

# Analisis Performa Cooling Tower LCT 400 Pada P.T. XYZ, Tambun Bekasi

Yopi Handoyo<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Dosen Program Studi Teknik Mesin, Universitas Islam 45 Bekasi

## ABSTRAK

Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui performa cooling tower LCT 400 pada PT., XYZ apakah masih layak untuk digunakan untuk proses pendinginan mesin kompresor dan air dryer. Metode penelitian yang digunakan adalah metode statistik deskriptif, dengan metode ini menguraikan suatu studi dokumen yang dilengkapi dengan gambar dan tabel yang berhubungan dengan proses performa cooling tower LCT 400 di PT., XYZ. Kemudian dievaluasi apakah sudah sesuai dengan kondisi masa sekarang. Cara kerja cooling tower khususnya tipe LCT 400 adalah dengan menggunakan prinsip counterflow air yang masuk ke cooling tower (water flow outlet) dipercikan dengan nozzle dari sprinkle head yang berputar diatas filler pvc. Lalu udara yang masuk dari kisi-kisi samping mesin (air flow inlet) bertemu sepiintas dengan air dari outlet disana terjadilah proses konveksi paksa. Hawa panas yang ada didalam air dibuang keluar bersamaan dengan udara (air flow outlet) kemudian air jatuh seperti rintik-rintik air hujan dan tertampung di dalam water basin. Secara ringkas metode ini dapat digunakan dalam melakukan tugas akhir, antara lain adalah: studi literatur, proses pengumpulan data, pengolahan data, dan analisis pembahasan cooling tower LCT 400 pada PT., XYZ semoga dapat dilaksanakan dengan baik secara keseluruhan.

Kata kunci: *cooling tower, sirkulasi air pendingin, analisis performa*

## 1. Pendahuluan

### 1.1. Latar Belakang Masalah

Cooling tower dewasa ini sangat diperlukan di tiap industri khususnya industri otomotif dalam rangka pelaksanaan untuk efisiensi dan konversi energi dimana digunakan suatu alat atau unit yang digunakan untuk sirkulasi air pendingin. Air pendingin yang berasal dari alat atau sistem penukar panas didinginkan di menara pendingin dengan cara mengontakkan dengan udara yang dilewatkan secara berlawanan arah. Bila zat cair panas dikontakkan dengan gas tak jenuh, sebagian dari zat cair itu akan menguap dan suhu zat cair akan turun. Penurunan suhu zat cair demikian biasanya merupakan tujuan dari berbagai operasi kontak gas dan zat cair, lebih – lebih kontak udara – gas. Fungsi *cooling tower* adalah memproses air atau *cooling tower* yang panas menjadi air dingin, sehingga dapat digunakan kembali. Konstruksi cooling tower terdiri dari sistem pemipaan dengan banyak *nozzle, fan/blower*, bak. Namun sistem dan komponen yang digunakan pada *cooling tower* di PT. XYZ, - TAMBUN sudah berumur sekian tahun karena itu perlu dianalisa terhadap kinerja mesin tersebut. Dari uraian latar belakang masalah diatas penulis tertarik untuk melakukan penelitian terhadap mesin tersebut dengan judul **Analisis Performa Cooling Tower LCT 400 Pada PT. XYZ, Tambun Bekasi.**

### 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang diatas maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut :

1. Bahwa *cooling tower* LCT 400 pada PT., XYZ, Tambun Bekasi telah digunakan selama 23 tahun (sejak tahun 1990).
2. Oleh karena itu *cooling tower* LCT 400 tersebut perlu dianalisa performanya.
3. Hasil analisa performa terhadap *cooling tower* LCT 400 akan direkomendasikan pada manajemen di PT., XYZ untuk tindakan perawatan atau investasi alat baru.

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Menghasilkan analisis performa *cooling tower* LCT 400 pada PT. XYZ Tambun, Bekasi.
2. Untuk memperoleh nilai *range, approach*, efektivitas mesin rata – rata *cooling tower* LCT 400 merek Liang Hoo pada PT. XYZ Tambun, Bekasi.

### 1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah adalah sebagai berikut, yaitu:

1. Analisis kinerja *cooling tower* LCT 400.
2. Cooling Tower LCT 400 pada PT. XYZ, - TAMBUN, BEKASI.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini ditinjau dari tujuannya memiliki manfaat sebagai berikut:

1. Memperdalam pengetahuan dibidang Teknik Mesin dan ilmu-ilmu yang terkait khususnya dalam konversi energi.
2. Dapat dipakai sebagai bahan landasan untuk penelitian selanjutnya.

---

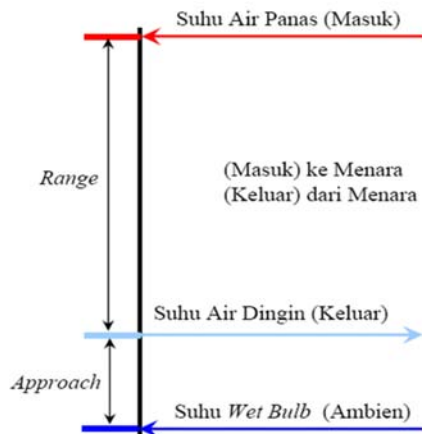
Yopi Handoyo, “Analisis Performa Cooling Tower LCT 400 Pada PT. XYZ, Tambun Bekasi”

Jurnal Imiah Teknik Mesin, Vol. 3, No.1 Februari 2015 Universitas Islam 45 Bekasi, <http://ejournal.unismabekasi.ac.id>

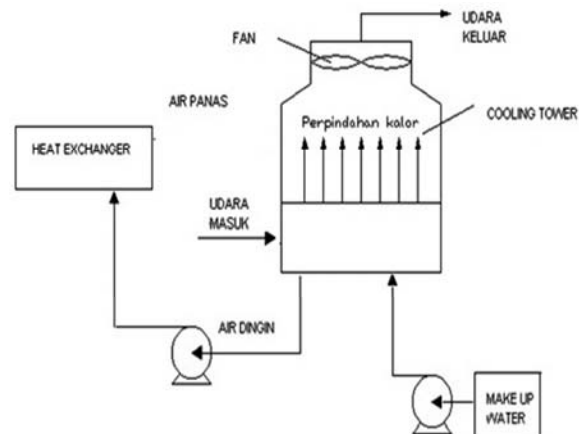
## 2. Menara Pendingin (Cooling Tower)

### 2.1 Pengertian Menara Pendingin

Menara pendingin didefinisikan sebagai alat penukar kalor yang fluida kerjanya adalah udara dan air yang berfungsi mendinginkan air dengan mengontaknya ke udara sehingga menguapkan sebagian kecil dari air tersebut. Dalam kebanyakan menara pendingin yang melayani sistem refrigerasi dan penyamanan-udara, menggunakan satu atau lebih kipas propeler untuk menggerakkan udara secara vertikal keatas atau horisontal melintasi menara. Prestasi menara pendingin biasanya dinyatakan dalam *range* dan *approach* seperti yang terlihat pada gambar berikut.



Gbr 2.6. Range & Approach temperatur Menara Pendingin



Gambar 2.7 Skema Menara Pendingin

*Range* adalah pengurangan suhu air yang melalui menara pendingin sedangkan *approach* adalah selisih antar suhu bola basah (wet bulb) yang masuk dan suhu air yang keluar. Suhu pada umumnya diukur menggunakan termometer biasa yang sering dikenal seperti suhu bola-basah (wet bulb) dan suhu bola-kering (dry bulb) adalah suhu yang bolanya di beri kasa basah, jika air menguap dari kasa dan bacaan suhu pada termometer menjadi rendah daripada suhu bola-kering. Saat kelembaban tinggi, penguapan akan berlangsung lambat dan suhu bola-basah ( $T_{wb}$ ) identik dengan suhu bola-kering ( $T_{db}$ ). Namun suhu temperatur bola basah akan semakin jauh perbedaannya dengan temperatur bola kering. Adapun sistem mesin pendingin yang paling banyak digunakan adalah sistem kompresi uap. Secara garis besar komponen sistem pendingin siklus kompresi uap terdiri dari:

1. Kompresor, berfungsi untuk mengkompresi refrigeran dari fasa uap tekanan rendah evaporator hingga ke tekanan tinggi kondensor.
2. Kondensor, berfungsi untuk mengkondensasi uap refrigeran kalor lanjut yang keluar dari kompresor.
3. Katup ekspansi, berfungsi untuk menjepit (*throttling*) refrigeran bertekanan tinggi yang keluar dari kondensor dimana setelah melewati katup ekspansi ini tekanan refrigeran turun sehingga fasa refrigeran setelah keluar dari katup ekspansi ini adalah berupa fasa cair + uap.
4. Evaporator, berfungsi untuk menguapkan refrigeran dari fasa cair + uap menjadi fasa uap.

### 2.4 Fungsi Menara Pendingin

Mesin pendingin akan melepaskan kalor melalui kondensor, refrigeran melepaskan kalornya ke air pendingin sehingga air tersebut menjadi panas. Selanjutnya air panas ini dipompa menuju menara pendingin. Tujuan menara pendingin ialah menyerap banyak kalor dan menyediakan banyak air pendingin untuk digunakan pada instalasi pendingin dengan kata lain menara pendingin mempunyai fungsi menurunkan suhu air dan mengekstrak kalornya menuju atmosfer. Menara pendingin mampu menurunkan suhu air lebih rendah daripada mesin pendingin lain yang menggunakan metode pendingin udara, seperti radiator pada kendaraan bermotor.

### 2.5 Prinsip Kerja Menara Pendingin

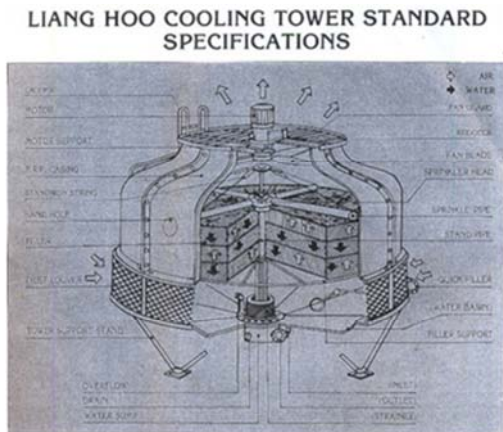
Prinsip kerja menara pendingin berdasarkan pada pelepasan kalor dan perpindahan kalor. Dalam menara pendingin, perpindahan kalor berlangsung dari air ke udara. Menara pendingin menggunakan penguapan dimana sebagian air diuapkan ke aliran udara yang bergerak dan kemudian dibuang ke atmosfer. Sehingga air yang tersisa didinginkan secara signifikan.

Prinsip kerja menara pendingin dapat dilihat pada gambar di atas. Air dari bak/basin dipompa menuju heater untuk dipanaskan dan dialirkan ke menara pendingin. Air panas yang keluar tersebut secara langsung

melakukan kontak dengan udara sekitar yang bergerak secara paksa karena pengaruh *fan* atau *blower* yang terpasang pada bagian atas menara pendingin, lalu mengalir jatuh ke bahan pengisi.

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

## 2.6 Konstruksi Menara Pendingin



Gbr 2.8 Spesifikasi menara pendingin tipe LCT 400

Konstruksi menara pendingin tipe LCT 400 jenis *cross-flow* adalah sebagai berikut.

### 1. Rangka dan casing

Hampir semua menara 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. Terdapat bahan pengisi antara lain:

Bahan pengisi berbentuk percikan/*splash fill*: air jatuh bodi atas lapisan yang berurut dari batang pemercik horizontal, 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.

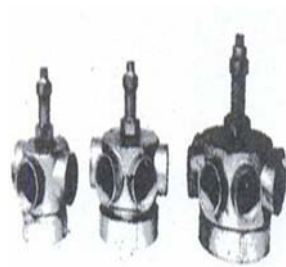
Bahan pengisi berbentuk film: terdiri dari permukaan plastik yang tipis dengan jarak yang berdekatan dimana di atasnya terdapat semprotan air, membentuk lapisan film yang tipis dan melakukan kontak dengan udara. Permukaannya dapat berbentuk datar bergelombang, berlekuk, atau pola lainnya. Jenis bahan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

#### 1. Kolam air dingin

Kolam air dingin terletak pada atau dekat bagian bawah menara, dan menerima air dingin yang mengalir turun melalui menara dan bahan pengisi. Kolam biasanya memiliki sebuah lubang atau titik terendah untuk pengeluaran air dingin.

#### 2. Sprinkle Head

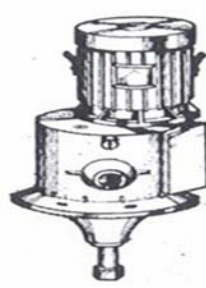
Alat ini mendistribusikan air dengan cara berputar dari pipa *inlet* dan menyebarkannya melalui pipa yang terpasang di sisi-sisinya di atas *filler pvc*, alat ini tidak menggunakan motor tapi berputar karena adanya tekanan air. *Part* ini terbuat dari besi *aluminium*.



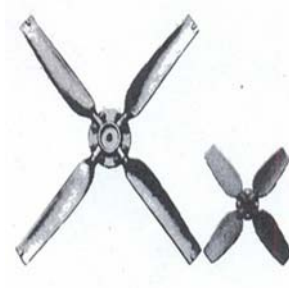
Gambar 2.9 Sprinkle Head



Gambar 2.10 Filler PVC



Gambar 2.11 Reducer



Gambar 2.12 Fan Blade

#### 3. Filler PVC

Alat ini mempunyai kemampuan *transfer* panas yang tinggi sampai 54 derajat *celcius*, alat ini digunakan untuk memperlambat jatuhnya air seperti penampung air sementara dari *nozzle* pipa *sprinkle head* untuk mempertemukan udara yang masuk dari luar dengan air sehingga suhu udara dalam air bisa dikurangi.

#### 4. Reducer

Alat ini digunakan sebagai motor pada *fan blade*, untuk penggunaannya ada yang memakai roda gigi dan belt tapi tanpa bunyi berisik.

5. *Fan Blade*  
Kipas aksial (jenis baling-baling) dan sentrifugal keduanya digunakan di dalam menara. Kipas ini disesuaikan untuk mengirim aliran udara yang dikehendaki, untuk model LCT 3 sampai 30 model ini terbuat dari plastik dan untuk model LCT 40 terbuat dari besi *aluminium*.
6. Saluran udara masuk  
Ini adalah titik masuk bagi udara menuju menara. Saluran masuk ini dapat berada pada seluruh sisi menara.
7. *Nozzle*  
Alat ini berada pada pipa yang dipasangkan di *sprinkle head* berguna untuk menyemprotkan air *outlet* diatas *filler PVC*.
- 10 *Cooling Tower (Supply) Basin*  
Air yang berasal dari pompa ditampung didalam *basin* lalu didistribusikan ke mesin – mesin untuk sirkulasi, *water inlet* juga ditampung dalam 1 *water basin* pada *cooling tower* kemudian disirkulasikan berulang kali.

## 2.7 Performa Menara Pendingin

Performa menara pendingin dievaluasi untuk membahas *approach* dan *range* operasi pada nilai rancangan, indentifikasi area pemborosan energi, dan juga untuk sarana perbaikan. Sebagai evaluasi performa, pemantauan dilaksanakan untuk mengukur parameter-parameter signifikan berikut ini:

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

Parameter terukur akan digunakan untuk mengukur performa menara pendingin dengan beberapa cara yaitu.

### a. *Range*

*Range* merupakan perbedaan atau jarak antara temperatur air masuk dan keluar menara pendingin. *Range* yang tinggi berarti bahwa menara pendingin telah mampu menurunkan suhu air secara efektif dan kinerjanya baik. Rumusnya adalah sebagai berikut.

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

*Range* bukan ditentukan oleh menara pendingin, namun oleh proses yang dilayaninya. *Range* pada suatu alat penukar kalor ditentukan seluruhnya oleh beban panas dan laju sirkulasi air yang melalui penukar panas dan menuju ke air pendingin. Menara pendingin biasanya dikhususkan untuk mendinginkan laju aliran tertentu dari satu suhu ke suhu lainnya pada suhu *wet bulb* tertentu.

### b. *Approach*

*Approach* adalah 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, akan tetapi, *approach* merupakan indikator yang lebih baik untuk kinerja menara pendingin.

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

Sebagaimana aturan yang umum, semakin dekat *approach* terhadap *wet bulb*, akan semakin mahal menara pendinginnya karena meningkatnya ukuran. Ketika ukuran menara harus dipilih, maka *approach* menjadi sangat penting, yang kemudian diikuti oleh debit air dan udara, sehingga *range* dan *wet bulb* mungkin akan menjadi semakin tidak signifikan.

### c. Efektivitas pendinginan

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

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

### d. Debit air spesifik

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

$$\dot{m}_{sp.} = A_{tower} \times V$$

dimana:  $\dot{m}_{sp.}$  = debit air spesifik ( $\ell/\text{min}/\text{m}^2$ )

$\dot{m}$  = debit air ( $\ell/\text{menit}$ )

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

$V$  = laju air ( $\text{m}^3/\text{menit}$ )

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

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.

$$Q = \dot{m} c_p \Delta T$$

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

$$Q_{Sp.} = \frac{Q}{A_{tower}}$$

- dimana:  $Q$  = kapasitas pendinginan (kW)  
 $\dot{m}$  = debit air (kg/s)  
 $C_p$  = kalor jenis air (KJ/kg°C)  
 $\Delta T$  = perbedaan suhu air masuk dan suhu air keluar (°C)  
 $A_{tower}$  = luas penampang menara pendingin (m<sup>2</sup>)

#### f. Laju penguapan air ke udara

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.

$$\text{Laju penguapan air (}\ell/\text{menit)} = (\omega_{H2} - \omega_{H1}) \times \frac{V}{\rho \cdot v_1} \times 60$$

dimana:

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

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

$\rho$  = densitas air = 0,99285 kg/ℓ

$v_1$  = volum spesifik udara ambien (m<sup>3</sup>/kg).

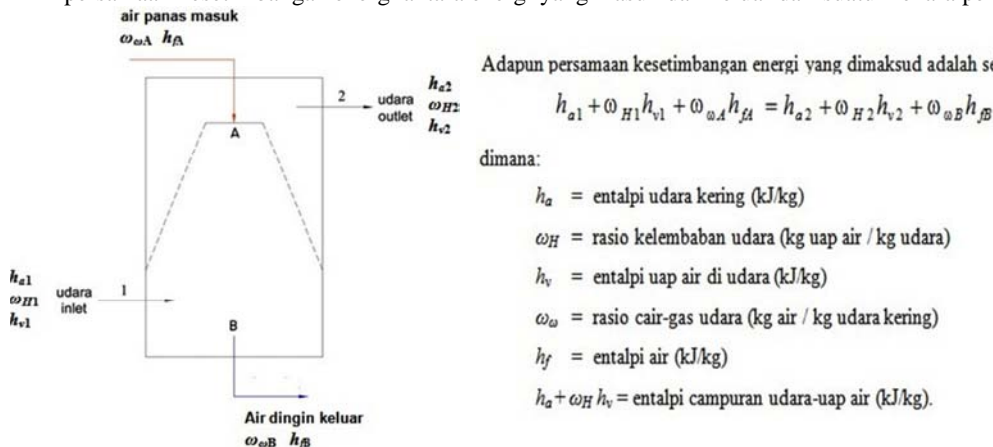
#### g. Rasio air dengan udara

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 minim

$$\text{Rasio air - udara} = \frac{\text{debit air spesifik (}\ell/\text{menit / m}^2\text{)}}{\text{debit udara spesifik (}\ell/\text{menit / m}^2\text{)}}$$

#### h. Kestimbangan energi

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

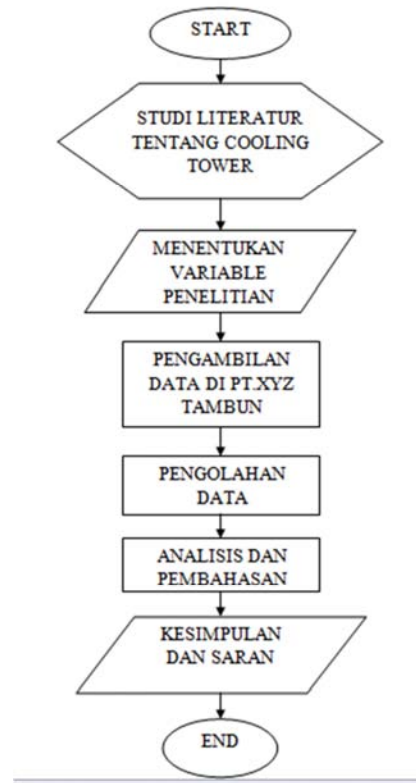


Gambar 2.13 Diagram menara pendingin

### 1. Metodologi Penelitian



### 3.1. Diagram Alir Penelitian



### 3.2 Sistem Sirkulasi Cooling Tower LCT 400

#### 3.2.1 Sistem Pendingin

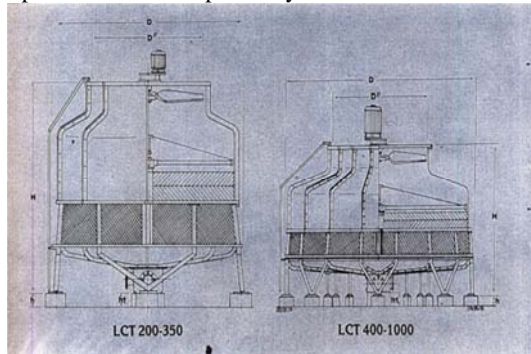
Sistem pendingin pada *cooling tower* menggunakan media air seperti halnya radiator pada mobil untuk sistem sirkulasinya tapi air yang digunakan tidak sembarang air tanah biasa tapi *industrial water* yang disuling oleh divisi *water threatment*, agar air tanah yang diambil berasal dari kedalaman puluhan sampai ratusan meter agar tidak mengganggu penggunaan air tanah untuk perumahan, alasan penyulingan air tanah ke *Industrial water*, dikarenakan penggunaan air tanah biasa yang kadar pH-nya kurang dari 7 akan dapat menimbulkan kerak dan korosi pada *cooling tower* dan pH air yang boleh diberlakukan pada air tersebut sekitar 7-8 tidak boleh kurang. *Cooling Tower LCT 400* digunakan untuk menstabilkan mesin-mesin pada divisi Power Maintenance khususnya kompresor dan *air dryer*. Sistem yang digunakan adalah metode konveksi paksa yang cara kerjanya adalah konveksi bekerja dengan sengaja. Dalam hal ini air yang menjadi fluida mesin ini akan terus berkurang karena penguapan, untuk hal ini ada sistem pengisian air otomatis untuk menyuplai kebutuhan air pada mesin ini. Cara kerja mesin *cooling tower* khususnya tipe LCT 400 adalah dengan menggunakan prinsip *Counterflow* air yang masuk ke mesin *cooling tower* (*water flow outlet*) dipercikan dengan *nozzle* dari *sprinkle head* yang berputar diatas *filler pvc*. Lalu udara yang masuk dari kisi-kisi samping mesin (*air flow inlet*) bertemu sejenak dengan air dari outlet disana terjadilah proses konveksi paksa. Hawa panas yang terdapat didalam air dibuang keluar bersama udara (*air flow outlet*) lalu air jatuh seperti rintik-rintik air hujan dan tertampung di dalam *water basin*.

Manfaat penggunaan *cooling tower* adalah

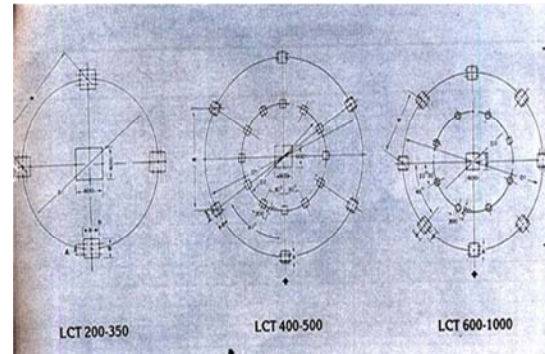
- Mencegah pencemaran lingkungan dengan memanfaatkan kembali barang yang seharusnya menjadi barang lain yang bersifat ekonomi.
- Memaksimalkan kinerja mesin-mesin produksi agar dapat digunakan lebih lama.
- Mencegah *overheat* pada mesin-mesin produksi sehingga suhu mesin tetap stabil.
- Bahan bakar yang digunakan hanya listrik dan media operasi memakai air dan udara dan tidak memakai bahan bakar fosil sehingga bebas dari emisi yang membahayakan lingkungan.

### 3.2.2 Ukuran Pipa Koneksi dan Base Cooling Tower LCT 400

Setiap *cooling tower* memiliki standar ukuran yang sudah ditentukan oleh pabrik pembuatnya. Untuk dimensi menara pendingin, pipa koneksi, dan *base* tergantung pada masing-masing tipe dan untuk spesifikasi tipe LCT 400 dan tipe lainnya antara lain:



Gambar 3.1 Macam-macam menara pendingin.



Gambar 3.2 Dimensi *base water basin* dan *anchor bolt*.

### 3.2.3 Pengukuran air flow dan water flow pada cooling tower LCT 400

Penulis mengukur *water* dan *air flow inlet-outlet* dengan jarak waktu sekitar 1 jam sekali sebanyak 10 kali pengukuran dimulai dari jam 8.00 WIB sampai jam 16.30 WIB dengan menggunakan alat *thermometer infrared*, tabel pengukuran tersebut berada dibawah ini:

Tabel 3.3 Hasil Pengukuran Temperatur Udara dan Air cooling tower LCT 400 Jam 08.00

Pengukuran Ke	Temperatur Udara		Temperatur Air	
	<i>Air Flow (Inlet)</i> °C	<i>Air Flow (Outlet)</i> °C	<i>Water Flow (Inlet)</i> °C	<i>Water Flow (Outlet)</i> °C
1	26,0	33,0	33,6	28,7
2	26,0	33,0	30,6	30,6
3	26,0	33,0	31,3	30,0
4	26,0	33,0	31,2	28,5
5	26,0	33,0	31,1	28,4
6	26,0	33,0	32,0	28,8
7	26,0	33,0	29,6	29,5
8	26,0	33,0	31,4	30,3
9	26,0	33,0	32,2	31,8
10	26,0	33,0	32,6	30,2

Tabel 3.4 Hasil Pengukuran Temperatur Udara dan Air Cooling tower LCT 400 Jam 09.00.

Pengukuran Ke	Temperatur Udara		Temperatur Air	
	<i>Air Flow (Inlet)</i> °C	<i>Air Flow (Outlet)</i> °C	<i>Water Flow (Inlet)</i> °C	<i>Water Flow (Outlet)</i> °C
1	27,0	34,0	33,2	30,3
2	27,0	34,0	32,9	30,0
3	27,0	34,0	32,2	30,9
4	27,0	34,0	32,7	30,8
5	27,0	34,0	32,6	31,7
6	27,0	34,0	32,2	30,8
7	27,0	34,0	33,5	32,5
8	27,0	34,0	34,5	32,5
9	27,0	34,0	31,9	29,7
10	27,0	34,0	32,0	30,0

Tabel 3.5 Hasil Pengukuran Temperatur Udara dan Air Cooling tower LCT 400 Jam 10.00

Pengukuran Ke	Temperatur Udara		Temperatur Air	
	<i>Air Flow (Inlet)</i> °C	<i>Air Flow (Outlet)</i> °C	<i>Water Flow (Inlet)</i> °C	<i>Water Flow (Outlet)</i> °C
1	27,0	33,0	32,4	29,9
2	27,0	33,0	33,5	29,6
3	27,0	33,0	32,9	30,3
4	27,0	33,0	34,3	30,6
5	27,0	33,0	35,6	32,3
6	27,0	33,0	34,2	32,6
7	27,0	33,0	33,5	29,6
8	27,0	33,0	32,9	32,4
9	27,0	33,0	32,7	32,5
10	27,0	33,0	32,6	29,7

Tabel 3.6 Hasil Pengukuran Temperatur Udara dan Air Cooling Tower LCT 400 Jam 11.00.

Pengukuran Ke	Temperatur Udara		Temperatur Air	
	<i>Air Flow (Inlet)</i> °C	<i>Air Flow (Outlet)</i> °C	<i>Water Flow (Inlet)</i> °C	<i>Water Flow (Outlet)</i> °C
1	29,0	37,0	31,0	29,5
2	29,0	37,0	34,9	32,3
3	29,0	37,0	35,4	32,2
4	29,0	37,0	35,2	31,8
5	29,0	37,0	36,2	32,3
6	29,0	37,0	33,2	32,8
7	29,0	37,0	36,9	32,0
8	29,0	37,0	36,1	32,3
9	29,0	37,0	33,5	32,6
10	29,0	37,0	34,6	31,4

Tabel 3.7 Hasil Pengukuran Temperatur Udara dan Air Cooling Tower LCT 400 Jam 12.00.

Pengukuran Ke	Temperatur Udara		Temperatur Air	
	<i>Air Flow (Inlet)°C</i>	<i>Air Flow (Outlet)°C</i>	<i>Water Flow (Inlet)°C</i>	<i>Water Flow (Outlet)°C</i>
1	27,0	35,0	37,1	33,0
2	27,0	35,0	35,5	32,1
3	27,0	35,0	41,4	30,7
4	27,0	35,0	40,8	30,6
5	27,0	35,0	42,0	30,7
6	27,0	35,0	42,2	30,8
7	27,0	35,0	40,7	30,7
8	27,0	35,0	39,8	31,1
9	27,0	35,0	37,7	37,6
10	27,0	35,0	42,1	37,6

Tabel 3.8 Hasil Pengukuran Temperatur Udara dan Air Cooling Tower LCT 400 Jam 13.00

Pengukuran Ke	Temperatur Udara		Temperatur Air	
	<i>Air Flow (Inlet)°C</i>	<i>Air Flow (Outlet)°C</i>	<i>Water Flow (Inlet)°C</i>	<i>Water Flow (Outlet)°C</i>
1	27,0	34,0	37,7	36,6
2	27,0	34,0	37,7	36,6
3	27,0	34,0	37,2	36,4
4	27,0	34,0	37,0	36,7
5	27,0	34,0	35,7	30,0
6	27,0	34,0	36,6	36,3
7	27,0	34,0	36,4	36,2
8	27,0	34,0	36,4	33,5
9	27,0	34,0	36,9	36,0
10	27,0	34,0	36,6	36,1

Tabel 3.9 Hasil Pengukuran Temperatur Udara dan Air Cooling Tower LCT 400 Jam 14.00

Pengukuran Ke	Temperatur Udara		Temperatur Air	
	<i>Air Flow (Inlet)°C</i>	<i>Air Flow (Outlet)°C</i>	<i>Water Flow (Inlet)°C</i>	<i>Water Flow (Outlet)°C</i>
1	27,0	30,0	35,2	34,0
2	27,0	30,0	35,9	35,1
3	27,0	30,0	35,3	34,5
4	27,0	30,0	36,8	35,2
5	27,0	30,0	35,8	34,9
6	27,0	30,0	35,3	34,1
7	27,0	30,0	37,2	34,7
8	27,0	30,0	34,8	34,7
9	27,0	30,0	37,7	34,7
10	27,0	30,0	34,8	34,1

Tabel 3.10 Hasil Pengukuran Temperatur Udara dan Air Cooling Tower LCT 400 Jam 15.00

Pengukuran Ke	Temperatur Udara		Temperatur Air	
	<i>Air Flow (Inlet)°C</i>	<i>Air Flow (Outlet)°C</i>	<i>Water Flow (Inlet)°C</i>	<i>Water Flow (Outlet)°C</i>
1	27,0	34,0	36,7	32,7
2	27,0	34,0	36,5	35,0
3	27,0	34,0	35,5	31,2
4	27,0	34,0	36,0	35,2
5	27,0	34,0	35,1	35,1
6	27,0	34,0	35,7	34,9
7	27,0	34,0	35,0	32,7
8	27,0	34,0	34,6	32,2
9	27,0	34,0	35,1	32,0
10	27,0	34,0	34,6	32,2

Tabel 3.11 Hasil Pengukuran Temperatur Udara dan Air Cooling Tower LCT 400 Jam 16.00.

Pengukuran Ke	Temperatur Udara		Temperatur Air	
	<i>Air Flow (Inlet)°C</i>	<i>Air Flow (Outlet)°C</i>	<i>Water Flow (Inlet)°C</i>	<i>Water Flow (Outlet)°C</i>
1	27,0	34,0	35,2	31,8
2	27,0	34,0	34,9	31,3
3	27,0	34,0	35,1	31,2
4	27,0	34,0	33,4	30,0
5	27,0	34,0	33,8	32,5
6	27,0	34,0	33,5	32,9
7	27,0	34,0	33,8	29,9
8	27,0	34,0	33,9	31,0
9	27,0	34,0	33,4	31,4
10	27,0	34,0	33,8	30,3

Tabel 3.12 Hasil Pengukuran Temperatur Udara dan Air Cooling Tower LCT 400 Jam 16.30

Pengukuran Ke	Temperatur Udara		Temperatur Air	
	<i>Air Flow (Inlet)°C</i>	<i>Air Flow (Outlet)°C</i>	<i>Water Flow (Inlet)°C</i>	<i>Water Flow (Outlet)°C</i>
1	26,0	33,0	33,3	30,1
2	26,0	33,0	34,0	30,3
3	26,0	33,0	33,9	31,2
4	26,0	33,0	33,4	30,8
5	26,0	33,0	33,9	30,9
6	26,0	33,0	33,3	30,8
7	26,0	33,0	33,6	30,6
8	26,0	33,0	33,6	30,7
9	26,0	33,0	32,5	30,2
10	26,0	33,0	33,5	30,5

### 3.2.4 Spesifikasi mesin penunjang produksi di divisi power maintenance pada PT. XYZ

Yopi Handoyo, "Analisis Performa Cooling Tower LCT 400 Pada PT.XYZ, Tambun Bekasi"

Jurnal Imiah Teknik Mesin, Vol. 3, No.1 Februari 2015 Universitas Islam 45 Bekasi, <http://ejournal.unismabekasi.ac.id>



Untuk menyuplai udara pada mesin-mesin produksi dibutuhkan alat yang dapat menunjang kebutuhan, alat-alat tersebut adalah kompresor dan *air dryer*. Fungsi kompresor di divisi *Power Maintenance* digunakan untuk menyuplai udara untuk mesin-mesin produksi di semua *workshop*, sebelum udara masuk ke tahap lain, terlebih dahulu udara di saring menggunakan *air filter* untuk menyaring kotoran yang terserap masuk ke kompresor lalu diteruskan ke mesin *air dryer*, spesifikasi mesin-mesin tersebut adalah:

Kompresor		Air Filter		Air Dryer	
Product Type	: ZT 160	Product Type	: PDP 5207	Product type	: CD 520 CE 230/60Hz
Serial no	: APF 135301	Serial Number	: APF 136012	Serial No	: APF 135685
Max work press	: 7.50 bar	M.A.W.P	: 16 bar (e) 232 psi	Max work press	: 11 bar
Input power	: 160 KW	Year of manufacture	: 2008	Year of manufacture	: 2008
Rotational shaft speed	: 1485	Input	: 1 micron		
Year of Manufacture	: 2008	Output	: 0.01 micron		

### 3.2.5 Spesifikasi mesin pompa sirkulasi pada cooling tower LCT 400

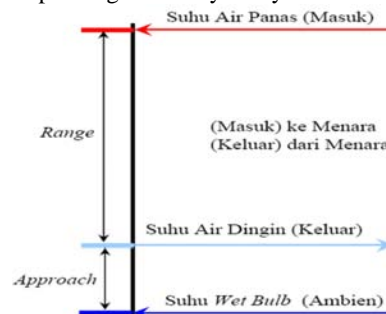
Pompa sirkulasi digunakan untuk menyerap air dari divisi water threatment lalu diteruskan ke cooling tower, di divisi power maintenance ada tiga pompa yang terpasang tapi hanya dua yang digunakan untuk proses sirkulasi, spesifikasi pompa tersebut yaitu :

Pompa Sirkulasi		Jenis	
Jenis	: TECO 3 phase	Jenis	: EBARA pump
Type	: AEEDKB 0 400 25 FMA	No series	: 070986
Serial	: H6079518091	Model	: 125x10 1FS4KA 5185
Tenaga	: 4 pole 25HP	CAP	: 2000 L/M
Daya	: 18,5KW	Head	: 30 M
Putaran	: 1455rpm	Daya	: 18,5 KW
Bearing	: 63IIZ/6310ZZ	Putaran	: 1450 rpm
Year of Manufacture	: 2007	Bearing	: 6307 ZZ
		Year of Manufacture	: 2007

## 4. Analisis Dan Pembahasan

### 4.1 Hasil pengujian

Untuk mengukur prestasi menara pendingin biasanya dinyatakan dalam *range* dan *approach* sbb :



Gambar 4.1 *Range* dan *approach* temperatur pada menara pendingin.

### 4.2 Hasil pengukuran performa menara pendingin LCT 400

#### 4.2.1 Range

*Range* adalah perbedaan antara suhu air masuk dan keluar cooling tower. *Range cooling tower* yang tinggi menunjukkan bahwa menara pendingin telah mampu menurunkan suhu air secara efektif, dan kinerjanya bagus. Perhitungan. Rumus dan contoh perhitungannya adalah sebagai berikut:

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

$$\text{Range CT} = \text{Suhu masuk CW} - \text{Suhu keluar CW} = 33,6 ^{\circ}\text{C} - 28,7 ^{\circ}\text{C} = 4,9 ^{\circ}\text{C}$$

#### 4.2.2 Approach

*Approach* adalah perbedaan suhu air dingin keluar *cooling tower* dan suhu wet bulb ambient. Saat kondisi *approach* rendah maka semakin baik performa menara pendingin. *Range* dan *approach* tetap dipantau, '*approach*' adalah indikator yang lebih baik untuk kinerja *cooling tower*. Rumus dan contohnya adalah sbb:

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

$$\text{Approach CT} = \text{suhu keluar CW} - \text{suhu wet bulb} = 28,7 - 26,0 = 2,7 (^{\circ}\text{C})$$

#### 4.2.3 Efektivitas

Efektivitas adalah perbandingan dalam persentase antara *range* dan *range* ideal ialah perbedaan antara suhu air pendingin masuk dan suhu *wet bulb* ambien, atau dengan rumus =  $Range (Range + Approach)$ . Semakin tinggi dalam perbandingan ini, akan semakin tinggi pula efektivitas *cooling tower*. Berikut rumusnya adalah sbb:

$$\text{Efektivitas CT(\%)} = 100\% \times (\text{suhu masuk CW} - \text{suhu keluar CW}) / (\text{suhu masuk CW} - \text{suhu WB})$$

Contoh perhitungan:

$$= 100\% \times (\text{suhu masuk CW} - \text{suhu keluar CW}) / (\text{suhu masuk CW} - \text{suhu WB})$$

$$= 100\% \times (33,6 - 28,7) / (33,6 - 26,0) = 4,9/7,6 = 0,6 = 100\% \times 0,6 = 60\%$$

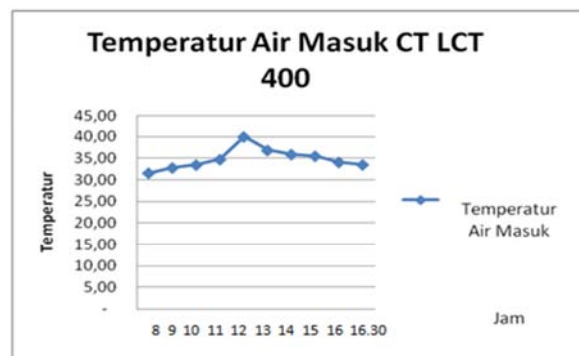
#### 4.2.4 Grafik hasil pengukuran performa cooling tower pada pukul 08.00 – 16.30

Setelah diketahui temperatur pada *cooling tower* LCT 400 pada pukul 08.00 pagi sampai pukul 16.30 sore untuk proses pengukuran antara lain yaitu, suhu air masuk – keluar, suhu udara masuk – keluar, *range*, *approach*, dan efektivitas pada tabel – tabel sebelumnya. Dibuatlah penilaian untuk membandingkan rata - rata temperatur sebanyak 10 kali pengukuran yang disertakan pada tabel dan grafik temperatur sbb :

Tabel 4.11 Suhu Rata – rata Air Masuk °C

Jam	08.00	09.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	16.30
T°C	31,8	32,8	33,5	34,7	39,9	36,8	35,9	35,5	34,1	33,5

Berdasarkan hasil pengukuran diatas dapat dibuat grafik temperatur air masuk pada pukul 08.00 – 16.30 sbb :



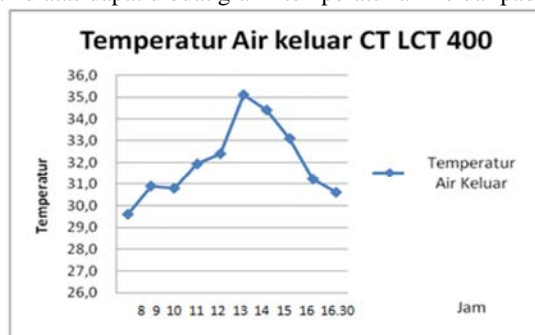
Grafik 4.2 Suhu rata – rata pada air masuk ke *cooling tower* LCT 400

Pada pukul 08.00 suhu air masuk yang berasal dari proses pendinginan mesin–mesin produksi berada pada temperatur 31,8°C lalu perlahan naik seiring bertambahnya waktu saat proses kinerja mesin–mesin produksi dimana pada jam 12.00 siang terjadi kenaikan 39.9 °C, lalu pada sore hari pada pukul 16.30 menurun temperaturnya sampai pada 33,5 hampir mendekati temperatur pada pagi hari.

Tabel 4.12 Suhu Rata-rata Air Keluar

Jam	08.00	09.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	16.30
T°C	29,6	30,9	30,8	31,9	32,4	35,1	34,4	33,1	31,2	30,6

Berdasarkan hasil pengukuran diatas dapat dibuat grafik temperatur air keluar pada pukul 08.00 – 16.30 sbb



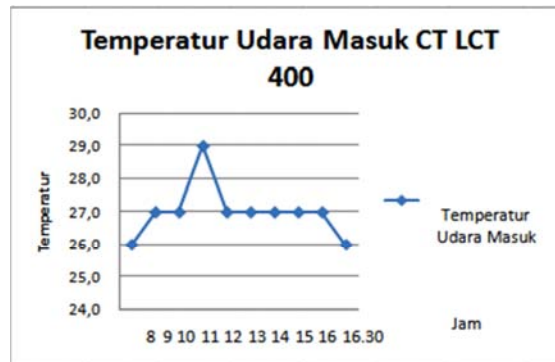
Grafik 4.3 Suhu rata – rata air keluar *cooling tower* LCT 400

Air keluar dari *cooling tower* pada pukul 08.00 pagi berada pada temperatur 29,6 °C setelah mengalami proses pelepasan panas dimana suhu awalnya adalah 31,8 °C , lalu temperatur yang didinginkan ini naik 0,6 °C pada pukul 13.00 siang sebesar 32,4 °C dan pada sore hari pukul 16.30 temperaturnya hampir mendekati saat pagi hari yaitu sebesar 30,6 °C.

Tabel 4.13 Suhu Rata-rata Udara Masuk

Jam	08.00	09.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	16.30
T <sup>o</sup> C	26,0	27,0	27,0	29,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	26,0

Berdasarkan hasil pengukuran diatas dapat dibuat grafik temperatur udara masuk pada pukul 08.00 – 16.30 sbb:



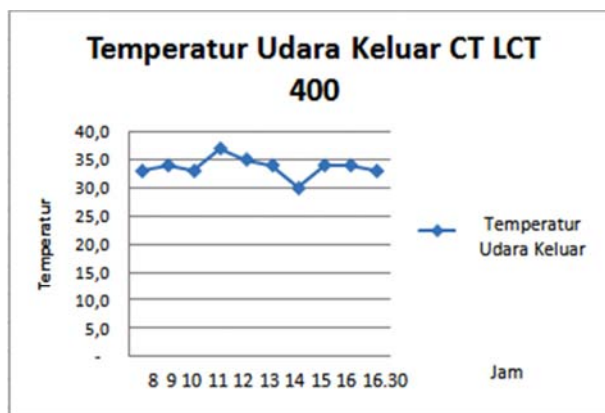
Grafik 4.4 Rata – rata udara masuk ke *cooling tower* LCT 400

Udara masuk digunakan untuk proses pendinginan dimana temperatur awal pada jam 08.00 pagi adalah 27,0 °C lalu naik sampai 29,0 °C pada pukul 11.00 pagi, suhu udara masuk menunjukkan angka yang sama saat pagi hari pada pukul 12.00 siang ini dipengaruhi oleh temperatur lingkungan. Hal ini terus berkelanjutan sampai pada sore hari temperatur turun pada pukul 16.30 sebesar 26,0 °C.

Tabel 4.14 Suhu Rata-rata Udara Keluar

Jam	08.00	09.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	16.30
T <sup>o</sup> C	33,0	34,0	33,0	37,0	35,0	34,0	30,0	34,0	34,0	33,0

Berdasarkan hasil pengukuran diatas dapat dibuat grafik temperatur udara keluar pada pukul 08.00 – 16.30 sbb :



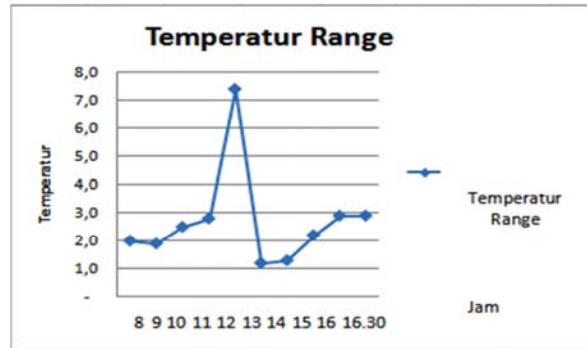
Grafik 4.5 Rata – rata udara keluar pada *cooling tower* LCT 400

Udara keluar adalah hasil pelepasan panas dari air masuk ke *cooling tower*, dimana sebagian air diuapkan keudara bersama dengan panas yang dikandung oleh air tersebut. Dalam grafik ini di jelaskan suhu awal pada jam 08.00 berkisar 33,0 °C lalu suhu penguapan ini naik menanjak dan sampai mencapai puncaknya pada jam 12.00 siang pada temperatur 35,0 °C, lalu dimana suhu lingkungan juga turut berpengaruh, lalu temperatur udara keluar mulai menurun sampai 30,0 °C pada pukul 14.00 siang lalu naik sebesar 4 °C pada pukul 15.00-16.00 sore.

Tabel 4.15 Suhu Rata-rata *Range*

Jam	08.00	09.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	16.30
T <sup>o</sup> C	2,2	1,9	2,7	2,8	7,5	1,7	1,5	2,3	2,9	2,9

Berdasarkan hasil pengukuran diatas dapat dibuat grafik temperatur *range* pada pukul 08.00 – 16.30 sbb



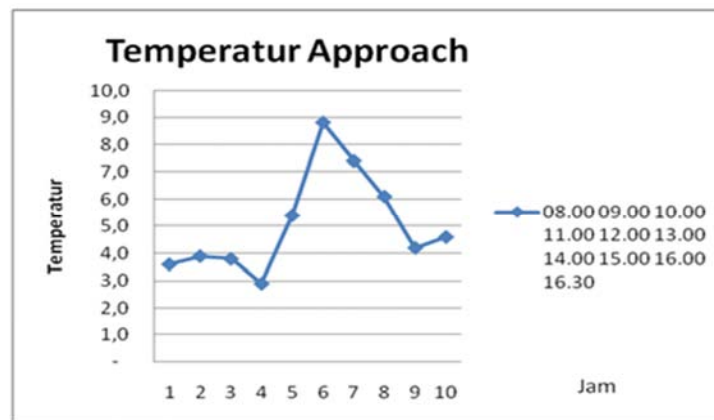
Grafik 4.6 Rata – rata temperatur range pada *cooling tower* LCT 400

Setelah diketahui suhu air masuk dan suhu air keluar, lalu dicari selisihnya untuk mendapatkan *range* dengan cara suhu air masuk dikurangi suhu air keluar kemudian didapat *range* rata - rata dalam pengukuran tersebut adalah pada jam 08.00 pagi range didapatkan bertemperatur 2,2 °C lalu mulai naik perlahan karena beban poduksi meningkat dan pada jam 12.00 siang naik signifikan sebesar 7,5 °C lalu titik terendah pada range terjadi pada jam 14.00 siang karena kinerja mesin – mesin produksi perlahan –lahan di kurangi , lalu menjelang sore hari sedikit menanjak naik sampai temperatur 2,9 °C, dikarenakan mesin – mesin produksi beberapa dinyalakan kembali

Tabel 4.16 Suhu Rata-rata *Approach*

Jam	08.00	09.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	16.30
T <sup>o</sup> C	3,6	3,9	3,8	2,9	5,4	8,1	7,4	6,1	4,2	4,6

Berdasarkan hasil pengukuran diatas dapat dibuat grafik temperatur *approach* pada pukul 08.00 – 16.30 sbb :



Grafik 4.7 Rata – rata pada temperatur *approach*

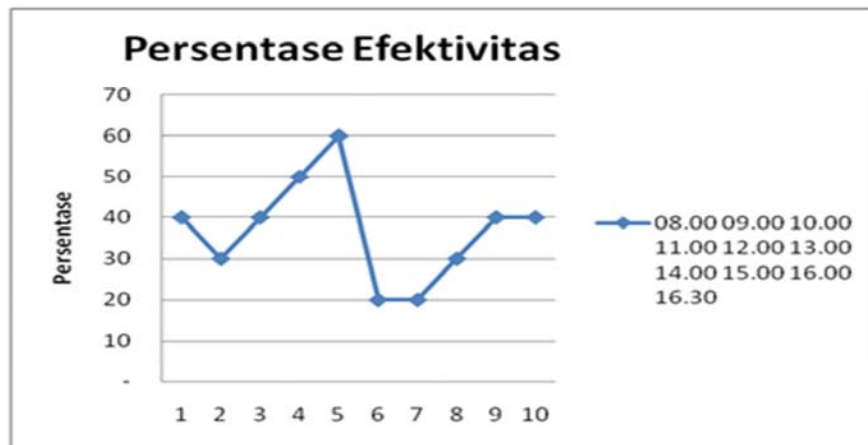


Saat diketahui temperatur air keluar dan udara masuk lalu bisa ditentukan *approach* dari *cooling tower* yaitu dengan cara suhu air keluar dikurangi suhu udara masuk lalu bisa diketahui *approach* rata – rata dari hasil pengukuran tersebut yaitu, pada pukul 08.00 pagi *approach* awal adalah 3,6 °C kemudian beranjak naik karena beban produksi naik dan dinyalakannya beberapa mesin - mesin produksi lainnya, lalu sampai di suhu tertinggi pada jam 13.00 siang sebesar 8,1 °C setelah lewat jam 13.00 *approach* sedikit menurun dan pada jam terakhir 16.30 suhu *approach* yg diukur naik mencapai 4,6 °C.

Tabel 4.17 Efektivitas

Jam	08.00	09.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	16.30
%	40	30	40	50	60	20	20	30	40	40

Berdasarkan hasil pengukuran diatas dapat dibuat grafik temperatur efektifitas pada pukul 08.00 – 16.30 sbb :



Grafik 4.8 Rata – rata efektifitas pada *cooling tower* LCT 400

Efektivitas didapat setelah diketahui perbandingan *range* dan *range* ideal (dalam persentase) yaitu antara temperatur air masuk dan suhu *wet bulb* ambien lalu dibagi 10 dan didapat rata – rata efektifitas yaitu pada awal pengukuran pada jam 08.00 pagi di 40% lalu mencapai titik tertinggi pada 60% pada jam 12 siang persentase efektifitas mencapai angka terendahnya pada pukul 13.00 – 14.00 siang lalu naik rata-rata 10% sampai jam 16.30 sore.

#### 4.2.5 Kapasitas pendinginan

Kapasitas pendinginan adalah panas yang dibuang dalam kKal/jam atau TR, sebagai hasil dari kecepatan aliran massa air, panas spesifik, dan perbedaan suhu. Diketahui konstanta penguapan adalah 0,00085(85/10000), rumus yang digunakan adalah:

$$\text{Kapasitas pendinginan (m}^3\text{/jam)} = 0,00085 \times \text{laju sirkulasi(m}^3\text{/jam)} \times (T_1 - T_2).$$

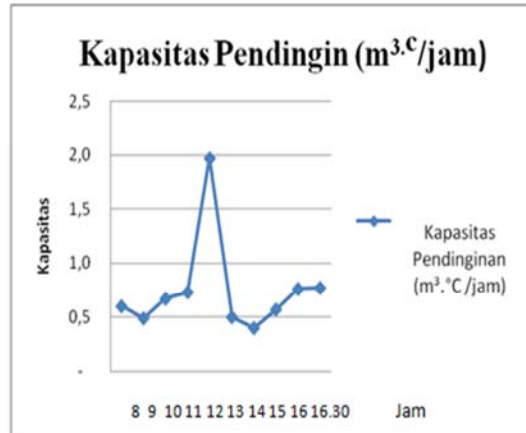
$$\begin{aligned} \text{Contoh perhitungan} &= \text{Kapasitas pendinginan (m}^3\text{/jam)} = 0,00085 \times \text{laju sirkulasi(m}^3\text{/jam)} \times (T_1 - T_2). \\ &= 0,00085 \times 312(\text{m}^3\text{/jam)} \times (31,8 - 29,6) = 0,6 (\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C} / \text{jam}) \end{aligned}$$

Angka laju sirkulasi berasal dari tabel 3.1 pada BAB III dimana perhitungannya 5200 (Nominal *water flow*: l/min) /1000 x 60 = 312(m<sup>3</sup>/jam).

Setelah diketahui rata – rata suhu air masuk dan keluar maka dapat dihitung kapasitas pendinginan merupakan panas yang dibuang yaitu dengan satuan m<sup>3</sup>/jam, diketahui *cooling tower* LCT 400 mempunyai kapasitas 5200 liter/menitnya jika dihitung menjadi m<sup>3</sup>/jam menjadi 312 m<sup>3</sup>/jam, setelah dihitung menggunakan rumus diatas didapat kapasitas pendingin yang disajikan dalam grafik, pada pukul 08.00 pagi diketahui kapasitas pendingin 0,6 m<sup>3</sup>.°C /jam lalu mulai menanjak sampai 2,0 m<sup>3</sup>.°C /jam pada jam 12.00 lalu mulai turun keangka 0,4 m<sup>3</sup>.°C /jam pada pukul 14.00 lalu naik lagi sampai pada pukul 16.30 di angka 0,8 m<sup>3</sup>.°C /jam.

Tabel 4.18 Hasil Perhitungan Kapasitas Pendingin pada Cooling Tower LCT 400.

No	Rata-rata suhu air masuk T1(°C)	Rata-rata suhu air keluar T2 (°C)	Kapasitas Pendinginan (m <sup>3</sup> .°C /jam)
1	31,8	29,6	0,6
2	32,8	30,9	0,5
3	33,5	30,8	0,7
4	34,7	31,9	0,7
5	39,9	32,4	2,0
6	36,8	35,1	0,5
7	35,9	34,4	0,4
8	35,5	33,1	0,6
9	34,1	31,2	0,8
10	33,5	30,6	0,8
Rata-Rata	34,8	32,0	0,8



Grafik 4.9 kapasitas pendinginan cooling tower LCT 400 m<sup>3</sup>.°C /jam

#### 4.2.6 Kehilangan penguapan

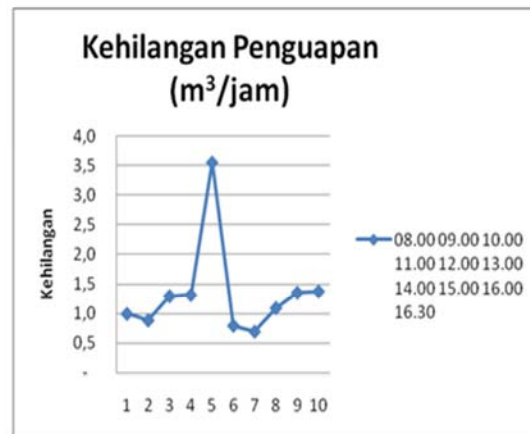
Kehilangan penguapan adalah dimana jumlah air yang diuapkan untuk proses pendinginan. Secara teoritis jumlah penguapan mencapai 1,8 m<sup>3</sup> untuk setiap 10.000.000 kKal yang dibuang. Rumus yang digunakan adalah:

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

$$\begin{aligned} \text{Contoh perhitungan:} &= \text{Kapasitas penguapan(m}^3\text{/jam)} = 0,00085 \times 1,8 \times \text{laju sirkulasi(m}^3\text{/jam)} \times (T1-T2). \\ &= 0,00085 \times 1,8 \times 312(\text{m}^3\text{/jam)} \times (31,8 - 29,6) = 1,0 (\text{m}^3\text{/jam}). \end{aligned}$$

Tabel 4.19 Hasil Perhitungan Kehilangan Penguapan pada Cooling Tower LCT 400.

No	Rata-rata suhu air masuk T1(°C)	Rata-rata suhu air keluar T2 (°C)	Kehilangan Penguapan (m <sup>3</sup> /jam)
1	31,8	29,6	1,0
2	32,8	30,9	0,9
3	33,5	30,8	1,3
4	34,7	31,9	1,3
5	39,9	32,4	3,6
6	36,8	35,1	0,8
7	35,9	34,4	0,7
8	35,5	33,1	1,1
9	34,1	31,2	1,4
10	33,5	30,6	1,4
Rata-Rata	34,8	32,0	1,4



Grafik 4.10 kehilangan penguapan pada cooling tower LCT 400 m<sup>3</sup>/jam

Kehilangan penguapan keluar dapat diketahui dan dihitung menggunakan rumus diatas dimana pada jam 08.00 pagi berada diangka 1,0 m<sup>3</sup>/jam lalu perlahan naik dan sampai di angka tertinggi pada pengukuran ini pada jam 12.00 sebesar 3,6 m<sup>3</sup>/jam lalu turun drastis pada pukul 14.00 sebesar 0,7 m<sup>3</sup>/jam lalu beranjak naik perlahan sampai diangka 1,4 m<sup>3</sup>/jam pada jam 16.30 sore

#### 4.2.7 Perbandingan cair/gas (L/G)

Perbandingan L/G cooling tower adalah perbandingan untuk laju alir massa air dan udara. Setiap cooling tower memiliki desain tertentu, perubahan karena musim memerlukan perubahan laju aliran air dan udara untuk mendapatkan efektifitas yang terbaik dari cooling tower. Perubahan dapat dilakukan dengan merubah beban

kontak atau perubahan sudut siripnya. Aturan pada termodinamika mengatakan bahwa panas yang dibuang harus sama dengan panas yang diserap oleh udara lingkungan. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$L(T1 - T2) = G(h2 - h1)$$
$$L/G = (h2 - h1) / (T1 - T2)$$

Penjelasan:

L/G = perbandingan aliran massa cair terhadap gas (kg/kg)

T1 = Suhu air panas (°C)

T2 = Suhu air dingin (°C)

h2 = Entalpi uap campuran udara-air pada suhu *wet-bulb* keluar (kJ/kg)

h1 = Entalpi uap campuran udara-air pada suhu *wet-bulb* masuk (kJ/kg)

Untuk mendapatkan entalpi h2 dan h1 dari tabel 4.20 Sifat-sifat Cairan dan Uap Jenuh. Sehubungan di tabel tidak tercantum angka *wet-bulb* 31,8 °C dan 29,6 °C maka dilakukan interpolasi data dalam tabel antara temperatur 30-32 °C dan 30-28 °C dengan cara sebagai berikut:

## 6. Daftar Pustaka

ANONAME. Liang Hoo Cooling Tower Standart Specification

Holman, JP.1986. Perpindahan Kalor. Jakarta: Penerbit Erlangga

Munson,Bruce R., and Young,Donald R.2004. Mekanika Fluida. Jakarta: Penerbit Erlangga

Musbach,Mussadiq.1995. Termodinamika Dan Mekanik Statistik. Jakarta: Departemen Pendidikan Dan Kebudayaan

Pudjanarsa,Astu., and Nursuhud,Djati.2009. Mesin Konversi Energi – Edisi Revisi. Yogyakarta: Andi Publisher

Reynolds,William C., et al. 1977. Termodinamika Teknik. Jakarta: Penerbit Erlangga

Stoecker,Wilbert F., et al. 1982. Refrigerasi Dan Pengkondisian Udara. Jakarta: Penerbit Erlangga

Nasution,DM.2011. Pengertian Menara Pendingin. From

<http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/22673/4/Chapter%20II.pdf>. 18 Desember 2013