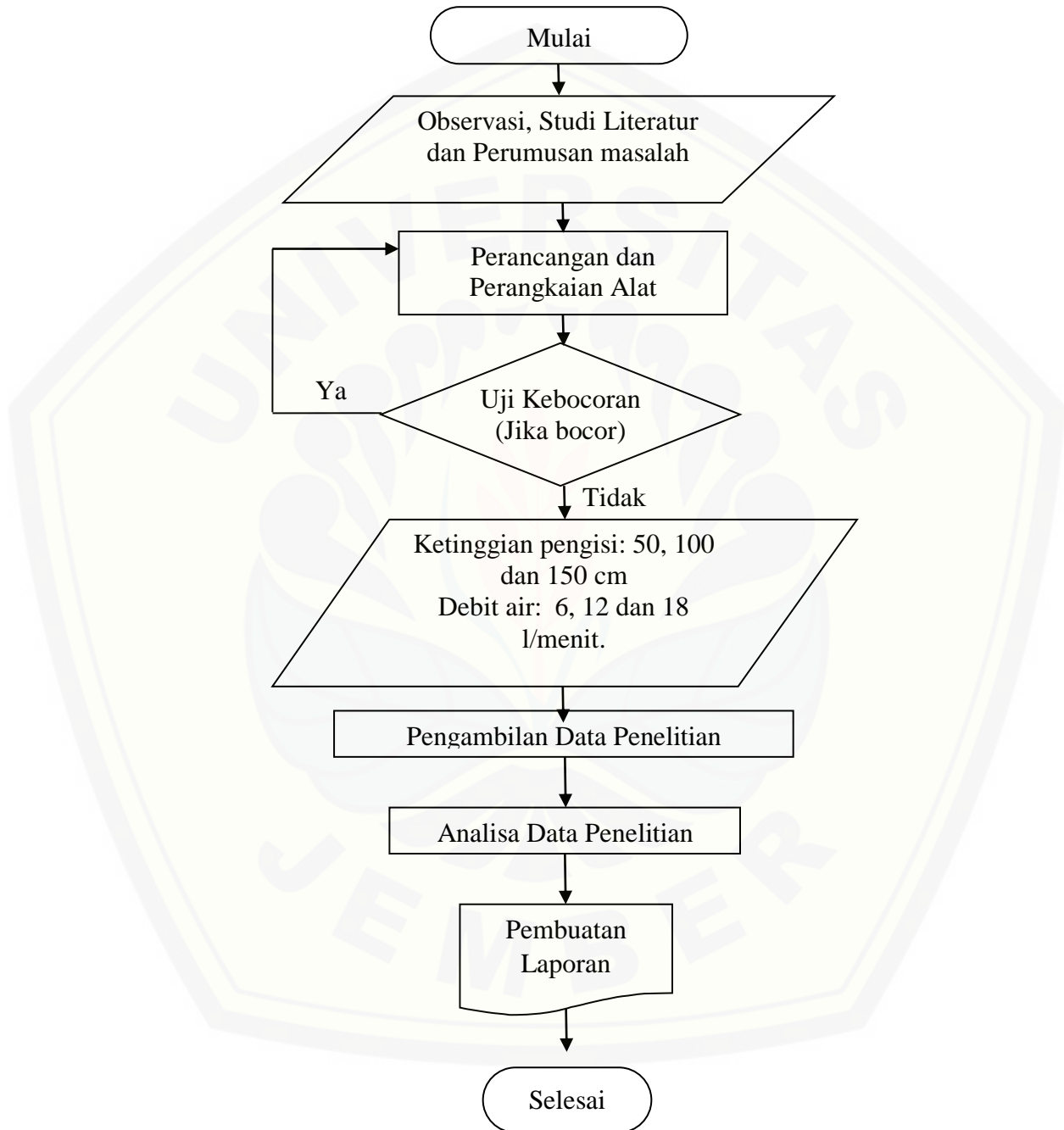
h_2 = Entalpi uap campuran udara-air pada suhu *wet-bulb* keluar (satunya sama dengan diatas)

h_1 = Entalpi uap campuran udara-air pada suhu *wet-bulb* masuk (satunya sama dengan diatas)

ΔT = *Range*

3.9 Diagram Alir

Adapun proses dan alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.6 dibawah ini.



Gambar 3.5 Diagram alir penelitian.

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

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

- a. Pengaruh variasi debit air pada pengaturan kran air mengakibatkan perubahan nilai *range*, *approach*, efektivitas pendinginan, kapasitas pendinginan, laju penguapan air dan perbandingan nilai L/G, untuk debit 6 l/menit dan 12 l/menit menunjukkan kinerja maksimal. Untuk debit 18 liter/menit pada perubahan kinerja yang disebutkan sebelumnya pada debit 6 dan 12 l/menit menunjukkan nilai rendah karena kecepatan aliran air yang cepat dan tidak diimbangi oleh kecepatan udara, sehingga pembuangan panas kurang optimal.
- b. Pengaruh variasi ketinggian pengisi dengan kecepatan udara tetap mempengaruhi kinerja dari kapasitas pendinginan *cooling tower*, debit spesifik, nilai rasio air dengan udara, laju penguapan air, dan perbandingan nilai L/G, untuk ketinggian 50 cm dan 100 cm ketinggian maksimal. Dan untuk ketinggian 150 cm pada perubahan kinerja yang disebutkan sebelumnya menunjukkan pengisi terlalu tinggi sehingga kecepatan udara dari bawah ke atas semakin berkurang dan udara yang mendinginkan air semakin sedikit sehingga mempengaruhi nilai efektivitas.
- c. Laju penguapan air terbesar terjadi pada variasi ketinggian pengisi 100 cm dan debit air 12 liter/menit menghasilkan laju penguapan sebesar 0,28 liter /menit. Peningkatan kecepatan aliran air berpengaruh pada debit air yang masuk pada *cooling tower* dan kapasitas pendinginan *cooling tower*. Pada saat debit 12 liter/menit adalah laju penguapan terbaik dan untuk penggunaan debit 18 liter/menit menunjukkan grafik penurunan karena melewati batas maksimum kinerja *cooling tower*.

5.2 Saran

Penelitian mengenai Analisis Variasi Debit Air dan Ketinggian Pengisi *Calciboard* Terhadap Efektivitas *Cooling Tower Forced Draft Counterflow* telah selesai dilaksanakan, maka disarankan beberapa hal sebagai berikut:

- a. Kajian ini masih terbatas pada analisa pengaruh kecepatan air yang mempengaruhi debit air yang masuk pada *cooling tower* pada setiap menit. Penelitian lanjutan diharapkan dapat memvariasikan komponen lebih banyak seperti variasi bahan pengisi, jarak antar bahan pengisi, profil bahan pengisi dan debit udara masuk *cooling tower*. Sehingga memperoleh unjuk kerja *cooling tower* yang semakin baik.
- b. Variasi dapat dilakukan pada *nozzle* yang digunakan pada *cooling tower*. Agar air yang masuk dapat terdistribusi merata pada seluruh bagian *cooling tower*. Variasi debit udara masuk dan bahan pengisi juga akan mempengaruhi kinerja dari *cooling tower*.
- c. Peningkatan kecepatan udara keluar dari *cooling tower* dan peningkatan suhu awal mengakibatkan laju penguapan air semakin besar. Perlunya *drift eliminators* untuk menangkap uap air agar tidak terbang ke atmosfer
- d. Penggunaan bahan pengisi sebaiknya dipilih yang ringan, fleksibel dan tahan lama jika dipakai dengan panas, konstruksi susunan harus lebih ringan dan simpel sehingga tidak menyulitkan untuk waktu pembuatan dan pemasangan ke dalam *cooling tower*.
- e. 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 *calciboard* sebagai bahan pengisi yang baik sejenis keramik.

DAFTAR PUSTAKA**BUKU**

- EL-Wakil, M.M., dan Jasjfi, E, 1992. *Instalasi Pembangkit Daya. Power Plant Technology*. Jakarta: Erlangga.
- Kreith Frank, 1997. *Prinsip-Prinsip Perpindahan Panas* . Terjemahan Oleh Arko Priyono. Jakarta: Erlangga
- Perry. 1997. *Perry's Chemical Engineers Handbook*. 7 ed. Mc. Graw Hill Book Company, Inc. New York.
- Stoecker, W. F., dan Jones, J. W. 2009. *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*. Terjemahan Oleh Supratman Hara. Jakarta: Erlangga
- Sularso,dan Tahara ,H., 2000 .*Pompa dan Kompresor*. Jakarta: PT Pradnya Paramita

JURNAL

- Balashanmugam P, Balasubramanian G, 2014. *Experimental Study On The Design Of a Cooling Tower For a Central Air-Conditioning Plant*, India : International Journal Of Engineering And Technical Research.
- Hidayat, T. A. 2014. *Analisis Beban Kalor Cooling tower Induced Draft Counterflow Dengan Bahan Pengisi Bambu Wulung*. Jember: Jurnal Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.
- Lintang, R., 2011. *Pengaruh Variasi Jarak Antar Flat Filler Horisontal Terhadap Unjuk Kerja Cooling Tower*, Malang : Jurnal Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
- Mulyono. 2010. *Analisa Beban Kalor Menara Pendingin Basah Induced-Draft Aliran Lawan Arah*. Semarang: Jurnal Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang.
- Ramkrishnan, R, Arumugam,R. 2013. *Experimental Study Of Cooling Tower Performance Using Ceramic Tile Packin*. India: Department of Mechanical Engineering, Annamalai University.

Sudrajat Rosid, M.M., 2015. *Analisis Variasi Tegangan Listrik Kipas Cooling Tower Induced Draft Counterflow Dengan Pengisi Bambu Wulung*. Jember: Jurnal Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Tawsif M, Kamrul I dan Salam B, 2013. *Experimental 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.

INTERNET

Beniz Endüstri, 2015, *Product LT156*. <http://www.benizparts.com/Details/en/1856> [17 Maret 2016]

Chemical and Oil Refining. 2015. *Cooling towers*. <https://nationalvetcontent.edu.au/alfresco/workspace/-cooling-towers.htm> [17 Maret 2016]

Elfi Yulia 2013. *Cooling tower*. <https://3lfiyulia.files.wordpress.com/2013/11/cooling-tower1.jpg> [25 Maret 2016]

EtexCompany. 2014. <http://www.kalsi.co.id/file/download/file/KALSIBOARD%20LING%203,5%20BROSUR%20V9-82.pdf> [28 Maret 2016]

Fulkerson & Associates, Inc. 2012. *SplashFill*. http://www.bobf.biz/Cooling%20Tower%20Improvements/SplashFill_web.jpg [25 Maret 2016]

Kristanta arif. 2012. *kalor*. <https://arifkristanta.files.wordpress.com/2012/10/kalor-jenis.png> [17 Maret 2016]

Pacific Northwest National Laboratory. 2001. *Photo Library*. www.cce.iastate.edu/courses/ce525/Cooling%20Towers.doc [25 Maret 2016]

Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia. 2006. *Peralatan Energi Listrik Menara Pendingin*. – www.energyefficiencyasia.org [25 Maret 2016]

SPX Cooling Technologies. 2014. *Counterflow Film Fill*. <http://spxcooling.com/images/DF254fill-480.jpg> [17 Maret 2016]

Tower Components, Inc. 2012. *Splash fills*. <http://www.towercomponentsinc.com/images/new/splash-fill-po.jpg> [25 Maret 2016]

LAMPIRAN 1. Tabel data hasil pengujian**A.1 KETINGGIAN PENGISI 50 cm dan DEBIT AIR 6 ltr/menit**

Waktu (s)	T0	Ta1	Ta2	Tdb1	Tdb2	Twb1	Twb2	Qa	vu
20	50	50.9	28.7	26.5	32.4	25.5	28.7	0.1	2.3
40	50	50.3	31.9	26.5	31.4	25.4	31	0.1	2.2
60	50	50	31	26.5	30.7	25.4	30.3	0.1	2.2
80	50	49	33.1	26.9	30	25.5	30	0.1	2.2
100	50	49.8	32.9	29.8	30	25.6	29.8	0.1	2.3
120	50	46.6	32.8	27.2	30	25.7	27	0.1	2.2
x	50	49.43	31.73	27.23	30.75	25.52	29.47	0.1	2.23

A.2 KETINGGIAN PENGISI 50 cm dan DEBIT AIR 12liter/menit

Waktu (s)	T0	Ta1	Ta2	Tdb1	Tdb2	Twb1	Twb2	Qa	vu
20	50	53.2	32.4	26.7	31.9	26.4	31	0.2	2.2
40	50	51	33.1	26.5	31.7	26.4	31	0.2	2.3
60	50	50.8	32.4	26.5	31.4	26.2	30.8	0.2	2.3
80	50	50.6	32.6	26.5	31	26	30.8	0.2	2.2
100	50	50.5	33.4	26.7	31	25.9	30.8	0.2	2.1
120	50	50.4	32.4	26.6	30.7	25.7	30.7	0.2	2.2
x	50	51.08	32.72	26.58	31.28	26.10	30.85	0.2	2.22

A.3 KETINGGIAN PENGISI 50 dan DEBIT 18 liter/menit

Waktu (s)	T0	Ta1	Ta2	Tdb1	Tdb2	Twb1	Twb2	Qa	vu
20	50	51.6	33.1	27.2	32.4	27	31.8	0.3	2.3
40	50	51.1	34	27.4	31.8	27.2	31.7	0.3	2.2
60	50	51	33.1	27.4	32	27.2	31.8	0.3	2.2
80	50	51.1	33.2	27.2	31.8	27	31.7	0.3	2.2
100	50	49.8	33.4	27.2	31.7	27.2	31.7	0.3	2.3
120	50	49.6	33.2	27.2	31.8	27.2	31.8	0.3	2.3
x	50	50.7	33.33	27.27	31.92	27.13	31.75	0.3	2.25

A.4 KETINGGIAN PENGISI 100 cm dan DEBIT 6 liter/menit

Waktu									
(s)	T0	Ta1	Ta2	Tdb1	Tdb2	Twb1	Twb2	Qa	vu
20	50	54.9	31.8	28.2	33.4	28	32.8	0.1	2.3
40	50	55	33.4	27.5	33.1	27.5	32.4	0.1	2.2
60	50	54.9	33.5	27.5	32.8	27.5	32.3	0.1	2.3
80	50	54.3	34	27.9	32.6	27.5	32.3	0.1	2.2
100	50	54.1	33.9	27.7	32.6	27.3	32.2	0.1	2.3
120	50	54.2	33.7	27.7	32.4	27.2	31.9	0.1	2.2
x	50	54.56	33.38	27.75	32.82	27.50	32.32	0.1	2.25

A.5 KETINGGIAN PENGISI 100 cm dan DEBIT 12 liter/menit

Waktu									
(s)	T0	Ta1	Ta2	Tdb1	Tdb2	Twb1	Twb2	Qa	vu
20	50	52.2	31.8	28.8	34	26.9	33.6	0.2	2.3
40	50	51.6	31.7	28.7	33.9	26.5	33.4	0.2	2.2
60	50	50.9	32.3	29.1	33.9	26.6	33.1	0.2	2.3
80	50	50.6	32.3	29.1	33.6	26.3	32.6	0.2	2.2
100	50	50.1	31.6	29.5	33.4	26.3	32.4	0.2	2.2
120	50	49.9	29.7	29.7	33.2	26.3	32.3	0.2	2.2
x	50	50.88	31.57	29.15	33.67	26.48	32.90	0.2	2.23

A.6 KETINGGIAN PENGISI 100 cm dan DEBIT 18 liter /menit

Waktu									
(s)	T0	Ta1	Ta2	Tdb1	Tdb2	Twb1	Twb2	Qa	vu
20	50	53.7	32.6	30.8	33.6	27.8	33.4	0.3	2.3
40	50	52.7	31.6	31	33.8	27.5	33.6	0.3	2.2
60	50	50.3	30.6	30.8	33.5	27.3	33.4	0.3	2.3
80	50	49.7	30.6	30.5	33.1	27.3	33	0.3	2.3
100	50	49.6	28.8	29.9	33.1	27.4	33.1	0.3	2.2
120	50	49.5	28.9	30	33.2	27.3	33	0.3	2.2
x	50	50.91	30.52	30.50	33.38	27.43	33.25	0.3	2.25

A.7 KETINGGIAN PENGISI 150 cm dan DEBIT 6 liter/menit

Waktu (s)	T0	Ta1	Ta2	Tdb1	Tdb2	Twb1	Twb2	Qa	vu
20	50	50.6	35.2	28.4	34.6	27.4	32.4	0.1	2.2
40	50	49.7	36.1	27.8	34.9	26.9	31.7	0.1	2.3
60	50	47.6	36.1	27.9	34.8	26.5	30.8	0.1	2.3
80	50	48.8	36.1	28	34.3	26.2	30.1	0.1	2.2
100	50	49.2	36	28.7	34.2	26.4	30	0.1	2.1
120	50	49	35.7	28.8	34.1	26.4	29.8	0.1	2.1
x	50	49.15	35.87	28.27	34.48	26.63	30.80	0.1	2.20

A.8 KETINGGIAN 150 cm dan DEBIT 12 liter/menit

Waktu (s)	T0	Ta1	Ta2	Tdb1	Tdb2	Twb1	Twb2	Qa	vu
20	50	51.1	36.1	27.6	34.5	27.4	31.8	0.2	2.2
40	50	49.5	36.1	27.6	34.9	27.1	31.2	0.2	2.2
60	50	49	36	28	34	27	30	0.2	2.2
80	50	49.6	37.3	28.5	34	27.5	30.6	0.2	2.3
100	50	48	37	28.6	34	26.6	30.1	0.2	2.3
120	50	50	36.2	29.2	33.9	26.6	30.5	0.2	2.2
x	50	49.53	36.45	28.25	34.22	27.03	30.70	0.2	2.23

A.9 KETINGGIAN PENGISI 150 cm dan DEBIT 18 liter /menit

Waktu (s)	T0	Ta1	Ta2	Tdb1	Tdb2	Twb1	Twb2	Qa	vu
20	50	50.5	35.9	27.6	34.7	27.6	31.8	0.3	2.2
40	50	50.5	37	27.9	35.5	27.2	31.3	0.3	2.3
60	50	49.8	36.5	28.6	35.5	26.9	31.3	0.3	2.2
80	50	50.4	36.4	29.2	35.2	26.7	31.1	0.3	2.3
100	50	50.6	36.3	29.6	34.3	26.5	31	0.3	2.3
120	50	50.5	36.8	29.5	34.9	26.2	31	0.3	2.3
x	50	50.38	36.48	28.73	35.02	26.85	31.25	0.3	2.27

Ket:

- T0 : Suhu air heater
- Ta1 : Suhu air masuk cooling tower
- Ta2 : Suhu air keluar cooling tower
- Tdb1 : Suhu bola kering masuk cooling tower
- Tdb2 : Suhu bola kering keluar cooling tower
- Twb1 : Suhu bola basah masuk cooling tower
- Twb2 : Suhu bola basah keluar cooling tower
- Qa : Debit air
- vu : kecepatan udara
- X : nilai rata-rata dari semua data

LAMPIRAN 2. Nilai rata-rata. Qair, Volume spesifik, Rasio Kelembaban, Entalpi

ketinggian pengisi	debit		volume spesifik V1	Rasio kelembaban		Enthalpi	
	air Qa	debit udara Qu		WH1	WH2	h1	h2
50 cm	6	0.473	0.889	0.02	0.026	79.12	97.81
	6	0.47	0.889	0.022	0.029	81.72	105.19
	6	0.477	0.894	0.023	0.031	86.41	110.25
100 cm	12	0.477	0.896	0.024	0.031	88.14	113.51
	12	0.475	0.896	0.021	0.032	83.31	116.97
	12	0.477	0.902	0.022	0.033	87.67	119.13
150 cm	18	0.466	0.895	0.022	0.027	84.04	104.19
	18	0.473	0.896	0.023	0.027	85.9	104.20
	18	0.48	0.896	0.022	0.028	85.04	107.22

Ket:

T_0 : Suhu air heater

Q_u : Debit udara

V_1 : Volume spesifik

Wh_1 : rasio kelembaban udara masuk cooling tower

Wh_2 : rasio kelembaban udara keluar cooling tower

$.h_1$: entalpi udara masuk cooling tower

$.h_2$: entalpi udara keluar cooling tower

LAMPIRAN 3.PERHITUNGAN.

Data cooling tower:

Debit air variasi : 12 liter/menit

Ketinggian pengisi variasi ; 100 cm

Diameter : 60 cm

Densitas air (ρ) : 0,9929 kg/l

Kalor jenis air (C_p) : 4200 J/kg.K

Mencari nilai:

$$\begin{aligned} \text{a). Range} &= \text{temperatur air masuk} - \text{temperature air keluar} \\ &= T_{a1} - T_{a2} \\ &= 50,88 \text{ }^\circ\text{C} - 31,56 \text{ }^\circ\text{C} \\ &= 19,32 \text{ }^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b). Approach} &= \text{temperatur air keluar} - \text{suhu bola basah} \\ &= T_{a2} - T_{wb1} \\ &= 31,56 \text{ }^\circ\text{C} - 26,48 \text{ }^\circ\text{C} \\ &= 5,08 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

c). Efektifitas pendinginan (%) = $100 \times (Range)/(T_{a1} - T_{wb1})$

$$= 100 (19,32 \text{ }^{\circ}\text{C}) / (50,88 \text{ }^{\circ}\text{C} - 26,48 \text{ }^{\circ}\text{C})$$

$$= 79,18 \%$$

d). Kapasitas pendinginan (kJ/s)

$$= \dot{m} \times C_p \times \Delta T$$

$$= 12 \times 1000 / (60 \times 1000) \text{ kg/s} \times 4,2 \text{ kJ/kg.K} \times 19,32 \text{ K}$$

$$= 16,23 \text{ kJ/s.}$$

e). Debit air spesifik \dot{m}_{sp} (kg/s.m²).

$$= \dot{m} : A_{\text{tower}}$$

$$= 0,2 / (3,14 \times 0,3 \times 0,3)$$

$$= 0,70 \text{ kg/s.m}^2$$

f). Rasio A/U = $\dot{m}_{sp} : \dot{m}_u$

$$= 0,70 : 2,42$$

$$= 0,28$$

g). Kehilangan Penguapan (L/min)

$$= (\omega_{H2} - \omega_{H1}) \times \frac{V}{\rho \cdot v} \times 60$$

$$= (0,032 - 0,021) \times (0,162 / (0,9929 \times 0,896)) \times 60$$

$$= 0,120 \text{ l/min.}$$

h). Perbandingan aliran massa cair / gas (L/G)

$$= (h_2 - h_1) / (4,19 \times \text{range})$$

$$= (116,97 - 83,39) / (4,19 \times 19,32 \text{ }^{\circ}\text{C.})$$

$$= 0,41 \text{ kJ/kg. }^{\circ}\text{C.}$$

LAMPIRAN 4. Hasil Semua Perhitungan Rata-rata

Ketinggian Pengisi	Debit air (l/menit)	T0 (°C)	ΔT (°C)	A (°C)	EP (%)	q (KJ/s)
50 cm	6	50	17.7	6.216	74.00	7.43
	12	50	18.366	6.616	73.51	15.42
	18	50	17.366	6.2	73.69	21.88
100	6	50	21.183	5.883	78.26	8.89
	12	50	19.316	5.083	79.16	16.22
	18	50	20.4	3.083	86.87	25.70
150	6	50	13.283	9.233	58.99	5.57
	12	50	13.083	9.416	58.14	10.99
	18	50	13.9	9.633	59.06	17.51

Ketinggian Pengisi	Debit air (l/menit)	T0 (°C)	\dot{m}_{sp} Kg/s.m ²	\dot{m}_u Kg/s.m ²	R A/U	LPA L/menit	L/G KJ/Kg °C
50 cm	6	50	0.34	2.41	0.14	0.06	0.25
	12	50	0.69	2.40	0.29	0.07	0.30
	18	50	1.04	2.43	0.43	0.08	0.32
100	6	50	0.34	2.43	0.14	0.07	0.28
	12	50	0.69	2.41	0.28	0.12	0.41
	18	50	1.04	2.43	0.43	0.12	0.36
150	6	50	0.34	2.38	0.14	0.05	0.36
	12	50	0.69	2.41	0.28	0.04	0.33
	18	50	1.04	2.45	0.42	0.06	0.38

Ket: ΔT = Range
A = Approach
EP = Efektivitas pendinginan
q = Beban kalor
 \dot{m}_{sp} = debit air spesifik
 \dot{m}_u = debit udara spesifik

R a/u = rasio air/udara
LPA = laju penguapan air
(L/G) = perbandingan liquid/gas

LAMPIRAN 5. Gambar Pengujian



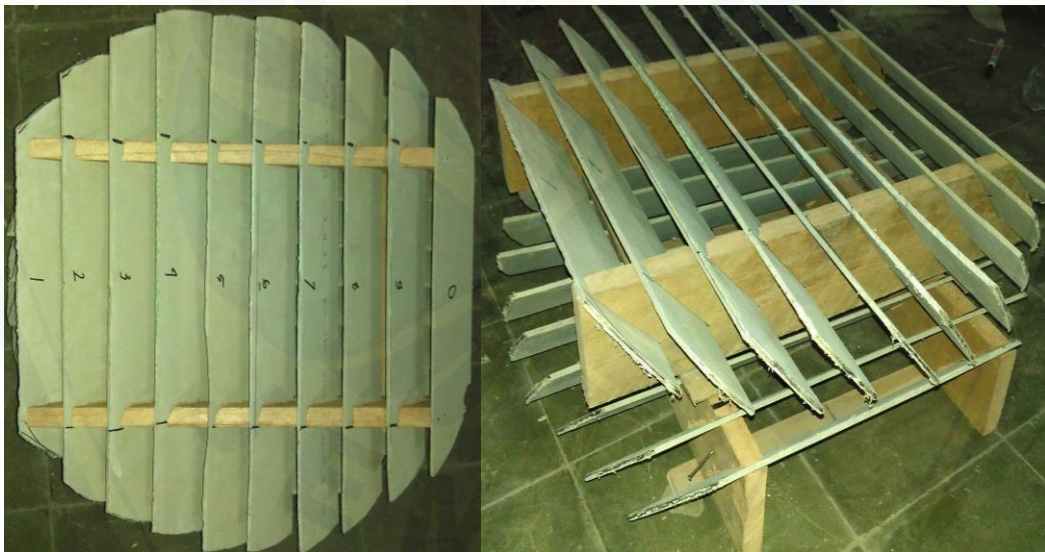
Gambar alat pembaca suhu *cooling tower*

CH	VALUE	ALARM	LO
1	+ 52.6 °C	*	Ma
2	+ 52.0 °C	*	*
3	+ 27.5 °C	*	*
4	+ 26.7 °C	*	*
5	+ 31.6 °C	*	*
6	+ 30.0 °C	*	*
7	+ 31.3 °C	*	*
8	BURNOUT	+30	
9	BURNOUT	+30	
0	BURNOUT	+30	
LS			

Gambar pengambilan data



Gambar variasi debit



Gambar susunan pengisi calciboard



Gambar Kipas cooling tower



Gambar pemanasan air



Gambar Cooling Tower