



**ANALISIS VARIASI KECEPATAN FLUIDA DAN JARAK PENGISI
SERAT IJUK PADA *COOLING TOWER FORCED DRAFT
COUNTERFLOW***

SKRIPSI

Oleh

**Agus Sobirin
NIM 121910101023**

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



**ANALISIS VARIASI KECEPATAN FLUIDA DAN JARAK PENGISI
SERAT IJUK PADA *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

Agus Sobirin
NIM 121910101023

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

PERSEMBAHAN

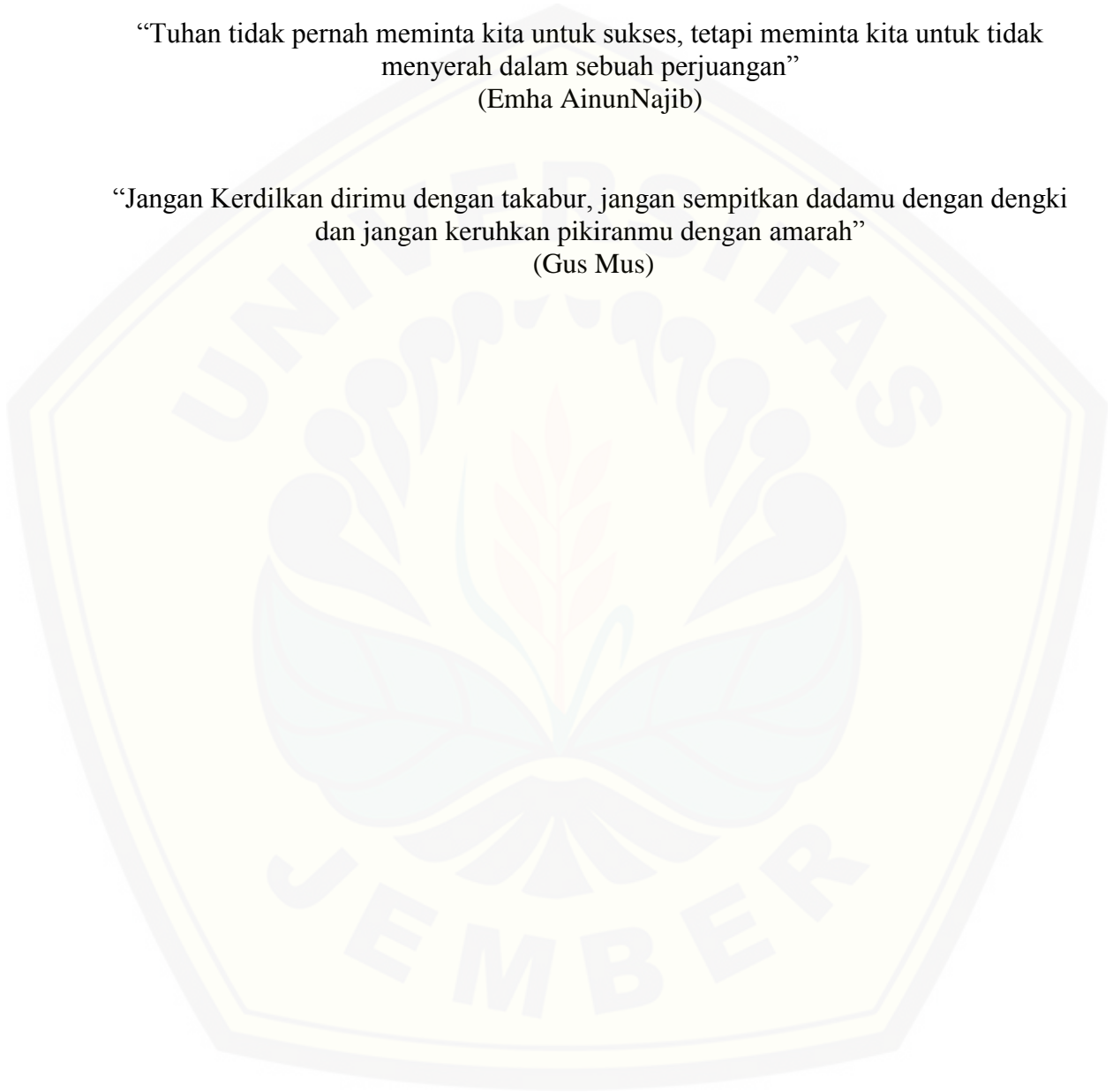
Dengan mengucap puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa dengan kerendahan hati skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Ayahanda tercinta Bapak Mu'alip yang tidak pernah lelah memberikan do'a, motivasi, mendidik dan pengorbanan tiada tara, juga kasih sayang tulus yang tidak pernah putus.
2. Almarhumah Ibu saya Hartini semoga amal ibadah beliau diterima disisi Allah SWT.
3. Seluruh seluarga besarku yang selalu memberikan dukungan serta dorongan semangat.
4. Dosen-dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang tidak pernah lelah mendidik serta memberikan ilmunya, semoga menjadi ilmu yang bermanfaat dan barokah. Bapak Ir. Ahmad Syuhri, M.T. selaku dosen pembimbing utama, Bapak Ir. Digdo Listyadi S., Msc. selaku dosen pembimbing anggota yang selalu memberikan arahan dan sarannya yang sangat membantu proses terselesainya skripsi ini. Bapak Santoso Mulyadi, S.T., M.T. selaku dosen penguji utama dan Bapak Ahmad Adib Rosyadi, S.T., M.T. selaku dosen penguji anggota yang telah memberikan saran dan pertimbangannya menuju kearah yang benar dalam penyelesaian skripsi ini.
5. Guru-guru SD, SMP ataupun SMK yang selalu memberikan ilmunya, bimbingan serta arahan sehingga saya bisa melanjutkan ke jenjang perguruan tinggi.
6. Teman-teman seperjuangan dari SD, SMP, SMK yang selalu memberikan dukungan.
7. Dulur-dulur seperjuangan Teknik Mesin Angkatan 2012 saya ucapkan terimakasih atas dukungan, kekompakan dan bantuannya selama ini. Salam Solidarity Forever.
8. Serta semua civitas akademik baik dilingkungan UNEJ maupun seluruh instansi pendidikan, perusahaan dan lembaga terkait.

MOTTO

“Tuhan tidak pernah meminta kita untuk sukses, tetapi meminta kita untuk tidak menyerah dalam sebuah perjuangan”
(Emha Ainun Najib)

“Jangan Kerdilkan dirimu dengan takabur, jangan sempitkan dadamu dengan dengki dan jangan keruhkan pikiranmu dengan amarah”
(Gus Mus)



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Agus Sobirin

NIM : 121910101023

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “ANALISIS VARIASI KECEPATAN FLUIDAN DAN JARAK PENGISI SERAT IJUK PADA *COOLING TOWER FORCED DRAFT COUNTERFLOW*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, 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, 28 Oktober 2016

Yang menyatakan,

(Agus Sobirin)

NIM 121910101023

SKRIPSI

**Analisis Variasi Kecepatan Fluida dan Jarak Pengisi Serat Ijuk pada
*Cooling Tower Forced Draft Counterflow***

Oleh

Agus Sobirin

NIM 121910101023

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama : Ir. Ahmad Syuhri, M.T.

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

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Analisis Variasi Kecepatan Fluida dan Jarak Pengisi Serat Ijuk pada *Cooling Tower Forced Draft Counterflow*” yang telah diuji dan disahkan pada:

Hari, Tanggal : 28 Oktober 2016

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

DPU,

DPA,

Ir. Ahmad Syuhri, M.T.
NIP.196701231997021001

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

Penguji I,

Penguji II,

Santoso Mulyadi, S.T., M.T.
NIP. 197002281997021001

Ahmad Adib R., S.T., M.T.
NIP. 198501172012121001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

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

RINGKASAN

Analisis Variasi Kecepatan Fluida dan Jarak Pengisi Serat Ijuk Terhadap Efektivitas *Cooling Tower Forced Draft Counterflow*; Agus sobirin, 121910101023; 2016; 77 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Kecepatan fluida air merupakan salah satu yang berpengaruh terhadap kinerja cooling tower. Jarak antar bahan pengisi juga salah satu yang dapat berpengaruh terhadap kinerja sebuah cooling tower. Kombinasi antara kedua variasi tersebut diharapkan dapat meningkatkan kemampuan sebuah cooling tower dalam membuang panas ke atmosfer dan meningkatkan kinerja cooling tower. Peningkatan kecepatan fluida air yang masuk dilakukan dengan mengatur buka tutup kran yang sudah dihitung sebelumnya, sehingga kecepatan fluida air yang masuk dapat diketahui. Bahan pengisi yang berfungsi untuk memfasilitasi perpindahan panas dengan memaksimalkan kontak antara air dan udara. Bahan pengisi yang digunakan yaitu serat ijuk diharapkan dapat memaksimalkan perpindahan panas air dengan udara.

Penelitian ini difokuskan tentang kinerja *cooling tower* dengan variasi penambahan kecepatan fluida air dan penambahan jarak antar bahan pengisi. Variasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah kecepatan fluida air 1,14 m/s, 1,29 m/s, dan 1,55 m/s. Variasi jarak pengisi 20 cm, 30 cm, dan 40 cm.

Dari hasil penelitian menunjukkan, kinerja *cooling tower* pada kecepatan fluida 1,29 m/s dan variasi jarak pengisi 40 cm mempunyai nilai efektivitas pendinginan sebesar 84,40%. Semakin tinggi jarak pengisi maka efektivitas pendinginannya semakin naik. Penambahan kecepatan fluida air semakin tinggi mengakibatkan kenaikan kapasitas pendinginan semakin tinggi. Kapasitas pendinginan tertinggi terjadi pada variasi kecepatan 1,29 m/s sebesar 13,81 kJ/s dengan jarak pengisi 40 cm.

SUMMARY

Analysis of Variations In Fluid Velocity and Distance Palm Fiber Filler In The Cooling Tower Forced Draft Counterflow; Agus Sobirin, 121910101023; 2016; 77 pages; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

Fluid velocity water is one which affects the performance of cooling tower. The distance between the filler is also one that can affect the performance of a cooling tower. The combination of the two variations is expected to improve the ability of a cooling tower in the heat to the atmosphere and improve the performance of cooling tower. Increasing fluid velocity of incoming water is done by adjusting unscrew the faucet that has been previously calculated, so that the water entering the fluid velocity can be known. The filler which serves to facilitate heat transfer by maximizing the contact between water and air. The filler used is palm fiber is expected to maximize the heat transfer water with air.

This study focused on the performance of cooling tower with the addition of fluid velocity variations of the water and the distance between the addition of fillers. Variations used in this study is the fluid velocity of water of 1.14 m / s, 1.29 m/s and 1.55 m/s. Variations within filler 20 cm, 30 cm and 40 cm.

The results showed, the performance of cooling tower the fluid velocity of 1.29 m/s and 40 cm distance variation filler has a cooling effectiveness score of 84.40%. The higher the gap filler further increase the effectiveness of the cooling. The addition of water semakain high fluid velocity results in increased capacity of the higher freezes. The highest cooling capacity in varaisi speed of 1.29 m/s at 13.81 kJ/s at a distance of 40 cm filler.

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT karena` limpahan rahmat serta karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul “Analisis variasi Kecepatan Fluida dan Jarak Pengisi Serat Ijuk pada *Cooling Tower Forced Draft Counterflow*”. Shalawat serta salam tidak lupa penulis curahkan kepada Nabi besar Muhammad SAW karena telah menuntun kita dari jaman yang gelap gulita menuju jaman yang terang benderang serta sebagai sumber inspirasi dan panutan umat manusia dalam menjalani kehidupan di dunia. Skripsi ini disusun guna memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penulis tidak lupa berterima kasih serta mengapresiasi semua pihak yang telah membantu dan mendukung selama laporan skripsi ini, khususnya kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan nikmat dan karunia yang tidak pernah putus sehingga penulis tidak merasakan kekurangan suatu apapun.
2. Ayahanda tercinta Mu'alip, Almarhumah Ibunda Hartini dan seluruh keluarga besarku atas segala do'a dan dukungan semangat maupun materi. Terimakasih atas semua kasih sayang, perhatian, pengorbanan, bimbingan dan do'a kalian semua demi terciptanya insan yang beriman, bertaqwa, berakhlak mulia serta berguna bagi bangsa dan negara. Semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan rahmat dan karunia-Nya serta membalas semua kebaikan yang telah kalian lakukan.
3. Dosen-dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang senantiasa memberikan ilmu dan bimbingan kepada saya terutama, Bapak Ir. Ahmad Syuhri, M.T. selaku dosen pembimbing utama, Bapak Ir. Digo Listyadi S., Msc. selaku dosen pembimbing anggota, Bapak Santoso Mulyadi, S.T., M.T. selaku dosen penguji utama dan Bapak Ahmad Adib Rosyadi, S.T., M.T. selaku dosen penguji anggota.

4. Seluruh dulur-dulur seperjuangan teknik mesin angkatan 2012 yang telah memberikan dukungan semangatnya. Terimakasih atas semua yang telah kalian berikan.
5. Guru-guruku dari SD, SMP, SMK yang tidak lelah serta dengan sabar membimbing serta memberikan ilmu yang bermanfaat dunia dan akhirat.
6. Semua civitas akademik baik dilingkungan UNEJ maupun seluruh instansi pendidikan, perusahaan dan lembaga terkait 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. Semoga hasil dari penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca.

Jember, 28 Oktober 2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBING	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
SUMARRY	viii
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	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Hipotesis	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pengertian <i>Cooling Tower</i>	5
2.2 Komponen-Komponen <i>Cooling Tower</i>	6
2.3 Jenis-Jenis <i>Cooling Tower</i>	9

2.3.1 Jenis Atmosferik.....	10
2.3.2 Jenis <i>Mechanical Draft</i>	13
2.4 Kinerja Cooling Tower	16
2.5 Analisis Menara Pendingin Aliran Berlawanan Arah	21
2.6 Ijuk	24
2.7 Pompa	25
2.8 Air	27
2.9 Penelitian Terdahulu	29
BAB 3. METODE PENELITIAN	31
3.1 Metode Penelitian	31
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	31
3.3 Alat dan Bahan	31
3.3.1 Alat dan Instrumen penelitian.....	31
3.3.2 Bahan Penelitian	34
3.3.3 Spesifikasi <i>Cooling Tower</i>	34
3.4 Prosedur Penelitian	
3.4.1 Persiapan Alat Pengujian	35
3.4.2 Pemeriksaan Alat Pengujian	35
3.4.3 Tahapan Pengambilan Data	35
3.5 Rangkaian <i>Cooling Tower Forced Draft Counterflow</i>	38
3.6 Variabel	38
3.6.1 Variabel Bebas.....	39
3.6.2 Variabel Terikat	39
3.8 Analisa Data	39
3.9 Diagram Alir	42
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	43
4.1 Data Hasil Pengujian	43

4.2 Pembahasan	44
4.2.1 <i>Range</i>	44
4.2.2 <i>Approach</i>	46
4.2.3 Efektivitas Pendinginan	48
4.2.4 Kapasitas Pendinginan	50
4.2.5 Debit Air Spesifik	52
4.2.6 Rasio Air dan Udara.....	54
4.2.7 Laju Penguapan Air	56
4.2.8 Perbandingan Aliran Massa Cair Terhadap Gas	58
4.2.9 Hubungan Jarak Pengisi, Kecepatan, Efektivitas dan Kapasitas Pendinginan.....	59
BAB 5.PENUTUP	64
5.1 Kesimpulan	64
5.2 Saran	64
DAFTAR PUSTAKA	66
LAMPIRAN	68

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Diagram skematik sistem menara pendingin	5
2.2 Komponen-komponen <i>cooling tower</i>	6
2.3 a. Aliran <i>splash fill</i>	7
b. Profil <i>splash fill</i>	7
2.4 <i>film fill</i>	8
2.5 <i>Low-clog film fill</i>	8
2.6 <i>Cooling ponds</i>	10
2.7 <i>Natural draft crossflow cooling tower</i>	12
2.8 <i>Natural draft counterflow cooling tower</i>	12
2.9 <i>forced draft tower</i>	13
2.10 <i>induced draft tower crossflow</i>	14
2.11 <i>Induced draft tower counterflow</i>	15
2.12 <i>Spray field tower</i>	16
2.13 Grafik <i>Range</i> dan <i>approach temperature</i> pada menara pendingin	17
2.14 Pertukaran energy menara pendingin berlawanan arah	21
2.15 Diagram entalpi-suhu udara dan air	23
2.16 Pompa rumah keong tipe radial	26
2.17 Pompa rumah diffuser tipe radial	26
2.18 Pompa turbin tipe radial	26
2.19 Ilustrasi kerja pompa sentrifugal tipe radial	27
2.20 Skema rangkaian <i>cooling tower induced draft counterflow</i>	30
3.1 Kipas	32
3.2 Nozzle	33
3.3 Susunan pengisi serat ijuk	34
3.4 Penempatan titik-titik pengukuran suhu	36

3.5 Skema rangkaian <i>cooling tower forced draft counterflow</i>	38
3.6 Diagram alir penelitian	42
4.1 Grafik temperatur <i>range</i> semua variasi	45
4.2 Grafik <i>approach</i> semua variasi	47
4.3 Grafik efektivitas pendinginan semua variasi	49
4.4 Grafik kapasitas pendinginan semua variasi	51
4.5 Grafik debit air spesifik semua variasi	53
4.6 Grafik rasio air dengan udara semua variasi	55
4.7 Grafik laju penguapan air semua variasi	57
4.8 Grafik perbandingan massa cair dan gas semua variasi	58
4.9 Grafik hubungan perbandingan jarak pengisi dengan kapasitas dan efektivitas pendinginan	60
4.10 Grafik hubungan perbandingan jarak pengisi dengan kapasitas dan efektivitas pendinginan	62

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Konduktivitas termal serat ijuk.....	25
2.2 Kalor jenis zat	28
3.1 Spesifikasi pompa air	32
3.2 Spesifikasi motor kipas	33
4.1 Hasil pengujian variasi kecepatan fluida 1,55 m/s.....	43
4.2 Hasil pengujian variasi kecepatan fluida 1,29 m/s.....	43
4.3 Hasil pengujian variasi kecepatan fluida 1,14 m/s.....	44
4.4 Data rata-rata hasil perhitungan range dari semua variasi	44
4.5 Data rata-rata hasil perhitungan approach dari semua variasi.....	46
4.6 Data rata-rata hasil perhitungan efektivitas Pendinginan.....	48
4.7 Data rata-rata hasil perhitungan kapasitas Pendinginan.....	51
4.8 Data rata-rata hasil debit air spesifik dari semua variasi.....	53
4.9 Data rata-rata hasil rasio air dengan udara semua variasi	54
4.10 Data rata-rata hasil debit laju penguapan	56
4.11 Data rata-rata hasil L/G semua variasi	58

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
LAMPIRAN 1. Tabel data hasil pengujian.....	68
A.1 Kecepatan fluida 1,55 m/s dan jarak pengisi 20 cm	68
A.2 Kecepatan fluida 1,55 m/s dan jarak pengisi 30 cm	68
A.3 Kecepatan fluida 1,55 m/s dan jarak pengisi 40 cm	68
A.4 Kecepatan fluida 1,29 m/s dan jarak pengisi 20 cm	69
A.5 Kecepatan fluida 1,29 m/s dan jarak pengisi 30 cm	69
A.6 Kecepatan fluida 1,29 m/s dan jarak pengisi 40 cm	69
A.7 Kecepatan fluida 1,14 m/s dan jarak pengisi 20 cm	70
A.8 Kecepatan fluida 1,14 m/s dan jarak pengisi 30 cm	70
A.9 Kecepatan fluida 1,14 m/s dan jarak pengisi 40 cm	70
LAMPIRAN 2. Nilai rata-rata, Volume spesifik, Rasio kelembaban, Debit udara dan Entalpi.....	71
LAMPIRAN 3. PERHITUNGAN	72
LAMPIRAN 4. Hasil semua perhitungan rata-rata	73
LAMPIRAN 5. Gambar pengujian	74

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Mesin konversi energi adalah mesin untuk mengubah suatu bentuk energi ke bentuk energi yang lain yang dapat dimanfaatkan oleh manusia. Perkembangan mesin konversi energi saat ini semakin maju guna meningkatkan efektifitas kerja mesin. Salah satu solusi yang dapat dilakukan yaitu dengan menjaga panas mesin agar tidak terjadi panas yang berlebih (*overheating*). Menjaga panas mesin saat ini menjadi proses yang sangat penting dalam suatu mesin konversi energi, agar mesin dapat beroperasi dengan baik dan tidak menghambat kinerja mesin itu sendiri. Untuk mendinginkan sebuah mesin diperlukan sebuah alat pendingin untuk mempertahankan panas mesin. Peralatan pendingin yang sering digunakan yaitu *cooling tower*, radiator, sirip-sirip angin, *sprypond* dan alat-alat pendingin lainnya. Beberapa metode yang sering diterapkan dalam mendinginkan sebuah mesin adalah dengan menggunakan media udara dan fluida cair untuk membantu proses pendinginannya. Pendinginan sebuah mesin menjadi fungsi penting sehingga menuntut kita untuk lebih berinovasi dalam mengembangkan peralatan-peralatan pendingin untuk membantu mempercepat proses pendinginan pada mesin (Sudrajat : 2015).

Menurut El-Wakil dan Jasjfi (1992). *cooling tower* merupakan alat penukar kalor dengan fluida kerja menggunakan air dan udara. *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.

Cooling tower forced draft counterflow dengan sistem udara dihembus ke menara oleh *fan* di saluran udara masuk bagian bawah sehingga udara akan bertabrakan dengan air. 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 (Pedoman Efisiensi Energi : 2006).

Penelitian Sudrajat (2015). meneliti tentang Analisis Variasi Tegangan Listrik Kipas *Cooling tower Induced Draft Counterflow* Dengan Pengisi Bambu Wulung. Dengan Kapasitas pendinginan tertinggi terjadi pada variasi tegangan listrik motor penggerak kipas 220 volt dengan suhu awal 60 °C, sebesar 14,19 kJ/s. Pada penelitian ini digunakan debit air yang konstan pada semua variasi yaitu 0,00014 m³/s atau 1,18 m/s. Efektivitas pendinginan *cooling tower* tertinggi sebesar 78,11%. kapasitas juga dipengaruhi oleh *range* dan debit air masuk *cooling tower*, sedangkan perbandingan L/G tertinggi terjadi pada variasi temperatur air masuk 60 °C dengan menggunakan fill yaitu sebesar 1,20 kJ/kg.°C.

Serat ijuk dipilih sebagai bahan isian karena serat ijuk memiliki sifat kuat, tahan terhadap degradasi cuaca, awet, tidak mudah rusak atau busuk baik di lingkungan terbuka maupun yang tertanam dalam tanah. Selain itu, ijuk juga bersifat elastis (tidak mudah patah), tahan air dan sulit diurai oleh organisme perusak dan juga serat ijuk memiliki harga jual yang rendah (Yunita, dkk: 2012).

Hidayat (2014). tentang Analisis Beban Kalor *cooling tower induced draft Counterflow* dengan bahan pengisi bambu wulung, efektivitas pendinginan tertinggi terjadi pada variasi dengan suhu awal 40 °C, ketinggian 200 cm sebesar 68,08 % dengan menggunakan bahan pengisi. 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.

Berdasarkan literatur, menurut Johanes, s. (2011). dengan penelitian karakteristik *cooling tower* dengan isian ijuk, dua faktor yang menentukan laju perpindahan kalor dari air panas ke udara pendingin adalah waktu kontak dan luas permukaan antar fase (air dan udara). Dengan memberikan bahan isian pada *cooling tower*, maka kedua faktor diatas diperbesar.

Pada penelitian ini peneliti mencoba memberikan sebuah solusi dengan melakukan pengembangan terhadap pendinginan fluida menggunakan *cooling tower*. Percobaan yang akan dilakukan adalah dengan memvariasikan kecepatan fluida dan jarak pengisi *cooling tower forced draft counterflow* dengan tujuan penelitian lanjutan ini bisa memperbaiki laju pelepasan kalor. Sehingga pada proses pendinginan akan semakin cepat dan kerja suatu mesin nantinya akan lebih optimal.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini akan dilakukan analisa kinerja *Cooling tower* dengan variasi kecepatan fluida dan jarak pengisi untuk mempercepat pelepasan kalor. Variasi kecepatan fluida dapat dilakukan dengan cara mengatur katup pada pipa sirkulasi air kedalam *cooling tower*. Adapun perumusannya adalah :

- a. Bagaimana pengaruh variasi kecepatan fluida terhadap kapasitas dan efektivitas pendinginan pada *cooling tower*
- b. Bagaimana pengaruh variasi jarak pengisi terhadap kapasitas dan efektivitas pendinginan pada *cooling tower*

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

- a. Untuk mengetahui pengaruh variasi kecepatan fluida terhadap kapasitas dan efektivitas pendinginan pada *cooling tower*.
- b. Untuk mengetahui pengaruh variasi jarak pengisi terhadap kapasitas dan efektivitas pendinginan pada *cooling tower*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

- a. Mengetahui pengaruh variasi kecepatan fluida terhadap kapasitas dan efektivitas pendinginan pada *cooling tower*.
- b. Mengetahui pengaruh variasi jarak pengisi terhadap kapasitas dan efektivitas pendinginan pada *cooling tower*
- c. Sebagai informasi untuk industri ataupun pihak pendidikan terkait instalasi *cooling tower*.

1.5 Batasan Masalah

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

- a. Properti dari fluida konstan sepanjang aliran.
- b. Sistem aliran terisolasi sempurna.
- c. Tidak menghitung perubahan energi kinetik dan energi potensial fluida pada sistem.
- d. Tekanan fluida diasumsikan konstan sepanjang aliran.
- e. Kondisi dalam sistem setelah penyalaan diasumsikan *steady state*.

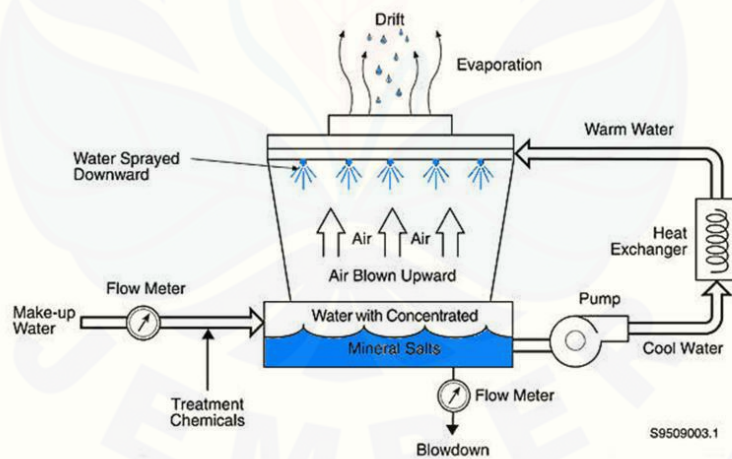
1.6 Hipotesis

Hipotesis awal pengujian adalah semakin tinggi kecepatan fluida dan jarak pengisi maka semakin tinggi kapasitas dan efektivitas pendinginannya. Sebaliknya semakin rendah kecepatan fluida dan jarak pengisi maka semakin rendah kapasitas dan efektivitas pendinginannya.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian *Cooling Tower*

Cooling Tower merupakan suatu peralatan yang digunakan untuk menurunkan temperatur aliran air dengan cara mengekstraksi panas dari air dan mengemisikannya ke atmosfer. *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. *Cooling Tower* mampu menurunkan temperatur air lebih dari peralatan-peralatan yang hanya menggunakan udara untuk membuang panas atau peralatan yang panas fluidanya tidak diuapkan ke atmosfer seperti radiator dalam mobil, dan oleh karena itu biayanya lebih efektif dan efisien energinya. (*Pedoman Efisiensi Energi, 2006*).

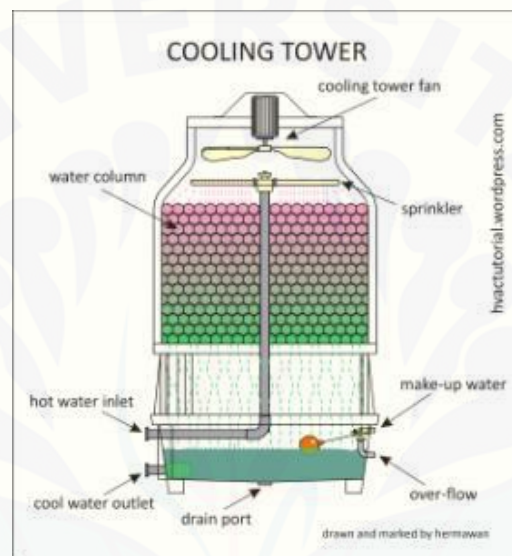


Gambar 2.1. Diagram skematik sistim cooling tower

(Sumber: Stoecker dan Jones, 2009)

2.2 Komponen – Komponen *Cooling Tower*

Secara garis besar komponen dasar dari sebuah *cooling tower* meliputi rangka, wadah, bahan pengisi, kolam air pendingin, eliminator aliran, saluranmasuk udara, *louver*, *nozzel* dan *fan*. Gambar 2.2 merupakan komponen – komponen *cooling tower*.



Gambar 2.2 Komponen – komponen cooling tower
(sumber: Stoecker dan Jones, 2009)

1. Rangka dan wadah

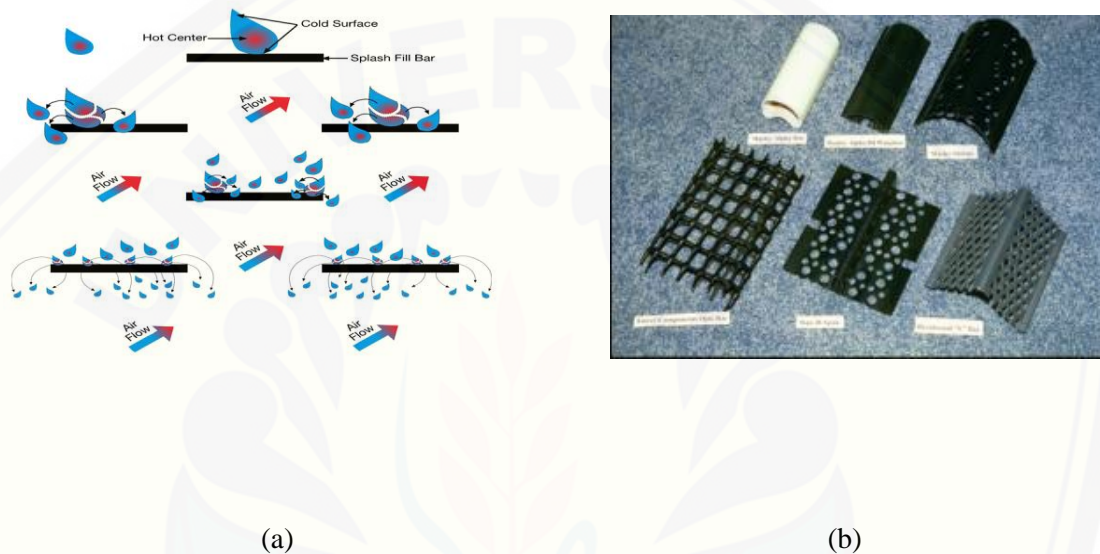
Hampir semua *cooling tower* memiliki rangka berstruktur yang menunjang tutup luar (wadah/*casing*), motor, fan, dan komponen lainnya. Dengan rancangan yang lebih kecil, seperti unit *fiber glass*, wadahnya dapat menjadi rangka.

2. Bahan pengisi

Hampir seluruh *cooling tower* menggunakan bahan pengisi (terbuat dari plastik atau kayu) untuk memfasilitasi perpindahan panas dengan memaksimalkan kontak udara dan air. Terdapat dua jenis bahan pengisi:

a. Bahan pengisi berbentuk percikan/*Splash fill*

air jatuh diatas lapisan yang berurut dari batang pemercik horisontal, secara terus menerus pecah menjadi tetesan yang lebih kecil, sambil membasahi permukaan bahan pengisi. Bahan pengisi percikan dari plastic memberikan perpindahan panas yang lebih baik daripada bahan pengisi percikan dari kayu.

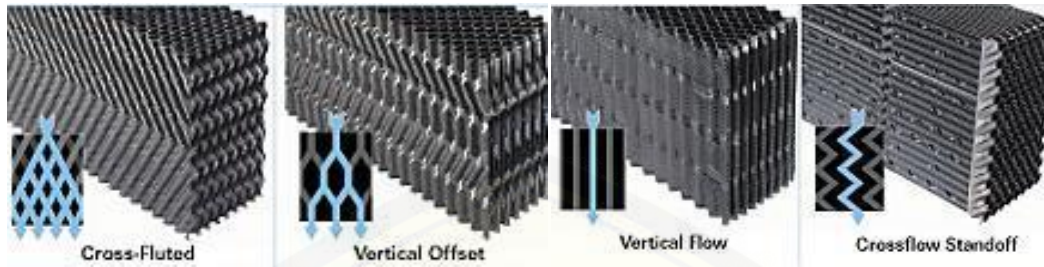


Gambar 2.3 (a) Aliran *splash fill*. (b) Profil *splas fill*

(Sumber: (a) Tower component inc, 2012. (b) Fulkerson, 2012)

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

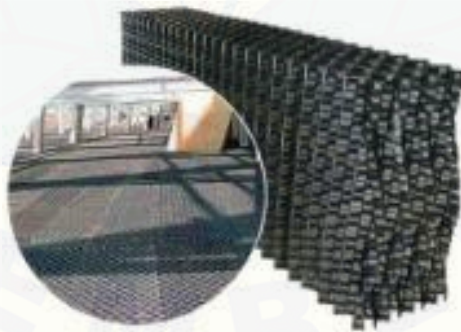
Bahan pengisi berbentuk film terdiri dari permukaan plastik tipis dengan jarak yang berdekatan dimana di atasnya terdapat semprotan air, membentuk lapisan film yang tipis dan melakukan kontak dengan udara. Permukaannya dapat berbentuk datar, bergelombang, berlekuk, atau pola lainnya. Jenis bahan pengisi film lebih efisien dan memberi perpindahan panas yang sama dalam volume yang lebih kecil daripada bahan pengisi jenis splash.



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 diandingkan 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)

3. Kolam air dingin

Kolam air dingin terletak dekat bagian bawah *cooling tower*, dan menerima air dingin yang mengalir turun melalui menara dan bahan pengisi. Kolam biasanya memiliki sebuah lubang atau titik terendah untuk pengeluaran air dingin. Dalam beberapa desain, kolam air dingin berada dibagian bawah seluruh bahan pengisi. Pada beberapa desain aliran yang *counterflow* pada *forced draft*, air di bagian bawah bahan pengisi disalurkan ke bak yang berbentuk lingkaran yang berfungsi sebagai kolam air dingin. Sudu-sudu fan dipasang dibawah bahan pengisi untuk meniup udara naik melalui menara. Dengan desain ini, menara dipasang pada landasannya, memberikan kemudahan akses bagi fan dan motornya.

4. *Drift eliminator*

Alat ini menangkap tetes-tetes air yang terjebak dalam aliran udara supaya tidak hilang ke atmosfer.

5. Saluran udara masuk

Ini merupakan titik masuk bagi udara menuju menara. Saluran masuk bisa berada pada seluruh sisi menara (desain *crossflow*) atau berada dibagian bawah menara (desain *counterflow*).

6. *Louvers*

Pada umumnya, menara dengan aliran silang memiliki saluran masuk *louvers*. Kegunaan *louvers* adalah untuk menyamakan aliran udara ke bahan pengisi dan menahan air dalam menara. Beberapa desain menara aliran *counterflow* tidak memerlukan *louver*.

2.3 Jenis-Jenis *Cooling Tower*

Jenis *Cooling Tower* dapat dibedakan berdasarkan pada aliran udara yang melewati *packing*. Terdapat beberapa jenis *Cooling Tower*, yaitu :

1. Jenis *atmosferik*
2. Jenis *mechanical draft*

2.3.1 Jenis Atmosferik

Merupakan jenis *Cooling Tower* yang paling sederhana. Jenis *Cooling Tower* ini sangat bergantung pada kondisi udara atmosfer yang bertiup secara horizontal serta bergantung pada kondisi cuaca. Dengan demikian *Cooling Tower* ini sebaiknya ditempatkan pada lokasi yang cukup terbuka luas.

Jenis *Cooling Tower* ini memiliki beberapa tipe, yaitu :

a. *Cooling Ponds*

Cooling ponds adalah suatu waktu operasi pendinginan air yang sederhana, mudah dan murah tetapi sangat tidak efisien dalam perpindahan panasnya. Tipe ini mempunyai kolam (*ponds*) yang besar. Sehingga memerlukan luasan tanah yang besar. Proses perpindahan panas terjadi pada permukaan air dengan cara kontak langsung antara air dengan udara.



Gambar 2.6 *Cooling ponds*
(Sumber: Wikimedia Commons. 2010)

b. *Natural draft tower*

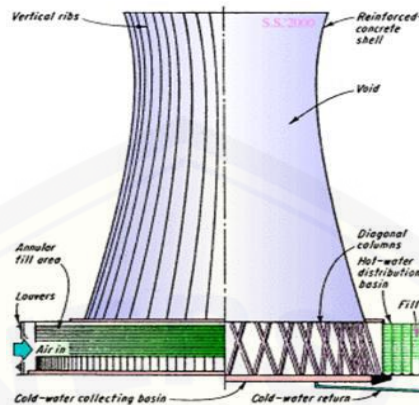
Pada tipe ini udara mengalir karena dihisap oleh cerobong (*chimney*) yang besar diatas *packing*. Ketinggian dari cerobong pada *Cooling Tower* ini, sekitar 50 hingga 100 meter. Kemampuan cerobong untuk menarik udara ini disebabkan oleh perbedaan tekanan udara atmosfer yang disebabkan oleh ketinggian cerobong dan pengaruh besarnya perbedaan kerapatan antara udara dingin dengan udara panas yang keluar. Jenis *Cooling Tower* ini juga dipengaruhi oleh keadaan udara maupun cuaca sekelilingnya. Tipe ini tepat digunakan untuk mesin daya kapasitas besar dimana memakai pendinginan air dalam jumlah yang besar.

Cooling Tower jenis *natural draft* atau hiperbola menggunakan perbedaan temperatur antara udara ambien dan udara yang lebih panas dibagian dalam *Cooling Tower* (*Laporan Perencanaan Teknik Mesin (PTM), Pengujian Cooling Tower Kapasitas Laboratorium*). Begitu udara panas mengalir ke atas melalui *Cooling Tower* (sebab udara panas akan naik), udara segar yang dingin disalurkan ke *Cooling Tower* melalui saluran udara masuk di bagian bawah. Tidak diperlukan *fan* dan disana hampir tidak ada sirkulasi udara panas yang dapat mempengaruhi kinerja. Kontruksi beton banyak digunakan untuk dinding *Cooling Tower*. *Cooling Tower* tersebut kebanyakan hanya digunakan untuk jumlah panas yang besar sebab struktur beton yang besar cukup mahal.

Terdapat dua jenis utama *Cooling Tower natural draft*:

1. *Natural draft crossflow*

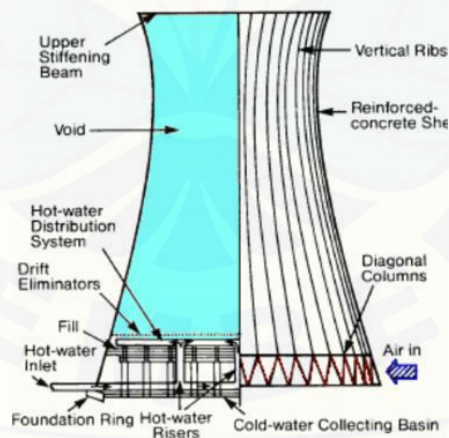
Natural draft crossflow adalah salah satu jenis *cooling tower* dimana udara dialirkan melintasi air yang jatuh dan *fill* berada diluar *Cooling Tower*.



Gambar 2.7 : *Natural draft crossflow cooling tower*
(Sumber: Stoecker dan Jones, 2009)

2. *Natural draft counterflow*

Natural draft counterflow yaitu udara dihisap melalui air yang jatuh dan oleh karena itu *fill* terletak dibagian dalam *Cooling Tower*, walaupun desain tergantung pada kondisi tempat yang spesifik. *Natural draft counterflow* ditunjukkan pada gambar 2.8 berikut ini :



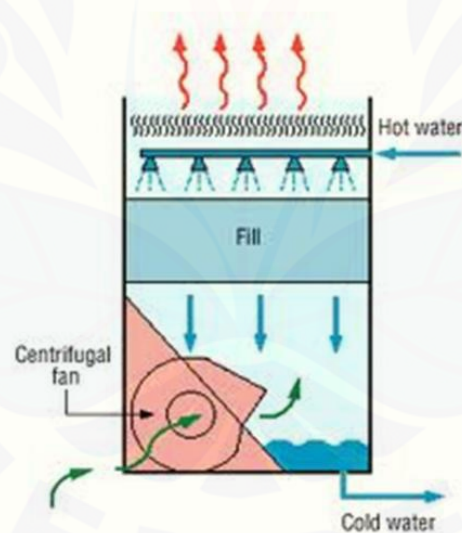
Gambar 2.8 : *Natural draft counterflow cooling tower*
(Sumber: Stoecker dan Jones, 2009)

2.3.2 Jenis *Mechanical Draft*

Tipe *Cooling Tower* ini menciptakan arus udara sendiri dengan menggunakan kipas (*fan*) yang digerakkan oleh motor listrik. Jenis *Cooling Tower* ini tidak bergantung pada keadaan cuaca maupun udara sekelilingnya. Dimana dengan beroperasinya sistem ini temperatur air keluar *Cooling Tower* dapat lebih stabil. Tipe *mechanical draft* ada dua jenis, yaitu :

1. *Forced draft tower*

Cooling Tower ini mempunyai *fan* yang diletakkan di bagian samping bawah dari *Cooling Tower*. Udara dihembuskan oleh kipas masuk ke dalam *Cooling Tower* sehingga udara dipaksa naik ke bagian atas dari *Cooling Tower* untuk melepas kalor. *Forced draft tower* ditunjukkan pada gambar 2.9 di bawah ini :



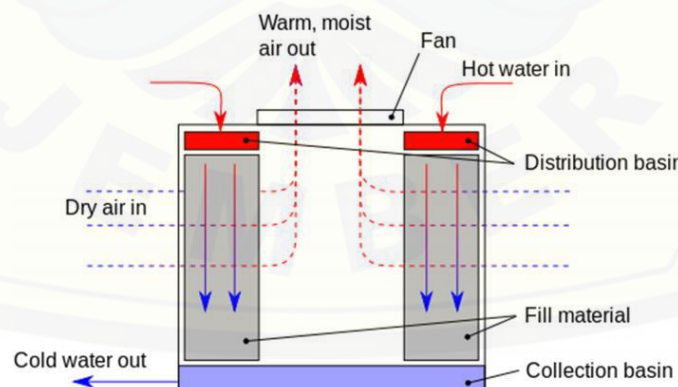
Gambar 2.9 : *Forced draft tower*
(Sumber: Stoecker dan Jones, 2009)

2. *Induced Draft Tower*

Untuk *cooling tower* tipe fan yang ada dipasang pada bagian atas dari struktur *cooling tower* sehingga udara yang mengalir ditarik keatas untuk dibuang. Tipe *induced draft tower* dibedakan lagi menjadi tiga tipe yaitu :

a. *Crossflow*

Adalah *Cooling Tower* yang mempunyai aliran udara diarahkan tegak lurus terhadap aliran air. Aliran udara masuk pada satu atau lebih permukaan *Cooling Tower* untuk mengisi material. Udara mengalir lewat samping dari air yang jatuh ke bawah. Aliran air panas masuk secara tegak lurus udara melewati material yang disebabkan oleh gravitasi, udara secara terus menerus melewati material penampung yang akhirnya mendinginkan air di dalamnya dan selanjutnya udara di buang ke atmosfer oleh *fan*. Air yang telah mengembun di tampung di dalam kolam penampungan / *basin* yang terletak di bagian bawah tower. Adapun keuntungan dari tipe ini adalah Karena air didistribusikan dengan memanfaatkan gravitasi, maka pompa yang digunakan relatif kecil dan bisa dilakukan pemeliharaan ketika sistem sedang bekerja, Biasanya biaya awal rendah dan rentang pemeliharaan cukup lama. *Induced draft tower Crossflow* ditunjukkan pada gambar 2.10 berikut :



Gambar 2.10 : *Induced draft tower crossflow*
(Sumber: Stoecker dan Jones, 2009)

b. *Counterflow*

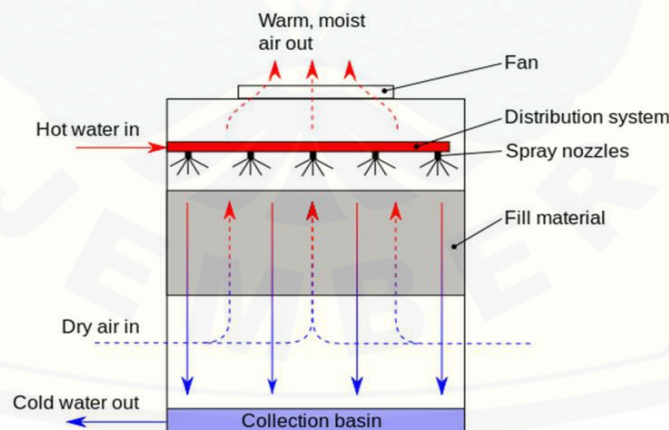
Pada *Cooling Tower* tipe ini, air didinginkan dalam arah berlawanan dengan arah aliran udara di dalam *Cooling Tower*. Udara yang ditarik oleh *fan* mempunyai arah vertikal ke atas sedangkan air yang didinginkan mengalir jatuh ke bawah. Air panas disemprotkan oleh *Nozzel* bertekanan pada bagian atas *Cooling Tower*.

Adapun keuntungan dari tipe ini adalah :

1. Air panas didistribusikan dengan cara disemprot dari nozel, sehingga transfer panas lebih efisien

Adapun kekurangan dari tipe ini adalah :

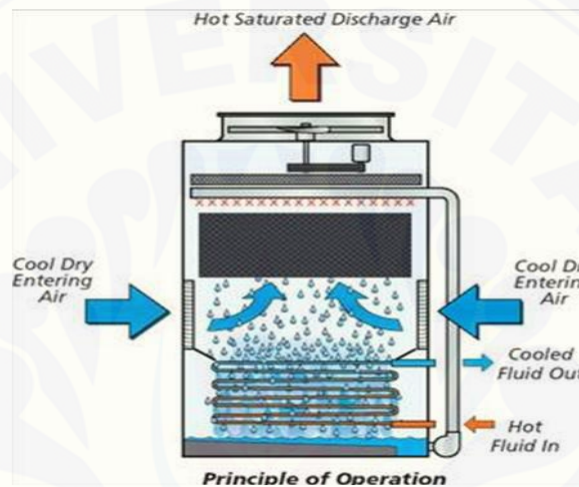
1. Biaya yang dibutuhkan lebih mahal baik diawal maupun untuk jangka panjang
2. Sulit untuk menggunakan aliran air variabel, karena karakteristik semprotan mungkin akan berpengaruh negatif.
3. Suara yang dihasilkan lebih berisik karena hasil semprotan air yang jatuh dari atas menuju ke kolam penampungan/ basin. *Cooling tower* tipe *counterflow* ditunjukkan pada gambar 2.11 berikut ini :



Gambar 2.11 : *Induced draft tower counterflow*
(Sumber: Stoecker dan Jones, 2009)

c. *Spray field tower*

Jenis *Cooling Tower* ini cukup tinggi dan mempunyai *louvers* dimana udara yang bergerak, melalui *Cooling Tower* dalam arah mendatar saling berpotongan dengan aliran air yang disemprotkan ke bawah. *Spray filled Tower* ditunjukkan pada gambar 2.112 berikut :



Gambar 2.12 : *Spray field tower*
(Sumber: Stoecker dan Jones, 2009)

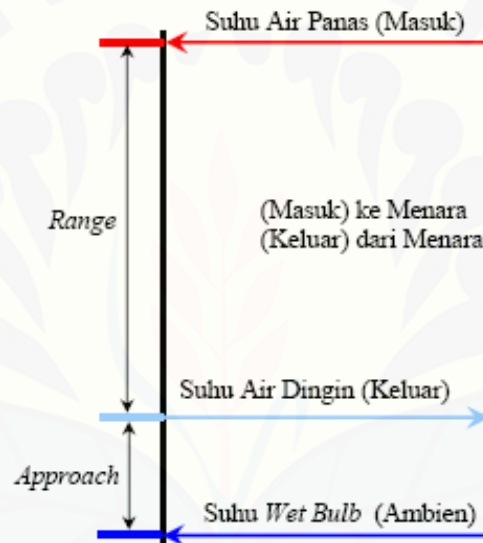
2.4 Kinerja *cooling tower*

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 *wet bulb*
2. Temperatur udara *dry bulb*

3. Temperatur air masuk cooling tower
4. Temperatur air keluar cooling tower
5. Temperatur udara keluar
6. Laju aliran air
7. 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* temperatur pada cooling tower
(Sumber: Stoecker dan Jones, 2009)

Parameter terukur kemudian digunakan untuk menentukan kinerja *cooling tower* dengan beberapa cara. Yaitu :

a. *Range*

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

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

b. *Approach*

Merupakan perbedaan antara suhu air dingin keluar *cooling tower* dan suhu bola basah lingkungan (*wet bulb ambient*). Semakin rendah nilai *approach* semakin baik kinerja *cooling tower*. Walaupun, *range* dan *approach* harus dipantau, '*approach*' merupakan indikator yang lebih baik untuk kinerja *cooling tower*.

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

c. Efektivitas

Merupakan perbandingan antara *range* dan *range* ideal (dalam persentase), yaitu perbedaan antara suhu masuk air pendingin dan suhu *wet bulb* ambien, atau dengan kata lain adalah = $\text{Range} / (\text{Range} + \text{Approach})$. Semakin tinggi perbandingan ini, maka semakin tinggi efektivitas *cooling tower*.

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

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

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

Sedangkan kapasitas pendinginan spesifik persatuan luas penampang cooling tower 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 °C)

ΔT = perbedaan suhu air masuk dan suhu air keluar (°C)

A_{tower} = luas penampang cooling tower (m²)

e. Debit air spesifik

Sesuai dengan ukuran luas penampang cooling tower 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 cooling tower (m²)

f. Rasio air dengan udara

Nilai rasio air-udara adalah parameter yang sangat penting dalam pemilihan suatu cooling tower, 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. Perbandingan Cair/Gas (L/G).

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

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 (°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.

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

Dimana:

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

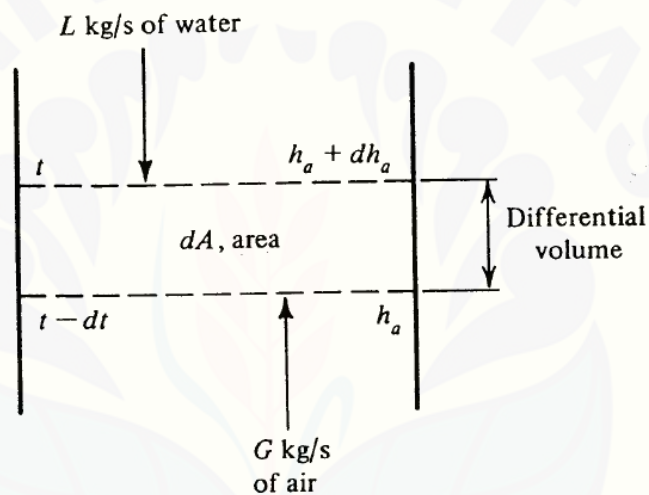
V = debit aliran udara (m³/s)

ρ = densitas air = 0,99285 kg/ℓ

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

2.5 Analisis Cooling Tower Counterflow

Salah satu rancang bangun cooling tower yaitu *cooling tower counterflow*, didalamnya udara bergerak keatas melalui semburan air yang jatuh, Gambar 2.14 menjelaskan tentang volume diferensial sebuah *cooling tower counterflow* 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 *cooling tower counterflow*.
(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:

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

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

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

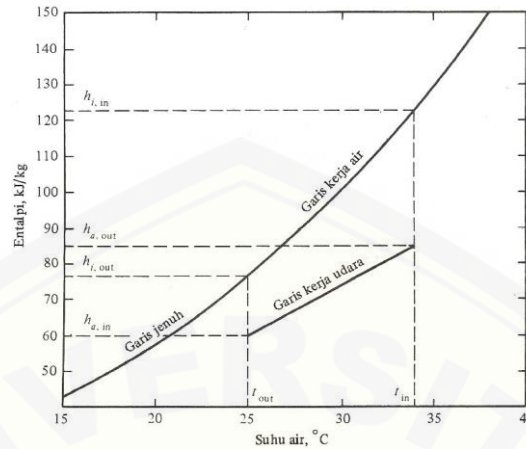
Dengan :

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

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

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 2.14 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 :

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

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

2.6 Ijuk

Pohon aren atau enau (*Arenga pinnata Merr.*) merupakan tumbuhan yang menghasilkan bahan-bahan industri sejak lama kita kenal. Namun sayang tumbuhan ini kurang mendapat perhatian untuk dikembangkan atau dibudidayakan secara sungguh-sungguh oleh berbagai pihak. Begitu banyak ragam produk yang dipasarkan setiap hari yang berasal dari bahan baku pohon aren dan permintaan produk-produk tersebut baik untuk kebutuhan ekspor maupun kebutuhan dalam negeri semakin meningkat. Hampir semua bagian pohon aren bermanfaat dan dapat digunakan untuk berbagai kebutuhan, mulai dari bagian fisik (akar, batang, daun, ijuk dll) maupun hasil produksinya (nira, pati/tepung dan buah). Selama ini permintaan produk-produk yang bahan bakunya dari pohon aren masih dipenuhi dengan mengandalkan pohon aren yang tumbuh liar. Jika pohon aren ditebang untuk diambil tepungnya tentu saja populasi pohon aren mengalami penurunan yang cepat karena tidak diimbangi dengan kegiatan penanaman. Di samping itu, perambahan hutan dan konversi kawasan hutan alam untuk penggunaan lain juga mempercepat penurunan populasi pohon aren. (Lempang M, 2012)

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Yunita, dkk. harga konduktivitas termal untuk semua sampel yang telah dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 2.1 Konduktivitas termal serat ijuk

Tali Ijuk	Sampel	SG	K (W/m°C)	\bar{k}	SG	K (W/m°C)	\bar{K}
0,5	A		0,458			0,444	
	B		0,463	0,47		0,508	0,48
	C		0,492			0,496	
1	A		0,511	0,52		0,456	
	B	0,1	0,555		1,4	0,453	0,45
	C		0,518			0,455	
2	A		0,488	0,44		0,398	
	B		0,481			0,448	0,43
	C		0,377			0,454	

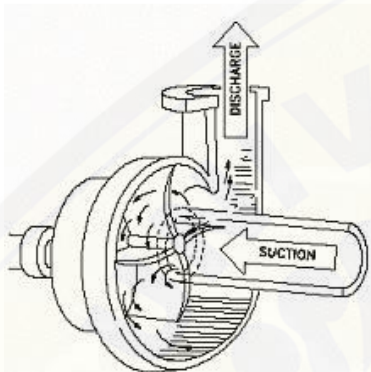
(Sumber : Yunita. 2012)

Serat ijuk dipilih sebagai bahan isian karena serat ijuk memiliki sifat kuat, tahan terhadap degradasi cuaca, awet, tidak mudah rusak atau busuk baik di lingkungan terbuka maupun yang tertanam dalam tanah. Selain itu, ijuk juga bersifat elastis (tidak mudah patah), tahan air dan sulit diurai oleh organisme perusak dan juga serat ijuk memiliki harga jual yang rendah.

2.7 Pompa

Menurut Dietzel (1990). ditinjau dari mekanisme kerjanya, pompa terbagi menjadi tiga jenis, yaitu pompa rotary, pompa torak/piston dan pompa sentrifugal. Pemakaian pompa yang paling banyak digunakan baik di lingkungan rumah tangga maupun di industri adalah jenis pompa sentrifugal. Pada pompa sentrifugal gaya sentrifugal dimanfaatkan untuk mendorong fluida keluar impeler. Macam pompa sentrifugal ada tiga, yaitu: pompa rumah keong (Gambar 2.15), pompa *diffuser*

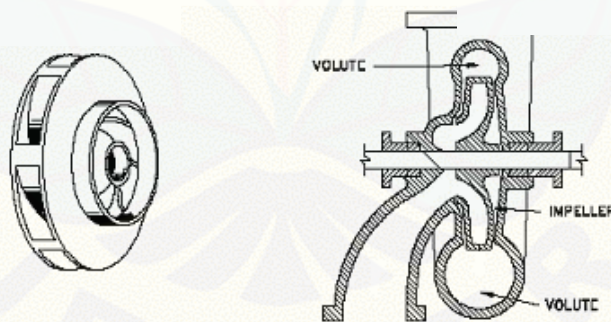
(Gambar 2.6) dan pompa turbin (Gambar 2.17). Prinsip kerja pompa sentrifugal adalah Ketika impeler berputar, dalam rumah pompa terjadi vakum sehingga udara luar masuk terhisp akibat terjadi perbedaan tekanan yang menyebabkan fluida terhisp. Selanjutnya fluida didorong impeler keluar akibat gaya sentrifugal yang terjadi pada impeler (Gambar 2.18).



Gambar 2.16. Pompa rumah keong tipe radial
(Sumber : Chuch :1996)



Gambar 2.17. Pompa rumah diffuser tipe radial
(Sumber : Chuch :1996)



Gambar 2.18. Pompa turbin tipe radial
(Sumber : Dietzel : 1990)



Gambar 2.19. Ilustrasi kerja pompa sentrifugal tipe radial

(Sumber : Chuch : 1996)

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. 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.°C. Berikut ini adalah Tabel 2.2 kalor jenis beberapa zat.

Tabel 2.2 Kalor jenis beberapa 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
Aluminium	0,214	900
Kaca	0,16	670
Besi	0,11	460
Tembaga	0,093	390
Kuningan	0,90	380
Perak	0560	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

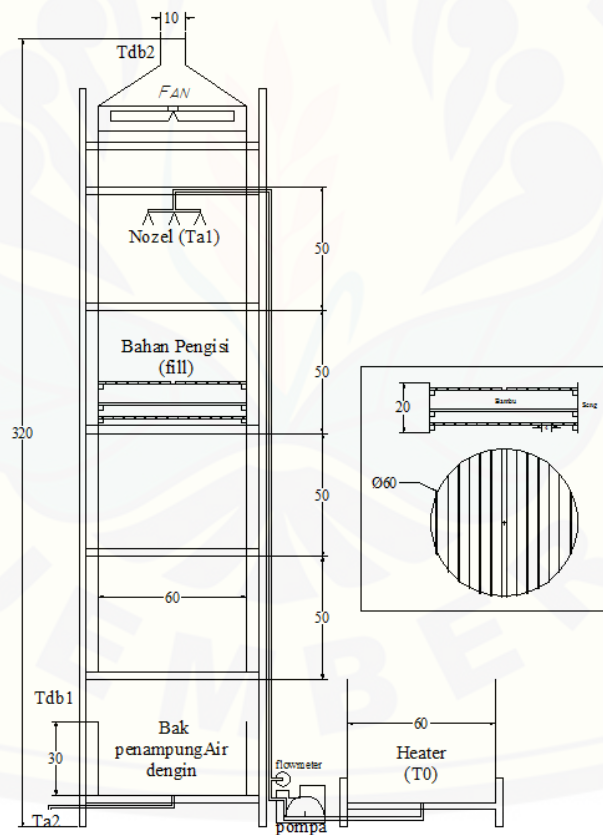
biologis dari air yaitu di dalam perairan selalu didapat kehidupan, fauna dan flora. Benda hidup ini berpengaruh timbal balik terhadap kualitas air.

2.9 Penelitian Terdahulu

Penelitian Sudrajat (2015). tentang Analisis variasi tegangan listrik kipas *cooling tower induced draft counterflow* dengan pengisi bambu wulung. Pelaksanaan percobaan dilakukan pada *cooling tower* dengan dimensi tinggi keseluruhan 320 cm, dan penampang tabung dalam berdiameter 60 cm. Bahan pengisi terbuat dari bambu wulung yang dibelah, dengan lebar 2 cm, tebal 1 cm, dan jarak antar bambu 2 cm. Penelitian ini bertujuan untuk mencari kinerja maksimal dari *cooling tower* dengan variasi suhu awal 40 °C, 50 °C, 60 °C, dan tegangan listrik pada motor penggerak kipas 0 volt, 110 volt, 220 volt. Hasil penelitian menunjukkan semakin tinggi suhu awal dan tegangan listrik pada motor penggerak kipas mengakibatkan laju pelepasan kalor semakin meningkat, laju pelepasan kalor tertinggi pada variasi dengan suhu awal 60 °C, tegangan listrik pada motor penggerak kipas 220 volt sebesar 14,19 kJ/s. Efektivitas pendinginan tertinggi terjadi pada variasi dengan suhu awal 40 °C, tegangan listrik pada motor penggerak kipas 220 volt sebesar 78.11 % c. Laju penguapan air terbesar terjadi pada variasi tegangan listrik motor penggerak kipas 220 volt dan suhu awal 60 °C yaitu dengan nilai penguapan sebesar 1,610 ℓ/menit.

Hidayat (2014). 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 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. Hasil penelitian menunjukkan semakin tinggi suhu awal dan tinggi *cooling tower* mengakibatkan naiknya beban kalor. Efektivitas pendinginan tertinggi terjadi pada

variasi dengan suhu awal $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, ketinggian 200 cm sebesar 68,08 % dengan menggunakan bahan pengisi. Sedangkan perubahan temperatur air tertinggi terjadi pada variasi suhu awal $70\text{ }^{\circ}\text{C}$, tinggi 200 cm, tanpa atau dengan bahan pengisi, dengan nilai $17\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan $23\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kapasitas pendinginan (beban kalor cooling tower) tertinggi, pada variasi penambahan fill ketinggian 200 cm, $t_{a1}\text{ }70\text{ }^{\circ}\text{C}$, sebesar $41,54\text{ kJ/s}$, dibandingkan dengan tanpa menggunakan *fill* dengan variasi yang sama beban kalor sebesar $31,42\text{ kJ/s}$. Perbandingan massa liquid/gas (L/G) tertinggi terjadi pada variasi, $t_{a1}\text{ }70\text{ }^{\circ}\text{C}$, menggunakan fill sebesar $1,45\text{ kJ/kg. }^{\circ}\text{C}$, dan (L/G) terendah $0,5\text{ kJ/kg. }^{\circ}\text{C}$, terjadi pada variasi $t_{a1}\text{ }40\text{ }^{\circ}\text{C}$



Gambar 2.20 Skema rangkaian *cooling tower induced draft counterflow*
(Sumber: Hidayat, 2014)

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah metode eksperimental, yaitu dengan menggunakan variasi peningkatan kecepatan air dan variasi jarak anatar bahan pengisi cooling tower. Air ditempatkan dalam suatu wadah yang dipanaskan untuk digunakan sebagai fluida kerja *cooling tower*. Selanjutnya air panas tersebut akan disirkulasikan kedalam *cooling tower* dengan pompa listrik melalui pipa yang dijaga panasnya dan kemudian air panas yang telah disirkulasikan akan didinginkan menggunakan pendingin alami yaitu udara sebagai objeknya. Dari mekanisme tersebut akan dapat ditentukan kondisi air sebelum dilakukan pemanasan, setelah pemanasan dan setelah didinginkan.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu dan tempat penelitian ini akan dilaksanakan 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

Didalam penelitian ini membutuhkan beberapa alat dan bahan yang akan digunakan dalam proses penelitian, antara lain :

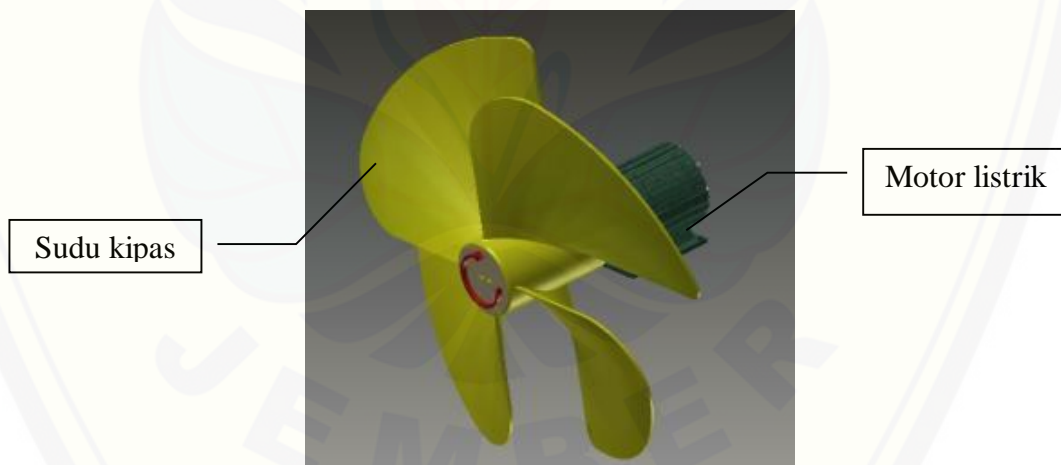
3.3.1 Alat dan instrumen penelitian

- a. Satu *unit cooling tower forced draft counterflow* dengan diameter 60 cm
- b. *Thermokopel*
- c. *Thermoreader*
- d. *Stopwatch*.
- e. *Gelas ukur*
- f. 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
Daya hisap	9 meter
Daya dorong	9 meter
Total head	18 meter
Kapasitas	30 liter/ menit (max)

g. Kipas



Gambar 3.1 Kipas

Tabel 3.2 Spesifikasi motor kipas.

Spesifikasi komponen	
Merk	Sanyo tipe, PW H137A
Daya motor	125 Watt
Jenis kipas	Induced force

- h. Pipa.
- i. Keran.
- j. Kompor LPG
- k. Bak penampungan.
- l. *Nozzle*

Gambar 3.2 *Nozzle*

- m. *Anemometer*

3.3.2 Bahan penelitian

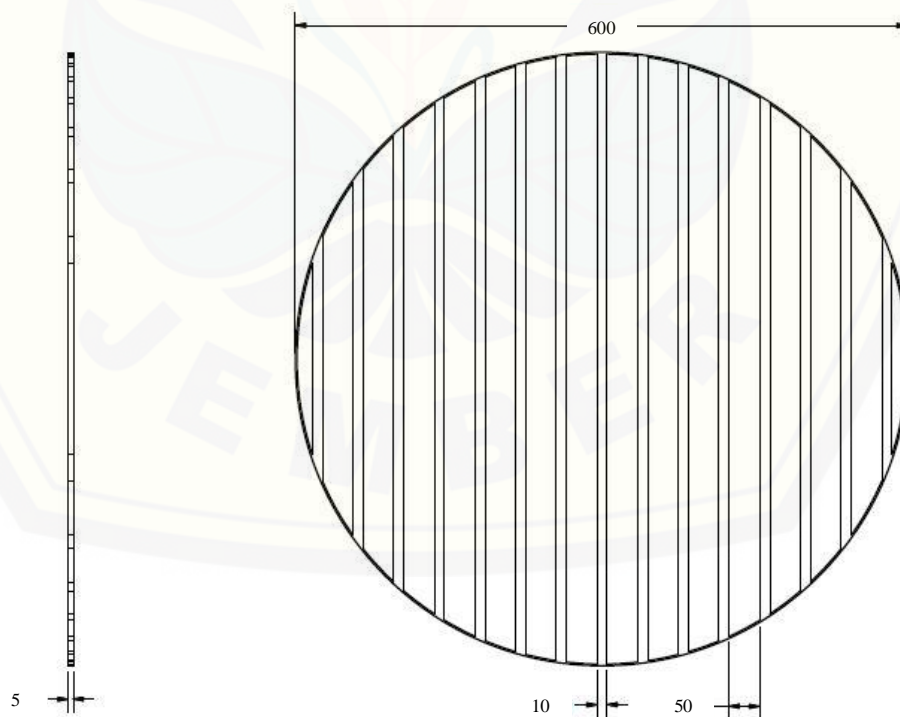
Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut:

- Serat ijuk sebagai bahan pengisi *cooling tower*.
- Air yang dipanaskan dalam wadah sebagai fluida kerja.

3.3.3 Spesifikasi *Cooling Tower*.

Spesifikasi *cooling tower* adalah sebagai berikut

- Kerangka terbuat dari besi siku dengan ketinggian keseluruhan 3 m dan luas 0.7 m
- Diameter *cooling tower* 60 cm
- Bak penampung menggunakan drum oli berdiameter 60 cm dan tinggi 30 cm.
- Bahan pengisi menggunakan serat ijuk sebanyak 4 lapis. Lebar serat ijuk 1 cm, dengan jarak 3 cm yang akan disusun menyerupai diameter *cooling tower*. Disusun menyerupai susunan *Splash fill*, seperti Gambar 3.3 berikut:



Gambar 3.3 Susunan pengisi serat ijuk

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 serat ijuk dan pemanas air (*heater*).

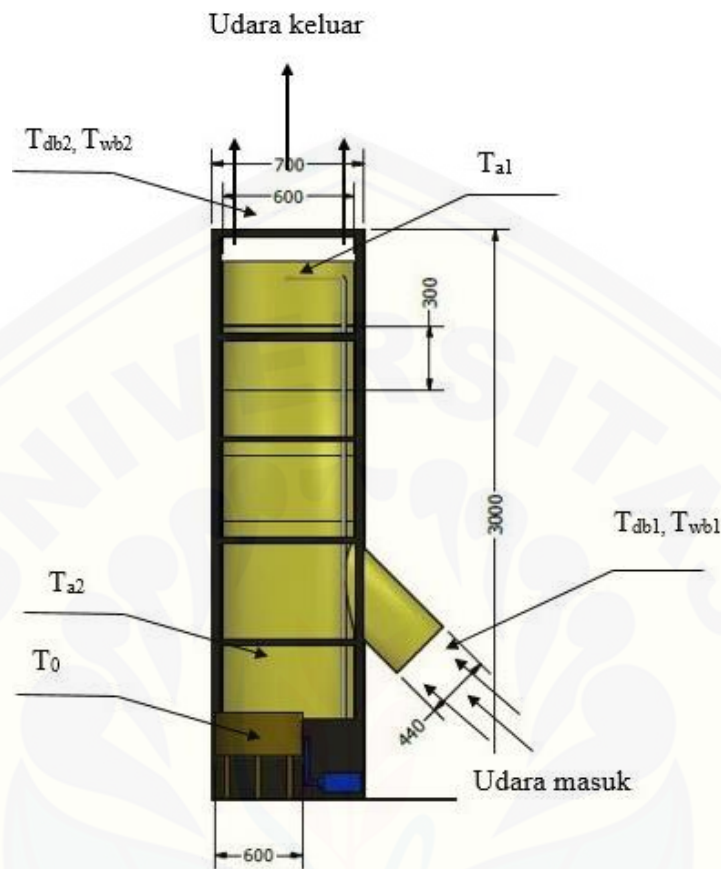
3.4.2 Pemeriksaan alat pengujian

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

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 serat ijuk, dan *heater* dengan benar yaitu dengan menghubungkan pipa dari *heater* ke *cooling tower*, serta menaruh bahan pengisi serat ijuk di bawah *nozzle*. Pemasangan alat ukur suhu (*termokopel*) pada titik-titik yang telah ditentukan menggunakan terminal port pada 7 titik yang diamati, Yaitu pada T_0 , T_{a1} , T_{a2} , T_{db1} , T_{bd2} , T_{wb1} , T_{wb2} . Seperti terlihat pada gambar 3.4 dibawah ini.



Gambar 3.4 Penempatan titik-titik pengukuran suhu

Dimana :

T_0 : Suhu air *heater*

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

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

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

T_{db2} : Suhu bola kering keluar *Cooling Tower*

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

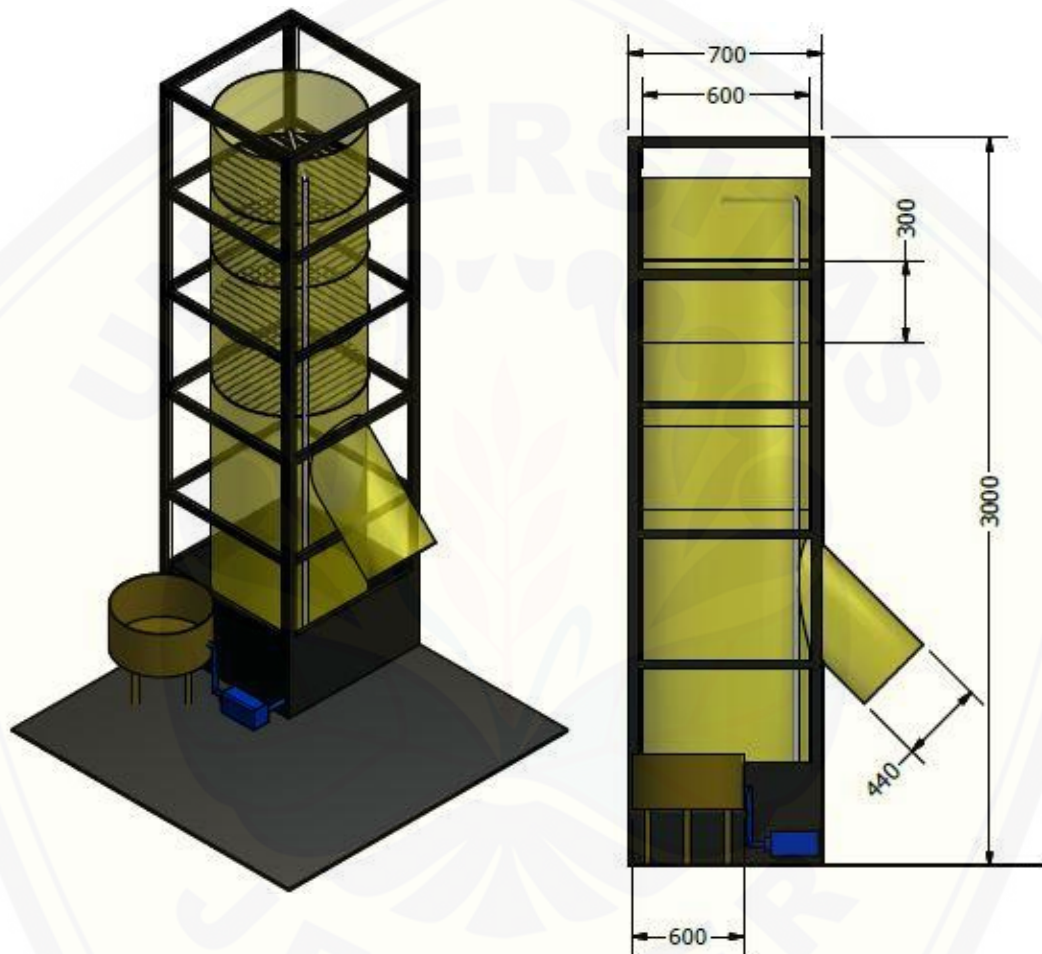
T_{wb2} : Suhu bola basah keluar *Cooling Tower*

2. Pemasangan pengisi dengan variasi jarak 20 cm, 30 cm, dan 40 cm.

3. Panaskan air dalam *heater* dengan tingkat suhu variasi 50 °C
4. Hubungkan pompa *cooling tower* dengan tegangan listrik 220 Volt.
5. Atur kecepatan aliran air dengan variasi kecepatan awal 1,14 m/s 1,29 m/s dan 1,55 m/s
6. Selanjutnya menjalankan alat uji sampai sistem dan aliran air bersirkulasi dengan baik pada *cooling tower*.
7. Mencatat suhu yang ditunjukkan oleh pengukur suhu pada semua titik laju aliran pelepasan panas. Dengan variasi kecepatan fluida *cooling tower* dan variasi jarak pengisi yang sudah ditentukan.
8. Pengumpulan data.

3.5 Rangkaian *Cooling Tower Forced Draft Counterflow*.

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



Gambar 3.5 Skema rangkaian *cooling tower forced draft counterflow*.

3.6 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.

3.6.1. Variabel Bebas

Variabel bebas yaitu variabel yang bebas ditentukan oleh peneliti sebelum melakukan penelitian. Variabel bebas pada percobaan ini adalah variasi kecepatan fluida masuk yaitu 1,14 m/s, 1,29 m/s dan 1,55 m/s dan variasi jarak pengisi 20 cm, 30 cm, 40 cm.

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} .

3.7 Analisa Data

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

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

d) Kapasitas pendinginan

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

Dimana:

$$Q = \text{kapasitas pendinginan (KJ/s)}$$

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

C_p = kalor jenis air (KJ/kg °C)

ΔT = perbedaan suhu air masuk dan suhu air keluar (°C)

e) Debit air spesifik

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

Dimana:

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

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

A_{tower} = luas penampang cooling tower (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 cooling tower (kg uap air / kg udara)

V = 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).

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

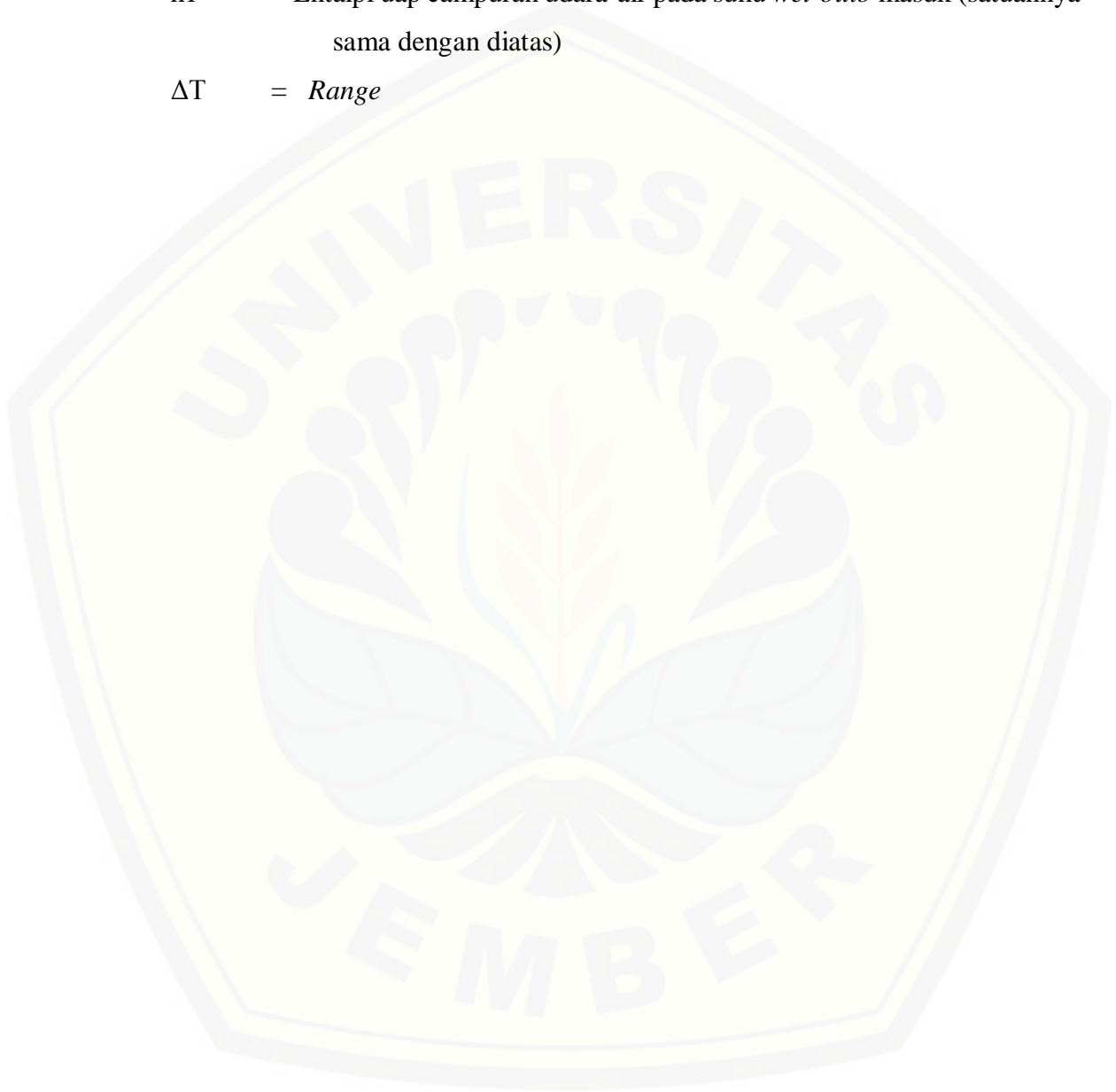
Dimana:

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)

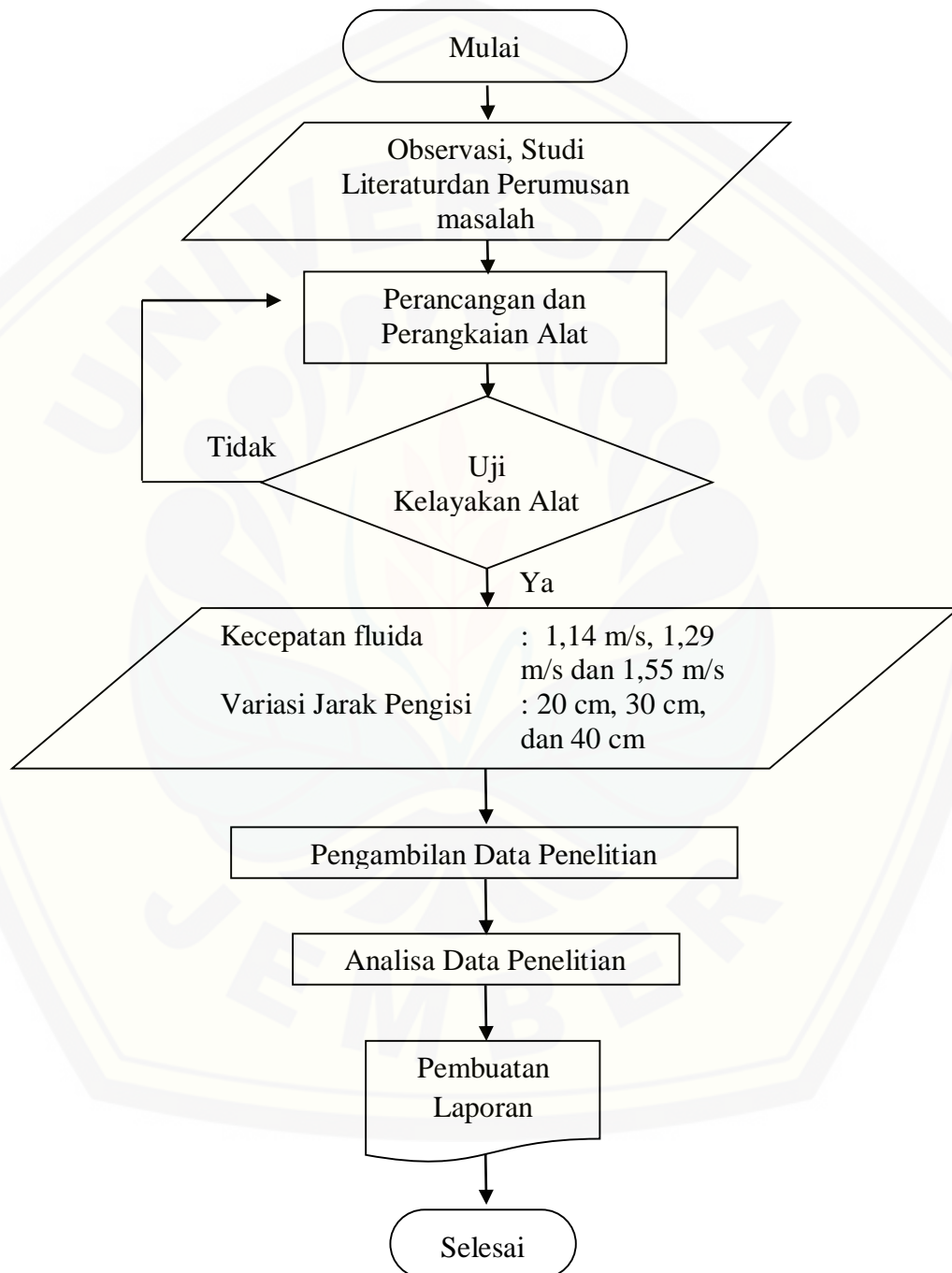
h_1 = Entalpi uap campuran udara-air pada suhu *wet-bulb* masuk (satunya sama dengan diatas)

ΔT = *Range*



3.8 Diagram Alir

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



Gambar 3.6 Diagram alir penelitian

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

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

- a. Penambahan variasi kecepatan fluida air masuk dapat berpengaruh terhadap kenaikan dan penurunan nilai kapasitas dan efektivitas pendinginan pada sebuah *cooling tower*. Terjadi peningkatan kapasitas pendinginan sebesar 13,12 % dari penelitian sebelumnya dengan variasi jarak pengisi, kecepatan fluida dan suhu awal yang sama. Kapasitas pendinginan tertinggi terjadi pada variasi kecepatan fluida 1,29 m/s dan jarak pengisi 40 cm adalah sebesar 13,81 kJ/s dengan suhu air masuk 51,87 °C.
- b. Penambahan variasi jarak antar bahan pengisi yang semakin tinggi dapat meningkatkan nilai kapasitas dan efektivitas pendinginan semakin meningkat. Terjadi peningkatan sebesar 4,33 %, dari penelitian sebelumnya dengan variasi jarak pengisi, kecepatan fluida dan suhu awal yang sama. Efektivitas tertinggi terjadi pada variasi kecepatan fluida 1,29 m/s dan jarak pengisi 40 cm yaitu sebesar 84,40 %.

5.2 Saran

Penelitian mengenai Analisis Variasi Kecepatan Fluida dan Jarak Pengisi Serat Ijuk pada *Cooling Tower Forced Draft Counterflow* telah selesai dilaksanakan, maka disarankan beberapa hal sebagai berikut :

- a. Kajian ini masih terbatas pada analisa pengaruh kecepatan fluida dan jarak jarak pengisi pada *cooling tower*. Penelitian lanjutan diharapkan dapat memvariasikan komponen seperti variasi bahan pengisi, profil pengisi dan variasi kecepatan udara sehingga memperoleh prestasi kerja *cooling tower* semakin baik.

- b. Variasi dapat dilakukan pada nozzle agar air dapat terdistribusi merata ke seluruh bagian cooling tower. Variasi kecepatan udara masuk dan bahan pengisi juga akan mempengaruhi kinerja dari *cooling tower*.
- c. Hasil penelitian ini merupakan data pendukung lanjutan yang dapat digunakan oleh pihak-pihak yang berkepentingan dalam pemilihan jenis *cooling tower*.



DAFTAR PUSTAKA**BUKU**

- Church, A. H. 1996. *Pompa dan blower sentrifugal*. Jakarta: Erlangga
- Dietzel, F. 1990. *Turbin pompa dan kompressor*. Jakarta: Erlangga
- EL-Wakil, M. M, dan Jasjfi, E, 1992. *Instalasi Pembangkit Daya. Power Plant Technology*. 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

JURNAL

- 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.
- Johanes, S. 2011. *Karakteristik Menara Pendingin Dengan Bahan Isian Tali Ijuk*. Yogyakarta: Jurnal Jurusan Teknik Mesin, Universitas Gadjah Mada.
- Lempang, M. 2012. *Pohon Aren dan Manfaat Produksinya*. Makassar: Balai Penelitian Kehutanan Makassar.
- Mulyono. 2010. *Analisa Beban Kalor Menara Pendingin Basah Induced-Draft Aliran Lawan Arah*. Semarang: Jurnal Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang.
- Putro, D. W. 2010. *Pengujian Kinerja Pompa Sentrifugal Menggunakan Kontrol Inverter*. Jurnal Ilmiah Semesta Teknika. Vol. 13, (1): 21-30.
- Ramkrishnan, R. 2013. *Experimental Study Of Cooling Tower Performance Using Ceramic Tile Packin*. India: Department of Mechanical Engineering, Annamalai University

Sudrajat, R. M. M. 2015. *Analisa Variasi Tegangan Kipas Cooling Tower Induced Draft Counterflow dengan Pengisi Bambu Wulung*. Jember: Jurnal Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Wibisono, Y. 2005. *Perbandingan Unjuk Kerja Atas Bahan Pengisi Pada Menara Pendingin Tipe Induced Counter Flow*. Jurnal teknologi pertanian. Unibraw.

Yunita, Nasrullah Idris, dan Abdullah. 2012 *Thermal Conductivity of Foamed Concrete Fibre Arenga Pinnata Merr*. Banda Aceh : *Journal of The Aceh Physical Society, SS, Vol. 1 (1): 13-14*.

INTERNET

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]

Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia. 2006. *Peralatan Energi Listrik Menara Pendingin*. – www.energyefficiencyasia.org [25 November 2014]

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]

Wikimedia Commons. 2010. *Spray Water-Cooling Plant For Condensing Engines*. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Spray_watercooling_plant_for_condensing_engines_\(Rankin_Kennedy,_Modern_Engines,_Vol_IV\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Spray_watercooling_plant_for_condensing_engines_(Rankin_Kennedy,_Modern_Engines,_Vol_IV).jpg)



LAMPIRAN 1. TABEL DATA HASIL PENGUJIAN

A.1 KECEPATAN FLUIDA 1,55 m/s DAN JARAK PENGISI 20 cm

Waktu (s)	T0	Ta1	Ta2	Tdb1	Tdb2	Twb1	Twb	Qa	vu
20	50,30	51,20	35,50	30,20	31,70	25,90	30,30	0,00018	2,20
40	51,00	50,70	35,40	29,90	31,30	26,40	30,40	0,00018	2,20
60	50,20	51,50	34,90	30,20	31,20	26,30	30,50	0,00018	2,30
80	51,00	50,90	34,80	30,10	30,60	26,30	29,80	0,00018	2,20
100	49,00	50,50	35,10	30,20	31,50	26,50	30,30	0,00018	2,20
120	50,00	50,10	34,40	30,50	30,80	26,40	30,50	0,00018	2,30
x	50,25	50,82	35,02	30,18	31,18	26,30	30,30	0,00	2,23

A.2 KECEPATAN 1,55 m/s DAN JARAK PENGISI 30 cm

Waktu (s)	T0	Ta1	Ta2	Tdb1	Tdb2	Twb1	Twb2	Qa	vu
20	49,60	50,80	35,60	30,60	31,50	26,70	30,50	0,00018	2,20
40	50,30	51,70	34,30	30,40	32,40	26,80	31,20	0,00018	2,30
60	50,50	51,50	34,70	29,90	31,70	25,90	30,50	0,00018	2,30
80	50,10	50,30	35,20	30,10	32,50	26,20	31,50	0,00018	2,20
100	50,30	51,40	34,80	30,20	31,40	26,20	30,60	0,00018	2,10
120	50,70	51,30	35,30	30,50	32,80	26,40	31,30	0,00018	2,20
x	50,25	51,17	34,98	30,28	32,05	26,37	30,93	0,00018	2,22

A.3 KECEPATAN 1,55 m/s DAN JARAK PENGISI 40 cm

Waktu (s)	T0	Ta1	Ta2	Tdb1	Tdb2	Twb1	Twb2	Qa	vu
20	51,50	52,10	34,40	28,70	32,80	26,10	31,70	0,00018	2,30
40	50,90	51,20	34,30	28,60	32,40	26,00	32,20	0,00018	2,20
60	50,70	51,30	33,50	28,60	31,60	26,10	31,80	0,00018	2,20
80	50,90	51,00	33,70	28,4	32,70	26,30	31,50	0,00018	2,20
100	50,50	51,20	34,30	28,70	32,20	26,00	31,30	0,00018	2,30
120	50,80	51,50	33,20	28,60	32,80	25,90	30,70	0,00018	2,20
x	50,88	51,38	33,90	28,64	32,42	26,07	31,53	0,00018	2,23

A.4 KECEPATAN FLUIDA 1,29 m/s DAN JARAK PENGISI 20 cm

Waktu (s)	T0	Ta1	Ta2	Tdb1	Tdb2	Twb1	Twb2	Qa	vu
20	51,30	51,90	31,90	30,50	31,20	26,30	31,40	0,00015	2,30
40	50,70	51,00	31,10	30,00	32,50	26,20	31,60	0,00015	2,20
60	50,10	49,50	31,80	30,00	33,30	25,90	31,20	0,00015	2,20
80	49,80	49,40	31,50	29,90	33,70	26,00	30,90	0,00015	2,20
100	50,60	51,00	30,40	29,60	33,80	25,80	31,10	0,00015	2,30
120	50,00	50,00	30,70	29,60	33,40	25,60	31,20	0,00015	2,30
x	50,42	50,47	31,23	29,93	32,98	25,97	31,23	0,00015	2,25

A.5 KECEPATAN FLUIDA 1,29 m/s DAN JARAK PENGISI 30 cm

Waktu (s)	T0	Ta1	Ta2	Tdb1	Tdb2	Twb1	Twb2	Qa	vu
20	50,20	50,70	30,90	31,50	31,90	26,20	31,30	0,00015	2,30
40	50,70	51,50	31,10	30,70	32,70	26,20	31,50	0,00015	2,20
60	50,60	51,20	30,80	30,60	33,10	26,70	31,70	0,00015	2,30
80	50,80	51,40	31,50	30,70	32,60	26,00	31,50	0,00015	2,20
100	50,80	51,30	30,40	30,60	32,40	25,80	31,60	0,00015	2,20
120	50,40	51,40	30,20	30,60	31,50	26,60	32,20	0,00015	2,20
x	50,58	51,25	30,82	30,78	32,37	26,25	31,63	0,00015	2,23

A.6 KECEPATAN FLUIDA 1,29 m/s DAN JARAK PENGISI 40 cm

Waktu (s)	T0	Ta1	Ta2	Tdb1	Tdb2	Twb1	Twb2	Qa	vu
20	52,20	52,90	29,90	28,00	34,20	25,90	33,50	0,00015	2,30
40	51,90	52,80	30,80	27,80	33,70	25,90	32,60	0,00015	2,20
60	51,30	51,70	29,50	27,90	33,80	25,90	32,70	0,00015	2,30
80	51,40	51,50	29,70	28,00	34,50	25,80	32,60	0,00015	2,30
100	50,80	51,30	30,20	28,20	34,50	25,90	33,10	0,00015	2,20
120	50,60	51,00	29,60	28,10	34,10	26,00	33,30	0,00015	2,30
x	51,37	51,87	29,95	28,00	34,13	25,90	32,97	0,0002	2,27

A.7 KECEPATAN FLUIDA 1,14 m/s DAN JARAK PENGISI 20 cm

Waktu (s)	T0	Ta1	Ta2	Tdb1	Tdb2	Twb1	Twb2	Qa	vu
20	51,00	51,90	31,40	30,90	30,50	25,70	28,00	0,00013	2,20
40	50,30	51,10	32,90	28,40	32,40	26,40	31,80	0,00013	2,20
60	49,80	50,40	33,60	28,00	32,60	26,20	32,10	0,00013	2,20
80	50,40	51,20	33,90	28,50	32,20	26,30	30,70	0,00013	2,20
100	49,70	50,10	33,40	27,90	31,90	25,80	30,60	0,00013	2,30
120	49,80	50,00	32,90	28,40	32,00	26,30	31,30	0,00013	2,20
x	50,17	50,78	33,02	28,68	31,93	26,12	30,75	0,00013	2,22

A.8 KECEPATAN FLUIDA 1,14 m/s DAN JARAK PENGISI 30 cm

Waktu (s)	T0	Ta1	Ta2	Tdb1	Tdb2	Twb1	Twb2	Qa	vu
20	50,20	51,20	32,80	29,60	32,60	26,30	31,20	0,00013	2,20
40	50,50	51,40	33,40	30,40	32,10	26,10	31,30	0,00013	2,30
60	50,70	51,10	33,50	30,10	32,40	25,70	31,40	0,00013	2,30
80	50,70	51,30	32,70	29,50	32,70	26,30	31,50	0,00013	2,20
100	50,40	51,10	33,40	29,90	32,90	26,70	31,70	0,00013	2,10
120	50,60	50,50	32,50	28,80	32,60	26,20	31,20	0,00013	2,20
x	50,58	51,10	33,05	29,72	32,55	26,22	31,38	0,00013	2,22

A.9 KECEPATAN FLUIDA 1,14 m/s DAN JARAK PENGISI 40 cm

Waktu (s)	T0	Ta1	Ta2	Tdb1	Tdb2	Twb1	Twb2	Qa	vu
20	51,60	52,10	32,70	28,50	33,70	26,20	31,80	0,00013	2,30
40	51,70	52,00	33,80	28,20	34,40	26,40	32,00	0,00013	2,20
60	51,30	51,80	32,40	28,20	33,30	26,60	31,70	0,00013	2,20
80	50,80	51,50	32,30	28,30	32,60	25,90	31,40	0,00013	2,20
100	50,70	51,30	32,40	28,10	32,10	25,90	31,60	0,00013	2,30
120	50,80	51,00	32,50	28,20	31,10	26,40	31,80	0,00013	2,20
x	51,15	51,68	32,85	28,25	32,87	26,23	31,72	0,00013	2,23

Keterangan:

T_0	: Suhu air <i>heater</i>
T_{a1}	: Suhu air masuk <i>Cooling Tower</i>
T_{a2}	: Suhu air keluar <i>Cooling Tower</i>
T_{db1}	: Suhu bola kering masuk <i>Cooling Tower</i>
T_{bd2}	: Suhu bola kering keluar <i>Cooling Tower</i>
T_{wb1}	: Suhu bola basah masuk <i>Cooling Tower</i>
T_{wb2}	: Suhu bola basah keluar <i>Cooling Tower</i>
Q_a	: Debit Air
A_u	: Kecepatan udara
X	: Rata-rata

LAMPIRAN 2. NILAI RATA- DEBIT UDARA MASUK, RASIO KELEMBABAN, ENTALPI DAN VOLUME SPESIFIK.

Jarak Pengisi	Kecepatan Fluida	Debit Udara	Rasio Kelembaban		Entalpi		Volume Spesifik
		Q_u	WH_1	WH_2	h_1	h_2	V_1
20	1,55	0,1620	0,0204	0,0276	82,38	102,1	0,886
	1,29	0,1632	0,0196	0,0289	80,91	107,13	0,889
	1,14	0,1608	0,0207	0,0283	82,34	104,51	0,887
30	1,55	0,1608	0,0202	0,0287	81,94	105,76	0,886
	1,29	0,1620	0,0197	0,030	81,43	109,44	0,887
	1,14	0,1620	0,0205	0,0294	82,15	108,00	0,885
40	1,55	0,1608	0,0203	0,0297	80,68	108,91	0,881
	1,29	0,1644	0,0203	0,0320	80,01	117,15	0,880
	1,14	0,1620	0,0204	0,0300	80,44	109,87	0,880

LAMPIRAN 3. PERHITUNGAN

a). Range = temperatur air masuk – Temperatur air keluar

$$\begin{aligned} &= T_{a1} - T_{a2} \\ &= 50,82 \text{ }^{\circ}\text{C} - 35,02 \text{ }^{\circ}\text{C} \\ &= 15,8 \text{ }^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

b). Approach = temperatur air keluar – suhu bola basah

$$\begin{aligned} &= 35,02 \text{ }^{\circ}\text{C} - 26,3 \text{ }^{\circ}\text{C} \\ &= 8,42 \text{ }^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

c). Efektivitas pendinginan (%) = $100 \times (\text{range}) / (T_{a1} - T_{wb1})$

$$\begin{aligned} &= 100 \times (15,8 \text{ }^{\circ}\text{C}) / (50,8 \text{ }^{\circ}\text{C} - 26,3 \text{ }^{\circ}\text{C}) \\ &= 64,46 \% \end{aligned}$$

d). Kapasitas pendinginan (kJ/s) = $\dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T$

$$\begin{aligned} &= 0,18 \text{ kg/s} \times 4,2 \text{ kJ/kg.K} \times 15,8 \text{ K} \\ &= 11,94 \text{ kJ/s} \end{aligned}$$

e). Debit air spesifik (kg/s.m²) = $\dot{m} / A_{\text{tower}}$

$$\begin{aligned} &= 0,18 \text{ kg/s.m}^2 / 3,14 \times (0,3)^2 \\ &= 0,64 \text{ kg/s.m}^2 \end{aligned}$$

f). Rasio air udara = $\dot{m}_{\text{sp}} / \dot{m}_u$

$$= 0,64 \text{ kg/s.m}^2 / 2,42 \text{ kg/s.m}^2$$

$$= 0,26$$

$$g). \text{ Laju penguapan } (\ell/\text{menit}) = (\omega H_2 - \omega H_1) \times \frac{V}{\rho \cdot v} \times 60$$

$$= (0,0276 - 0,0204) \times (0,161) / (0,99285 \times 0,886) \times 60$$

$$= 0,080 \ell/\text{menit}$$

$$h). \text{ Perbandingan aliran massa cair dan gas } (\text{kJ}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}) = (h_2 - h_1) / 4,19 \times \Delta T)$$

$$= (102,10 \text{ kJ}/\text{kg} - 82,38 \text{ kJ}/\text{kg}) / 4,19 \times 15,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$= 0,30 \text{ kJ}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}$$

LAMPIRAN 4. HASIL SEMUA PERHITUNGAN RATA-RATA

Jarak	Kec.	range	App	Ef	Q	m _{sp}	m _u	R	LPA	L/G
Pengisi	Fluida	(^o C)	(^o C)	(%)	(KJ/s)	kg/s.m ²	kg/s.m ²	A/U	L/menit	kJ/kg ^o C
20	1,55	15,80	8,72	64,45	11,94	0,64	2,42	0,26	0,080	0,30
	1,29	19,23	5,27	78,50	12,12	0,53	2,44	0,22	0,103	0,33
	1,14	17,77	6,90	72,03	9,70	0,46	2,40	0,19	0,083	0,30
30	1,55	16,18	8,62	65,26	12,23	0,64	2,40	0,27	0,094	0,35
	1,29	20,43	4,57	81,73	12,87	0,53	2,42	0,22	0,113	0,33
	1,14	18,05	6,83	72,54	9,86	0,46	2,42	0,19	0,099	0,34
40	1,55	17,48	7,83	69,06	13,22	0,64	2,40	0,27	0,103	0,39
	1,29	21,92	4,05	84,40	13,81	0,53	2,45	0,22	0,132	0,40
	1,14	18,83	6,62	74,00	10,28	0,46	2,42	0,19	0,107	0,37

LAMPIRAN 5. GAMBAR PENGUJIAN

Gambar alat pembaca suhu *cooling tower*

Gambar pengaturan variasi kecepatan fluida



Gambar susunan bahan pengisi



Gambar *nozzle*



Gambar kipas cooling tower



Gambar pemanas air



Gambar *cooling tower*