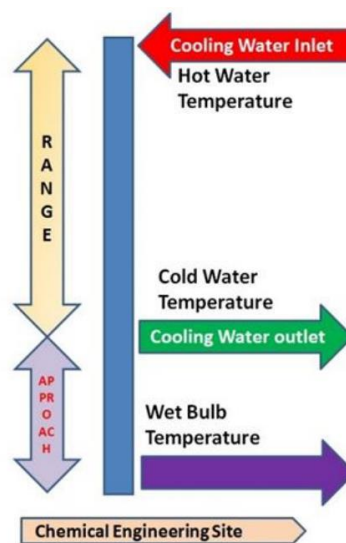


BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Pengertian *Cooling Tower*

Cooling tower atau disebut juga dengan menara pendingin didefinisikan sebagai alat penukar kalor yang fluida kerjanya adalah udara dan air yang berfungsi mendinginkan air dengan mengontakannya 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 ke atas atau horisontal melintasi menara. (Handoyo, 2015). Menara pendingin merupakan suatu peralatan yang digunakan untuk menurunkan suhu aliran air dengan cara mengekstraksi panas dari air dan mengemisikannya ke atmosfer. Menara pendingin menggunakan penguapan dimana sebagian air diuapkan ke aliran udara yang bergerak dan kemudian dibuang ke atmosfer (Effendi and Wirza, 2013).



Gambar 2.1. *Range* dan *Approach* pada *Cooling Tower*
(chemicalengineeringsite.in)

Pada gambar diatas, dalam menentukan seberapa besar nilai performa pendinginan pada *cooling tower*, biasanya dapat dinyatakan dalam *range* dan *Approach*.

Range adalah perbedaan suhu antara tingkat suhu air masuk *cooling tower* dengan tingkat suhu air yang keluar *cooling tower* atau selisih antara suhu air panas dan suhu air dingin, sedangkan *Approach* adalah perbedaan antara temperatur air keluar *cooling tower* dengan temperatur bola basah udara yang masuk atau selisih antara suhu air dingin dan temperatur bola basah (*wet bulb*) dari udara atmosfer.

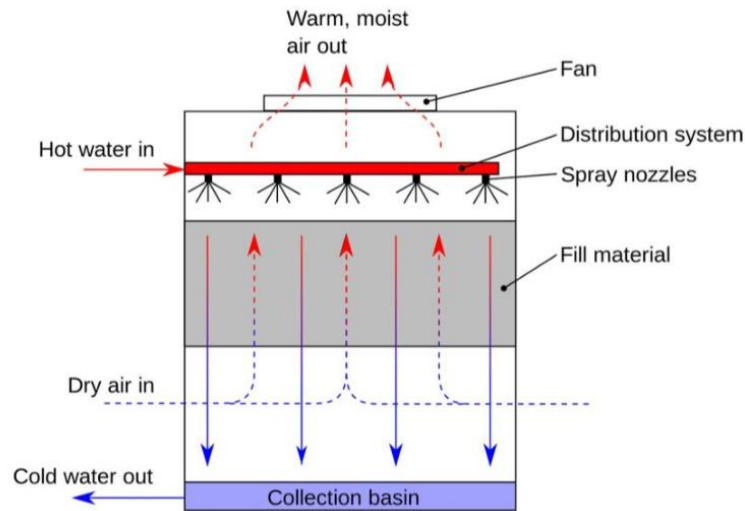
2.2. Fungsi *Cooling tower*

Cooling tower secara garis besar berfungsi untuk menyerap kalor dari air tersebut dan menyediakan sejumlah air yang relatif sejuk (dingin) untuk dipergunakan kembali di suatu instalasi pendingin atau dengan kata lain *cooling tower* berfungsi untuk menurunkan suhu aliran air dengan cara mengekstraksi panas dari air dan membuangnya ke atmosfer. Tujuan besar dari penggunaan *cooling tower* pada sistem pembangkit terutama PLTP adalah untuk meningkatkan kinerja dari turbin. Jika temperatur air yang digunakan pada kondensor bisa lebih rendah, maka temperatur kondensor juga menjadi lebih rendah. Hal tersebut berdampak pada tekanan di kondensor yang menjadi lebih vakum sehingga kerja turbin menjadi lebih besar. Jika kerja turbin lebih besar maka nilai efisiensi pembangkit juga meningkat.

2.3. Prinsip Kerja *Cooling tower*

Prinsip kerja *cooling tower* didasari pada pelepasan kalor dan perpindahan kalor. Perpindahan kalor pada *cooling tower* berlangsung dari air ke udara.

Cooling tower menggunakan prinsip *evaporative cooling* dimana sebagian air diuapkan ke aliran udara yang bergerak dan kemudian dibuang ke atmosfer, sehingga air yang tersisa bisa didinginkan secara signifikan. Skema kerja dari *cooling tower* dapat dilihat pada gambar.



Gambar 2.2. Skema *Cooling Tower*
(coolingtowerproducts.com)

Air dari kondensator yang panas dipompa menuju *cooling tower*. Air panas tersebut secara langsung melakukan kontak dengan udara sekitar yang bergerak secara paksa karena pengaruh *fan* atau blower yang terpasang pada bagian atas *cooling tower*, lalu mengalir jatuh ke bahan pengisi. Sistem ini sangat efektif dalam proses pendinginan air karena temperatur kondensasinya sangat rendah mendekati temperatur *wet bulb* udara. Air yang sudah mengalami penurunan temperatur ditampung ke dalam bak/basin. Pada *cooling tower* juga dipasang katup *make up water* untuk menambah kapasitas air pendingin jika terjadi kehilangan air ketika proses *evaporative cooling* tersebut sedang berlangsung. Untuk sistem PLTP, tidak terdapat *make up water system*, karena air yang masuk selalu berlebih sebagai akibat dari uap air yang berkondensasi.

2.4. Klasifikasi *Cooling tower*

Ada banyak klasifikasi *cooling tower*, namun pada umumnya pengklasifikasian dilakukan berdasarkan sirkulasi air yang terdapat di dalamnya.

Cooling tower dapat diklasifikasikan atas tiga bagian, yaitu:

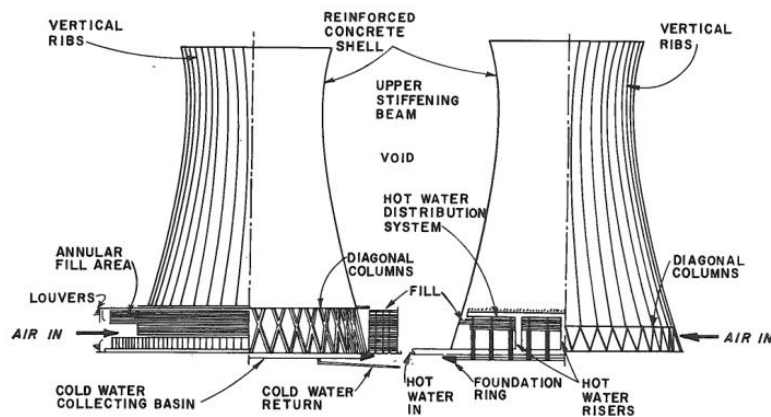
1. *Wet cooling tower*
2. *Dry cooling tower*
3. *Wet-dry cooling tower*

2.4.1. Menara pendingin basah (*wet cooling tower*)

Wet cooling tower mempunyai sistem distribusi air panas yang disemprotkan secara merata ke kisi - kisi, lubang - lubang atau batang - batang horizontal pada sisi menara yang disebut isian. Udara masuk dari luar menara melalui kisi - kisi yang berbentuk celah - celah horizontal yang terpancang pada sisi menara. Celah ini biasanya mengarah miring ke bawah supaya air tidak keluar. Menara pendingin umum-nya dapat dikategorikan dalam dua bagian utama berdasarkan alat bantu-nya yaitu, *mechanical draft tower* dan *natural draft tower*.

a) *Natural Draft Cooling tower*

Natural draft cooling tower ini tidak menggunakan kipas. Aliran udaranya bergantung semata-mata pada tekanan dorong alami. Menara pendingin alami ini tidak ada bagian yang bergerak, udara mengalir ke atas akibat adanya perbedaan massa jenis antara udara atmosfer dengan udara kalor lembab di dalam menara pendingin yang bertemperatur lebih tinggi daripada udara atmosfer di sekitarnya. Perbedaan massa jenis ini maka timbul tekanan dorong yang mendorong udara ke atas. Menara pendingin tipe ini mempunyai ketinggian sampai puluhan meter.



Gambar 2.3. Perbedaan antara *Crossflow* dan *Counterflow*
(*Cooling tower Fundamentals, 2009*)

b) *Mechanical Draft Cooling tower*

Sistem *mechanical draft cooling tower* dilengkapi dengan satu atau beberapa kipas (*fan*) yang digerakkan secara mekanik sehingga dapat mengalirkan udara. Berdasarkan fungsi kipas yang digunakan *cooling tower* aliran angin mekanik dapat dibagi menjadi 2 tipe yaitu:

1. Tipe aliran angin dorong (*forced draft*)
2. Tipe aliran angin tarik (*induced draft*)

Aliran udara masuk menara pada dasarnya horizontal, tetapi aliran di dalam bahan pengisi ada yang horizontal seperti yang terdapat pada *cooling tower* aliran silang (*crossflow*) dan ada pula yang vertikal seperti *cooling tower* aliran lawan arah (*Counter Flow*). Aliran lawan arah lebih sering dipakai dan dipilih karena efisiensi termalnya lebih baik daripada aliran silang.

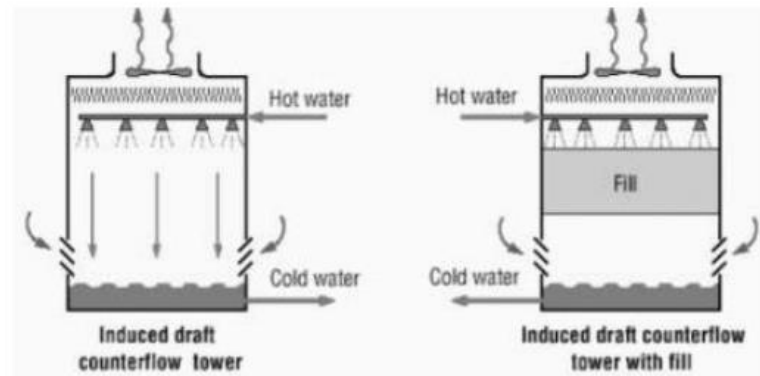
Keunggulan *mechanical draft cooling tower* adalah:

- ✓ Terjaminnya jumlah aliran udara dalam jumlah yang diperlukan pada segala kondisi beban dan cuaca
- ✓ Biaya investasi dan konstruksinya lebih rendah

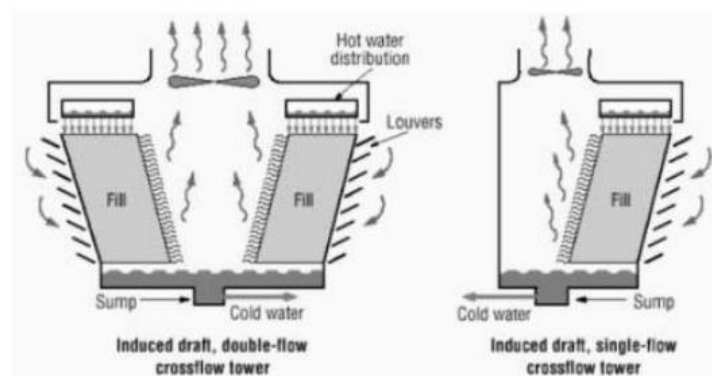
- ✓ Ukuran dimensinya lebih kecil

Kelemahan *mechanical draft cooling tower* adalah:

- Kebutuhan daya yang besar
- Biaya operasi dan pemeliharaan yang besar
- Bunyinya lebih ribut



Gambar 2.4. *Induced draft tipe Counterflow*
(*Cooling tower Fundamentals, 2009*)

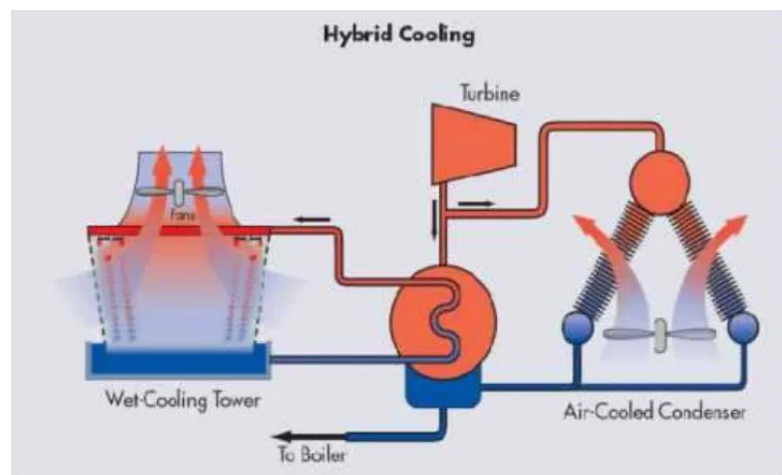


Gambar 2.5. *Induced draft tipe Crossflow*
(*Cooling tower Fundamentals, 2009*)

c) *Combined Draft Cooling tower*

Natural draft cooling tower biasanya mempunyai ukuran yang besar dan membutuhkan lahan yang luas, tetapi dengan konsumsi daya dan biaya

operasi yang kecil. Sebaliknya *mechanical draft cooling tower* ukurannya lebih kecil, namun membutuhkan daya yang besar. Oleh sebab itu, kedua hal tersebut digabungkan di dalam *combined draft cooling tower*. Menara ini disebut juga *cooling tower* hiperbola berkipas (*fan assisted hyperbolic tower*). Menara hibrida terdiri dari cangkang beton, tetapi ukurannya lebih kecil dimana diameternya sekitar dua pertiga diameter menara aliran angin mekanik. Di samping itu, terdapat sejumlah kipas listrik yang berfungsi untuk mendorong angin. Menara ini dapat dioperasikan pada musim dingin tanpa menggunakan kipas, sehingga lebih hemat listrik.



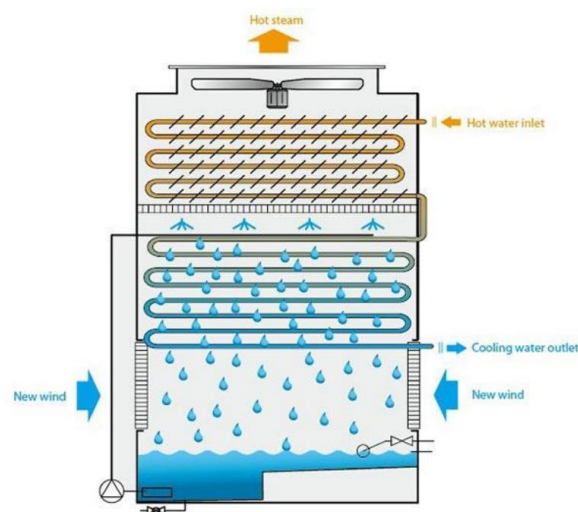
Gambar 2.6. *Combined draft Cooling Tower*
(*brightengineering.com*)

2.4.2. Menara pendingin kering (*dry cooling tower*)

Dry cooling tower adalah *cooling tower* yang air sirkulasinya dialirkan di dalam tabung - tabung bersirip yang dialiri udara. Semua kalor yang dikeluarkan dari air sirkulasi diubah. *Dry cooling tower* dirancang untuk dioperasikan dalam ruang tertutup. *Cooling tower* jenis ini banyak mendapat perhatian akhir - akhir ini karena keunggulannya yaitu:

- ✓ Tidak memerlukan pembersihan berkala sesering *cooling tower* basah
- ✓ Tidak memerlukan zat kimia aditif yang banyak
- ✓ Memenuhi syarat peraturan pengelolaan lingkungan mengenai pencemaran termal dan pencemaran udara pada lingkungan

Cooling tower kering mempunyai beberapa kelemahan, yaitu efisiensinya lebih rendah, sehingga mempengaruhi efisiensi siklus keseluruhan siklus pembangkit.



Gambar 2.7. *Dry Cooling Tower*
(exportersindia.com)

2.4.3. Menara pendingin basah-kering (*wet-dry cooling tower*)

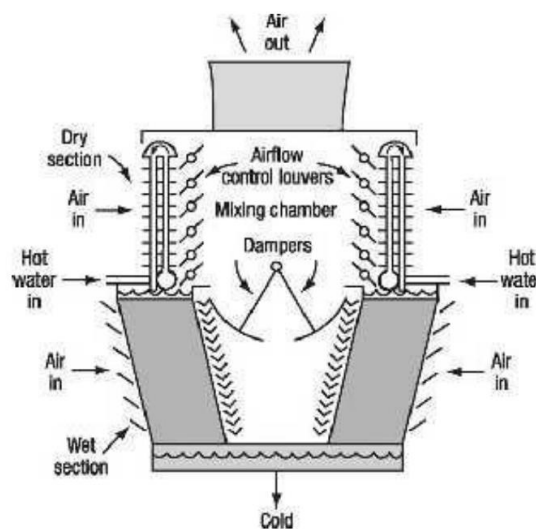
Wet - dry cooling tower merupakan gabungan antara *dry cooling tower* dan *wet cooling tower*. *Cooling tower* ini mempunyai dua jalur udara paralel dan dua jalur udara seri. Bagian atas menara di bawah kipas adalah bagian kering yang berisi tabung- tabung bersirip. Bagian bawah adalah ruang yang lebar yang merupakan bagian yang basah yang terdiri dari bahan pengisi (*filling material*). Air sirkulasi yang panas masuk melalui kepala yang terletak di tengah. Air mula - mula mengalir naik turun melalui tabung bersirip di bagian kering, kemudian

meninggalkan bagian kering dan jatuh ke isian di bagian basah menuju bak penampung air dingin.

Sedangkan udara ditarik dalam dua arus melalui bagian kering dan basah. Kedua arus menyatu dan bercampur di dalam menara sebelum keluar. Oleh karena arus pertama dipanaskan secara kering dan keluar dalam keadaan yang kering (kelembaban relatif rendah) daripada udara sekitar, sedangkan arus kedua biasanya jenuh.

Wet - dry cooling tower mempunyai keunggulan, yaitu:

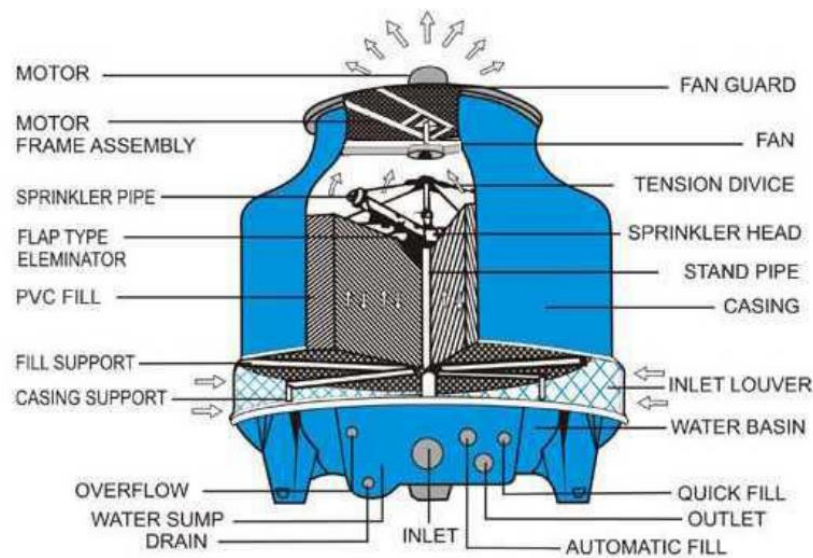
- a. Udara keluar tidak jenuh sehingga mempunyai kepanan yang lebih sedikit
- b. Penyusutan karena penguapan jauh berkurang karena air mengalami pendinginan awal di bagian kering



Gambar 2.8. *Wet-dry Cooling Tower*
(*brighthubengineering.com*)

2.5. Konstruksi *Cooling tower*

Konstruksi umum dari sebuah *wet cooling tower* ditunjukkan pada Gambar 2.9 sebagai berikut:



Gambar 2.9. Skema konstruksi umum *Cooling Tower*
(*Cooling tower Fundamentals, 2009*)

Secara garis besar, konstruksi *cooling tower* terdiri atas:

2.5.1. *Fan*

Fan merupakan bagian terpenting dari sebuah *cooling tower* karena berfungsi untuk menarik udara dari lingkungan dan mensirkulasikan udara tersebut di dalam menara untuk mendinginkan air. Jika *fan* tidak berfungsi maka kinerja *cooling tower* tidak akan optimal. *Fan* digerakkan oleh motor listrik yang dikopel langsung dengan poros kipas. Untuk *cooling tower* tipe *natural draft* tidak memiliki komponen *fan*. *Fan* memiliki beberapa parameter yang bisa diatur, diantaranya adalah sudut kemiringan sudu/*blade fan* serta kecepatan putar *fan*. Kedua parameter tersebut berpengaruh secara langsung pada laju aliran udara yang dialirkan menuju *cooling tower*.

2.5.2. Kerangka Pendukung *Cooling tower*

Kerangka pendukung *cooling tower* berfungsi untuk mendukung *cooling tower* agar dapat berdiri kokoh dan tegak. Kerangka pendukung terbuat dari baja.

2.5.3. Casing Cooling tower

Casing cooling tower harus memiliki ketahanan yang baik terhadap segala cuaca dan umur pakai (*lifetime*) yang lama. *Casing* terbuat dari seng atau plastik.

2.5.4. Pipa Sprinkler

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

2.5.5. Water Basin

Water basin berfungsi sebagai penampung air sementara yang jatuh dari *filling material* sebelum disirkulasikan kembali ke kondensor. *Water basin* terbuat dari seng.

2.5.6. Inlet Louver

Inlet louver berfungsi sebagai tempat masuknya udara melalui lubang - lubang yang ada. Melalui *inlet louver* akan terlihat kualitas dan kuantitas air yang akan didistribusikan. *Inlet louver* terbuat dari seng.

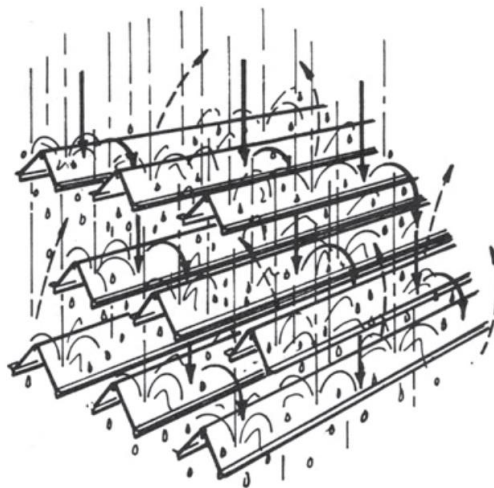
2.5.7. Bahan Pengisi (Filler Material)

Filler pada *cooling tower* berfungsi sebagai penahan aliran air agar menghasilkan waktu kontak yang lebih lama dengan udara lingkungan sekaligus sebagai media untuk memperluas area kontak air dengan udara. Dengan *filler* maka akan terbentuk luas area kontak yang lebih besar sehingga perpindahan panas konveksi akan lebih baik. Selain itu susunan *filler* juga akan mempengaruhi aliran air dan udara sekaligus waktu kontak. Semakin rapat susunan *filler* tentu akan menambah waktu kontak, tetapi akan menghasilkan *pressure drop* yang

lebih besar. Oleh sebab itu, bahan pengisi harus dapat menimbulkan kontak yang baik antara air dan udara agar terjadi laju perpindahan kalor yang baik. Bahan pengisi harus kuat, ringan dan tahan lapuk. Bahan pengisi ini mempunyai peranan sebagai memecah air menjadi butiran - butiran tetes air dengan tujuan untuk memperluas permukaan kontak sehingga proses perpindahan panas dapat dilakukan se-efisien mungkin. Jenis bahan pengisi terdiri dari beberapa jenis, diantaranya adalah:

1) Bahan pengisi jenis percikan (*Splash fill*)

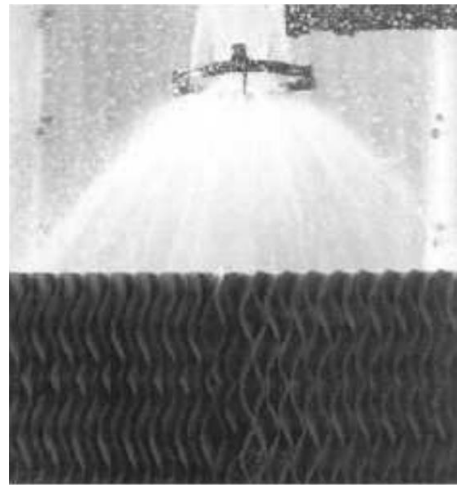
Air jatuh diatas lapisan yang berurut dari batang pemercik horisontal, secara terus menerus pecah menjadi tetesan yang lebih kecil, sambil membasahi permukaan bahan pengisi. Luas permukaan butiran air adalah luas permukaan perpindahan kalor dengan udara. Bahan pengisi percikan dari plastik memberikan perpindahan kalor yang lebih baik daripada bahan pengisi percikan dari kayu.



Gambar 2.10. *Splash fill*
(*Cooling tower Fundamentals, 2009*)

2) Bahan pengisi jenis lapisan (*Film fill*)

Bahan pengisi jenis 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. Pada bahan pengisi film, air membentuk lapisan tipis pada sisi - sisi lembaran pengisi. Luas permukaan dari lembaran pengisi adalah luas perpindahan kalor dengan udar sekitar. Jenis bahan pengisi film lebih efisien dan memberi perpindahan kalo yang sama dalam volume yang lebih kecil daripada bahan pengisi jenis splash. Bahan pengisi film dapat menghasilkan penghematan listrik yang signifikan melalui kebutuhan air yang lebih sedikit dan *head* pompa yang lebih kecil.

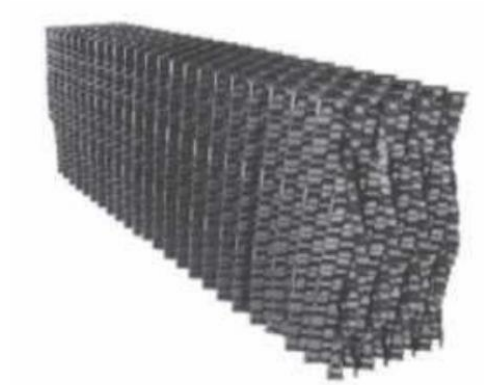


Gambar 2.11. *Film fill*
(*Cooling tower Fundamentals*, 2009)

3) Bahan pengisi sumbatan rendah (*low-clog film fill*)

Bahan pengisi sumbatan rendah dengan ukuran *flute* yang lebih tinggi, saat ini dikembangkan untuk menangani air yang keruh. Jenis ini merupakan

pilihan terbaik untuk air laut karena adanya penghematan daya dan kinerjanya dibandingkan tipe bahan pengisi jenis percikan konvensional.



Gambar 2.12. *Low-clog film fill*
(*Cooling tower Fundamentals*, 2009)

2.6. Kinerja Menara Pendingin

Dalam menganalisa performa aktual *cooling tower*, terdapat beberapa parameter yang dapat diukur di lapangan, yaitu *Wet Bulb Temperature* (WBT), *Dry Bulb Temperature* (DBT), *Hot Water Temperature* (HWT), *Cold Water Temperature* (CWT), *Relative Humidity* (RH), *Circulating water flow rate*, *Ampere motor fan*, dan *output generation* dari PLTP.

Parameter terukur tersebut kemudian digunakan untuk menentukan kinerja menara pendingin dengan mencari nilai efisiensi *cooling tower* berdasarkan persamaan berikut (Handoyo, 2015: 41):

2.6.1. Range

Range adalah perbedaan atau jarak antara temperature air masuk dan keluar *cooling tower*. Nilai *range* yang tinggi menunjukkan bahwa *cooling tower* mampu menurunkan suhu air secara efektif dan cara kinerjanya baik (Handoyo, 2015: 41):

$$\text{Range } (^{\circ}\text{C}) = T_{in} \text{ Cooling Tower } (^{\circ}\text{C}) - T_{out} \text{ Cooling Tower } (^{\circ}\text{C})$$

2.6.2. Approach

Approach adalah perbedaan antara suhu air dingin keluar *cooling tower* dan temperatur *wet bulb*. Semakin rendah nilai *approach* maka semakin baik kinerja *cooling tower*. Semakin dekat *approach* terhadap *wet bulb* maka semakin mahal *cooling tower* karena akan meningkatkan ukuran *cooling tower* tersebut. *Approach* merupakan indikator yang lebih baik untuk kinerja menara pendingin (Handoyo, 2015: 41).

$$\text{Approach} = T_{\text{out Cooling Tower}} - T_{\text{wet Bulb}} \text{ (C)}$$

2.6.3. Efektivitas

Efektivitas pendingin adalah perbandingan antara *range* dan *range* ideal. Semakin tinggi nilai perbandingan maka semakin tinggi efektivitas perbandingan pada *cooling tower* (Handoyo, 2015: 41).

$$\text{Efektivitas} = \left[\frac{\text{Range}}{\text{Range} + \text{Approach}} \right] \times 100\%$$

2.6.4. Heat Load Total

Beban kalor total kemampuan menara pendingin tersebut dalam membuang panas ke udara atmosfer. *Heat load total* dapat dihitung dengan persamaan berikut (Handoyo, 2015: 42).

$$Q = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta t$$

Laju massa air :

$$\dot{m} = Q_w \cdot \rho_w$$

Dimana :

$$Q = \text{Beban kalor total (kJ/s)}$$

- \dot{m} = Laju alir massa air (kg/s)
 c_p = Kalor jenis air masuk/*specific heat* (4,178 KJ/Kg°C).
 Δt = Perbedaan temperatur air masuk dan air keluar (°C)
 Q_w = Debit air (m³/det)
 ρ_w = Densitas /massa jenis air (997 kg/m³)

2.6.5. Rasio Air dengan Udara (L/G)

Nilai rasio air-udara adalah parameter yang sangat penting dalam pemilihan suatu menara pendingin, terutama dalam pemilihan kapasitas fan. Rasio ini merupakan perbandingan antara debit air spesifik yang hendak didinginkan terhadap debit udara spesifik yang diinduksikan oleh *fan* minimum (Devara, 2018: 27).

$$\frac{L}{G} = \frac{\dot{m}_w}{\dot{m}_a}$$

Dimana : \dot{m}_w = Massa aliran air (kg/s)

\dot{m}_a = Massa aliran udara (kg/s)

2.6.6. Merkel Equation

Dr. Merkel mengembangkan teori menara pendingin untuk massa dan perpindahan panas sensibel antara udara dan air *cooling tower counter flow*. Analisis ini berdasar pada teori yang dikemukakan oleh orang yang sama yaitu Dr. Merkel, dan dinamakan sesuai dengan namanya yaitu *Merkel Theory*. KaV/L atau *Number Transfer Unit*, NTU merupakan metode yang digunakan untuk menghitung laju perpindahan panas pada alat penukar panas. Adapun persamaannya adalah sebagai berikut (Daeil Aqua, 2004: 2).

$$\frac{KaV}{L} = NTU = C_w \int_{t_{w1}}^{t_{w2}} \frac{dt_w}{h_w - h_a}$$

$$NTU = C_w \times range \times \left[\left(\frac{1}{Dh_1} \right) + \left(\frac{1}{Dh_2} \right) + \left(\frac{1}{Dh_3} \right) + \left(\frac{1}{Dh_4} \right) \right] / 4$$

Dimana : KaV/L = Tower characteristic

K = Mass transfer coefficient (lb water/h ft²)

a = Contact area/tower volume (m²)

V = Active cooling volume/plan area (m³)

L = Water rate (lb/h ft²)

tw_2 = Hot water temperature (°C)

tw_1 = Cold water temperature (°C)

dT = Bulk water temperature (°C)

NTU = Number of transfer unit / Tower demand

C_w = Panas spesifik air (kJ/kg.K)

$Range$ = Temperatur range (K)

Dh_1 = (hw – ha) pada temperatur CWT + 0.1 x Range (kJ/kg)

Dh_2 = (hw – ha) pada temperatur CWT + 0.4 x Range (kJ/kg)

Dh_3 = (hw – ha) pada temperatur CWT + 0.6 x Range (kJ/kg)

Dh_4 = (hw – ha) pada temperatur CWT + 0.9 x Range (kJ/kg)

hw = Entalpi air (kJ/kg)

ha = Entalpi udara (kJ/kg)

$$ha = ha_b + L/G \times Range$$

Dimana : ha = Entalpi udara pada Range tertentu (kJ/kg)

ha_b = Entalpi udara pada temperatur *wet bulb* (kJ/kg)

L/G = Rasio laju air banding laju udara

$Range$ = Temperatur range (K)

2.6.7. Head Total Pompa

Pada konsisi aktual dilapangan, pompa *Hotwell Pump* (HWP) sebagai pompa distribusi dari kondesor ke *cooling tower* tidak adanya alat ukur pembacaan *flow*, namun terdapat informasi pembacaan *delta pressure* pompa serta informasi desain pompa. Sehingga dilakukan perhitungan berdasarkan pendekatan menggunakan *Head total pompa* dan *Pump Curve* (Sularso & Tahara, 1983: 26).

$$H_{pompa} = \left(\Delta Z + \Delta \frac{p}{\rho g} + \Delta \frac{v^2}{2g} \right) + H_{losses}$$

Dimana : ΔZ = *Head* perbedaan tinggi muka air sisi masuk dan keluar (m).

$\Delta \frac{p}{\rho g}$ = *Head* tekanan sisi masuk dan keluar (m)

$\Delta \frac{v^2}{2g}$ = *Head* kecepatan sisi masuk dan sisi keluar (m)

H_{losses} = Rugi aksesoris (m)

2.6.8. Fan Power

Fan power menyatakan koreksi dari segi kebutuhan daya yang dipengaruhi oleh konfigurasi *blade* dan *ouput* pembangkitan dimana *fan power* dihitung dari *ampere* aktual motor dan parameter pendekatan dari desain (PT Hamon Indonesia, 2015: 10).

$$W = (\sqrt{3} \times V \times I \times PF \times Motor Efficiency) - Line Loss$$

Dimana : W = *Fan Power* (kW)

V = Tegangan (V)

PF = *Power Factor* 0.87

I = Arus Motor (A)

Motor Eff. = 95.1 % (base on design)

Line Loss = 1% x *Active Power* = Rugi pada peralatan elektrik

2.6.9. Determine Cooling Tower Capability

Tower capability dapat didefinisikan dengan seberapa mampukah kondisi aktual *cooling tower* untuk mencapai kondisi optimalnya dari segi parameter *water flow* yaitu dengan membandingkan *adjusted water flow* sebagai kondisi aktual dan *predicted water flow* sebagai kondisi optimal.

Pada umumnya, vendor akan memberikan kurva performa *cooling tower* sebagai acuan dalam menentukan kondisi pada saat pengujian yaitu berupa kurva performa 90%, 100% dan 110% berdasarkan nilai *water flow*. Dalam menentukan kinerja *cooling tower* diperlukan parameter umum seperti *wet bulb temperature*, *range*, *cold water temperature*, serta *water flow* yang masuk ke *cooling tower* yang di representasikan berupa kurva. *Adjusted test water flowrate* merupakan parameter yang merepresentatifkan *water flow* aktual dalam perhitungan performa *Cooling Tower* (ASME PTC 23, 2003: 58-63).

$$Q_{adj} = Q_{wt} \left(\frac{W_d}{W_t} \right)^{1/3} \times \left(\frac{\rho_d}{\rho_t} \right)^{1/3}$$

Dimana : Q_{adj} = *Adjusted Water flow rate* (m³/h).

Q_{wt} = *Circulating water flow rate, test* (m³/h).

W = *Fan power, antara test(t) or design(d)* (kW).

ρ = *Densitas udara, test(t) or design(d)* (kg/m³).

Kemudian untuk langkah selanjutnya dengan menghitung *capability*, C, untuk mengetahui seberapa besar nilai *tower capability*. Adapun langkah

penentuan kinerja *cooling tower* dengan menentukan perbandingan antara *Adjusted test water flowrate* dengan *predicted water flow rate* yang ditunjukkan dalam rumus berikut:

$$C = \frac{Q_{adj}}{Q_{pred}} \times 100$$

Dimana : Q_{pred} = *Predicted water flow rate* berdasarkan *test* (m³/h).