

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Irfan (2010), dengan judul penelitian pengaruh kondisi udara masuk terhadap unjuk kerja *cooling tower*. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental dengan hasil penelitian bahwa semakin tinggi kelembapan relatif dan kecepatan udara masuk pada *cooling tower* maka nilai unjuk kerja *cooling tower* akan semakin meningkat pada nilai debit udara masuk yang tetap.

Faris (2011), dengan judul penelitian pengaruh sudut semprotan air terhadap unjuk kerja *cooling tower* di dalam penelitiannya menyatakan bahwa pada nilai debit udara yang sama semakin besar sudut semprotan air yang masuk *cooling tower* maka nilai unjuk kerja pada *cooling tower* semakin meningkat.

Bahrul (2012), dengan judul penelitian pengaruh variasi sudut aliran udara yang keluar dari *blower* terhadap unjuk kerja *cooling tower* di dalam penelitiannya menyatakan pengaturan sudut aliran udara dari *blower cooling tower* memberikan pengaruh kepada unjuk kerja *cooling tower*. Dimana unjuk kerja itu adalah laju perpindahan kalor, efektivitas (*effectiveness*), dan *number of transfer unit (NTU)*.

2.2 Sistem Sirkulasi Air

Sistem sirkulasi air adalah sebuah sistem sekunder yang memasok air untuk mendinginkan alat pelepas kalor pada siklus-siklus termal, khususnya yang berdaya besar. Sistem ini terpisah dari siklus utama, dan pada umumnya berfungsi untuk mendinginkan kondensor turbin, sehingga uap bekas dari turbin dapat berubah fase menjadi fase cair dengan mudah. Dalam prakteknya, sistem ini juga digunakan sebagai pelepas kalor bagi peralatan pendinginan pada gedung utama instalasi, sehingga dapat dikatakan sistem ini merupakan sistem pembantu dari sistem atau siklus utama baik pada pembangkit tenaga uap, panas bumi maupun nuklir.

Sistem sirkulasi air ini diperlukan untuk melepas kalor ke lingkungan karena selain dinilai sebagai cara yang paling efisien, juga memenuhi kriteria *thermal-discharge* yaitu banyaknya kalor yang dibuang dibandingkan dengan daya yang dihasilkan. Dalam suatu sistem pembangkit daya, banyaknya kalor yang dibuang lebih besar daripada yang dikonversikan menjadi kerja. Pada pembangkit daya sekarang ini, umumnya jumlah kalor

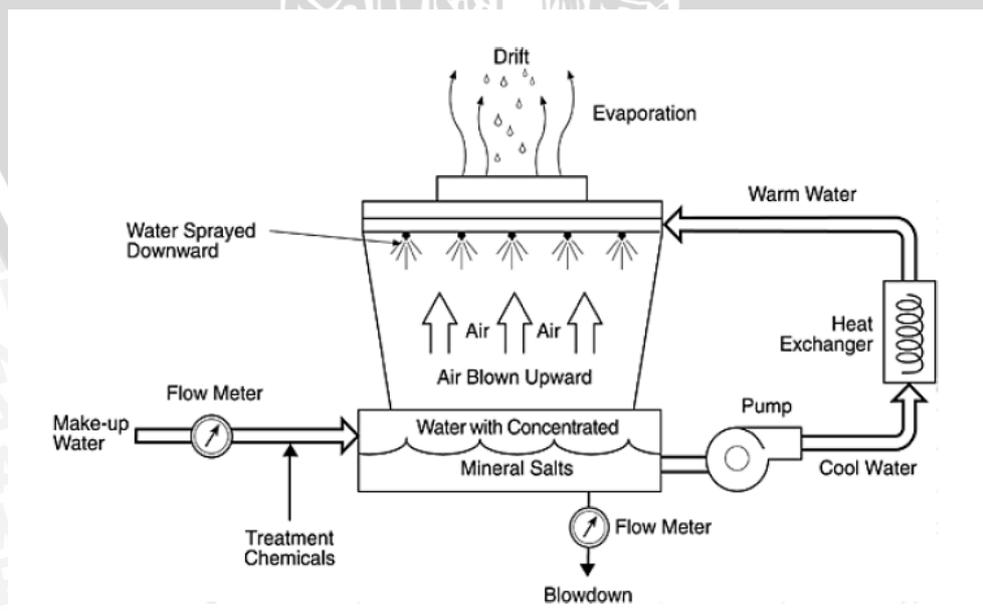
yang dibuang bervariasi antara 1,5 sampai 3,0 kali jumlah kerja *output*, bergantung pada nilai efisiensi.

2.3 Cooling Tower

2.3.1. Pengertian dan Prinsip Kerja Cooling Tower

Menurut *Cooling Technology Institute*, *cooling tower* adalah sebuah alat pelepas kalor yang membuang panas ke atmosfer dengan mendinginkan aliran air sehingga mencapai temperatur yang lebih rendah. Sedang menurut Swanekamp (1989:2:137) *cooling tower* adalah sebuah alat penukar kalor khusus dimana dua fluida (air dan udara) dikontakkan langsung antara satu dengan yang lainnya untuk memindahkan panas (*waste heat*) ke atmosfer.

Didalam *cooling tower* terjadi proses penguapan akibat perbedaan tekanan uap antara air dengan uap air di udara. Proses penguapan ini mengakibatkan perpindahan kalor laten dari air ke udara karena pada saat penguapan terjadi kalor laten ikut terbawa uap air. Uap air yang terbentuk pada permukaan air mengakibatkan terjadinya perbedaan konsentrasi uap air di antara lapisan air dan udara. Perbedaan ini akan mengakibatkan terjadinya difusi uap air dari air ke udara sehingga udara menjadi jenuh. Difusi merupakan perpindahan massa yang mempunyai ciri adanya massa yang berpindah dari satu fase ke fase lainnya (Kern;1988:564) Gambar 2.1 menjelaskan skematik sistem pada sebuah *cooling tower*.



Gambar 2.1. Diagram Skematik Sistem Menara Pendingin.

Sumber : <http://cooling-tower-online.com/page/1/>

Menurut El-Wakil (1992:260-263) bagian-bagian dari *cooling tower* adalah :

1. Sistem Distribusi Air (*water-distribution system*)

Sistem distribusi air pada *cooling tower* berguna untuk menyalurkan air panas dari kondensor secara merata ke seluruh bagian *cooling tower* melewati bahan pengisi (*Filler* atau *Packing*).

2. Isian (*Filler* atau *Packing*)

Dalam menara pendingin, air panas didistribusikan diatas media pengisi dan didinginkan melalui penguapan ketika menuruni menara dan bersentuhan dengan udara. Bahan pengisi (*Filler* atau *Packing*) merupakan jantung dari *cooling tower*. Selain kuat, isian ini juga harus mampu menimbulkan kontak air dengan udara agar terjadi perpindahan panas dan massa dengan baik, serta memiliki hambatan yang rendah terhadap aliran udara. Isian harus kuat, ringan dan tahan lapuk. Bahan pengisi biasanya terbuat dari plastic, termasuk *PVC*, *Polypropylene* dan polimer lainnya. Bahan pengisi *film* dipilih untuk penggunaan yang sirkulasi airnya bebas dari sampah yang dapat menghalangi lintasan bahan pengisi.

3. Hanyutan dan pencegah hanyutan (*Drift* dan *Drift Eliminator*)

Hanyutan adalah air yang terbawa oleh arus udara sebagai butir *droplet* yang belum menguap. Hanyutan menyebabkan sebagian air dalam sistem sirkulasi hilang dan tidak ikut berfungsi dalam pemindahan kalor melalui penguapan. Peristiwa ini dapat diminimalkan dengan menggunakan *drift eliminator* yang berupa sekat-sekat yang dipasang beberapa baris. Sekat tersebut membuat udara terpaksa berubah arah secara tiba-tiba. Momentum dari butir-butir yang berat menyebabkan butir cairan tersebut terpisah dari udara pada waktu menumbuk sekat sehingga mebentuk lapisan film air yang kemudian jatuh kembali ke bawah.

2.3.2. Klasifikasi *Cooling Tower*

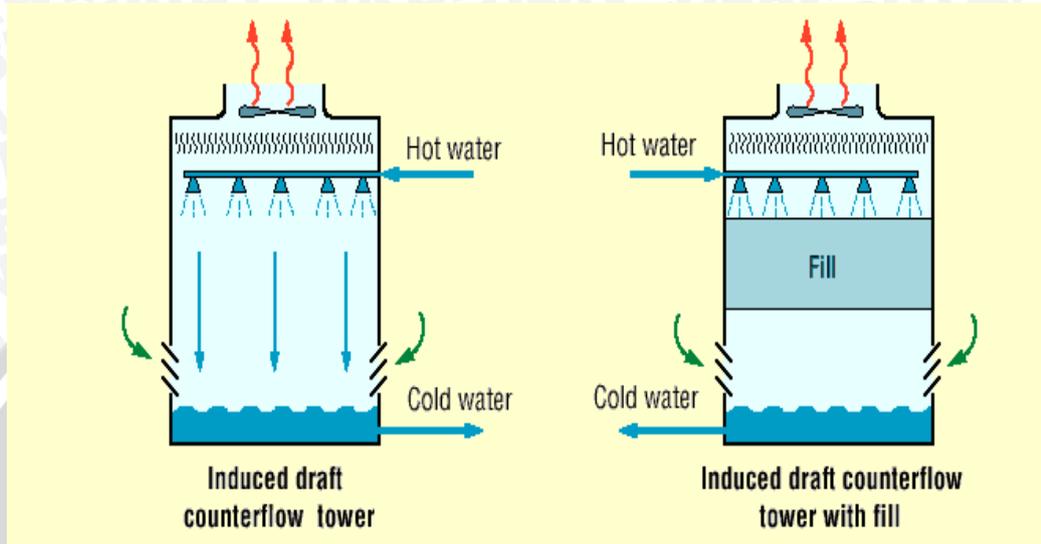
Menurut Kern (1988:577) *cooling tower* diklasifikasikan menurut udara yang disuplai ke menara, yaitu :

1. *Mechanical Draft Tower*

Pada menara ini, udara berpindah karena satu atau beberapa fan yang digerakkan secara mekanik (El-Wakil;1992:256).

Cooling tower jenis ini dibagi menjadi 2 yaitu :

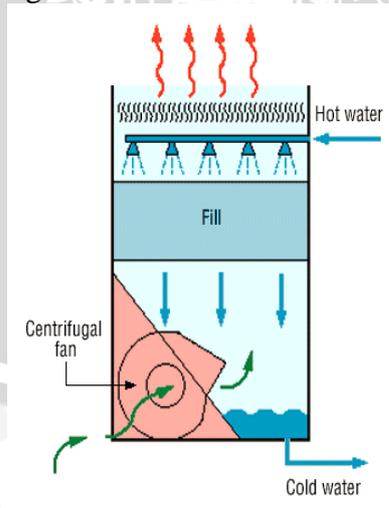
- a. *Induced draft*, udara dihisap ke dalam menara oleh fan yang terletak di atas melalui bagian bawah. Contoh *cooling tower* tipe *induced draft* dapat dilihat pada gambar 2.2 berikut :



Gambar 2.2. *Induced draft Cooling tower* dengan aliran berlawanan.

Sumber : <http://cooling-tower-online.com/page/6/>

- b. *Forced draft*, udara yang dimasukkan ke dalam menara oleh fan yang terletak di bagian bawah dan dikeluarkan melalui atas. Contoh *cooling tower* tipe *forced draft* dapat di lihat pada gambar 2.3 berikut :



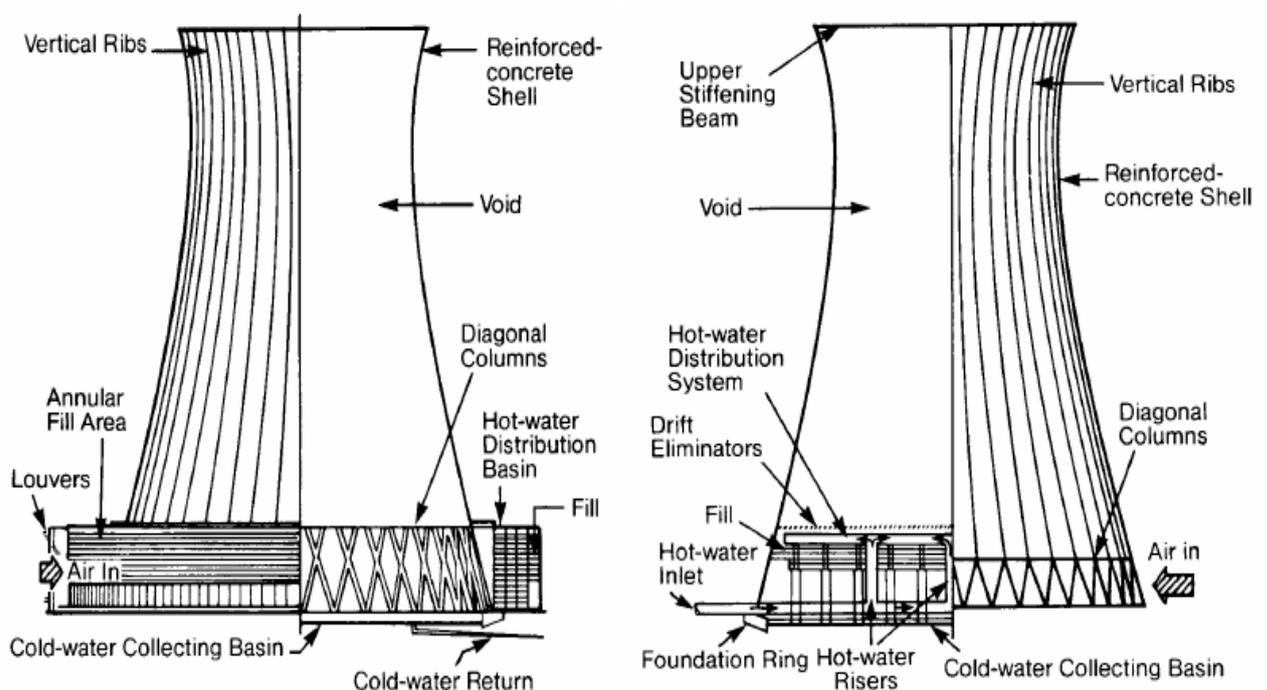
Gambar 2.3. *Forced draft Cooling tower*.

Sumber : <http://cooling-tower-online.com/page/6/>

Menara jenis *mechanical draft* merupakan menara yang paling banyak dipakai pada saat ini dan yang paling luas dari jenis ini adalah *induced draft tower*. Hal ini disebabkan dalam penggunaannya menara jenis ini lebih menguntungkan dibandingkan dengan yang lain. Pada jenis *forced draft*, udara masuk melalui fan terbuka dan relatif tidak efektif karena menara harus menyediakan ruang udara masuk sehingga memerlukan dimensi menara yang lebih lebar. Distribusi udara relatif buruk, karena udara harus membuat belokan 90° pada kecepatan tinggi. Pada menara *induced draft*, udara dapat masuk sepanjang dinding dalam menara dan sebagai konsekuensinya ketinggian menara yang dibutuhkan untuk masuknya udara lebih rendah.

2. Natural Draft Tower

Pada menara jenis ini tidak menggunakan kipas. Aliran udaranya tergantung hanya pada tekanan dorong alami yang disebabkan karena adanya perbedaan densitas antara udara dingin luar dan udara panas lembab didalam menara seperti pada gambar 2.4 berikut :



Gambar 2.4. *Natural Draft cooling tower* aliran melintang.

Sumber : <http://cooling-tower-online.com/page/4/>

Menara *natural draft* beroperasi dengan cara yang sama dengan cerobong dapur pembakaran. Udara dipanaskan didalam menara oleh kontak dengan air panas, sehingga densitasnya menurun. Perbedaan densitas antara udara dalam menara dan udara di luar menara menyebabkan aliran alami udara dingin masuk dari bagian bawah. Menara ini harus cukup tinggi untuk menimbulkan gaya *buoyancy* yang cukup dan harus mempunyai penampang lintang yang luas karena kecepatan yang rendah dari sirkulasi udara dibandingkan dengan jenis *mechanical draft*.

Setiap jenis dari *cooling tower* tersebut terdiri dari dua macam, yaitu *crossflow* (aliran silang) dan *counterflow* (aliran berlawanan). Disebut *crossflow* apabila aliran udara dan aliran air saling bersilangan. Sedangkan bila aliran udara arahnya saling berlawanan disebut *counterflow*. Keuntungan dan kerugian dari masing-masing jenis ini adalah sebagai berikut :

1. *Crossflow*

Keuntungan :

- a. *Head* yang dibutuhkan dari pompa rendah
- b. Biaya operasi dan konsumsi energi rendah
- c. Perawatan mudah
- d. *Static pressure drop* yang rendah

Kerugian :

- a. *Head* rendah dapat mengakibatkan *clogging* (tersumbat)
- b. Peristiwa *Icing* (menjadi kristal-kristal es) yang sulit dikontrol

2. *Counterflow*

Keuntungan :

- a. *Range* yang dihasilkan lebih besar
- b. *Approach* lebih kecil
- c. Udara yang digunakan lebih efisien
- d. Pergerakan udara vertical membuat performa meningkat

Kerugian :

- a. Daya fan yang dibutuhkan lebih besar
- b. *Head* yang dibutuhkan lebih tinggi
- c. Biaya operasi dan konsumsi energi lebih besar

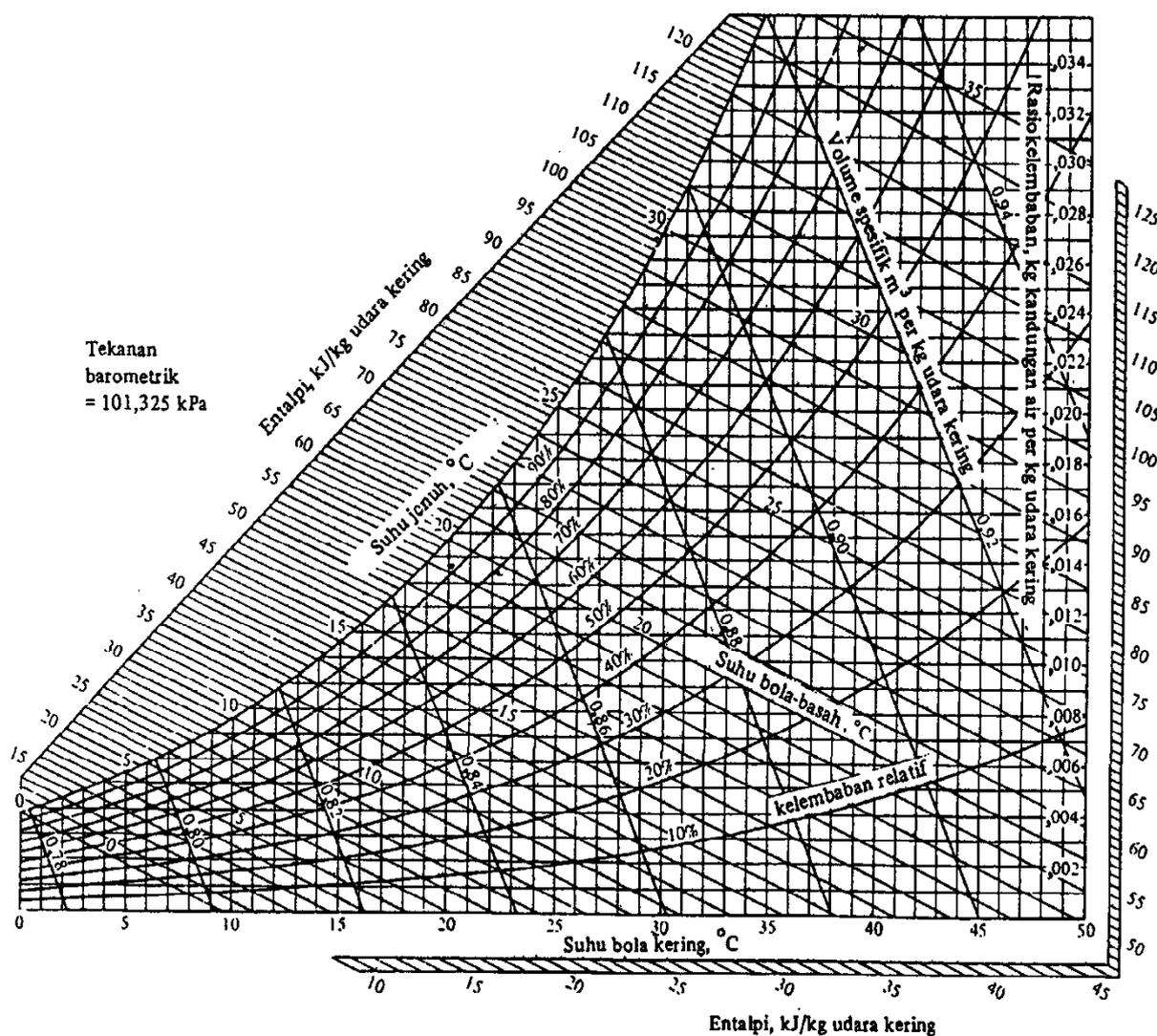
2.4 Istilah yang digunakan dalam Cooling Tower

Dalam pembahasan *cooling tower* ada beberapa istilah yang digunakan dan juga parameter efektivitas dari *cooling tower*, yaitu :

1. Psikrometri dan diagram psikrometri

Psikrometri merupakan kajian tentang sifat-sifat campuran udara dan uap air, yang mempunyai arti penting dalam bidang teknik pengkondisian udara, karena udara atmosfer tidak kering betul tetapi campuran antara udara dan uap air. Prinsip-prinsip psikrometri banyak diterapkan dalam peralatan sistem pengkondisian udara, menara pendingin (*cooling tower*), pengurangan kelembaban maupun pada proses-proses manufaktur.

Diagram psikrometri menggambarkan beberapa sifat penting dari udara kering hingga lembab, baik harga entalpi, kelembaban dan volume spesifik dari suatu sampel udara. Contoh diagram psikometri dapat dilihat pada gambar 2.5 berikut :



Gambar 2.5. Diagram psikrometri
Sumber : <http://cooling-tower-online.com/page/6/>

a. Kelembaban relatif (ϕ)

Kelembaban relatif (ϕ) didefinisikan sebagai perbandingan antara tekanan parsial uap air di atmosfer terhadap tekanan uap jenuhnya pada temperatur yang sama. Kelembaban relatif dapat dinyatakan dengan persamaan 2-1 berikut:

$$\phi = \frac{p_s}{p_w} \quad (\text{Stoecker, 1996:40}) \quad (2-1)$$

Dimana:

- ϕ = kelembaban relatif
 p_w = tekanan jenuh air murni pada suhu yang sama
 p_s = tekanan parsial uap air di atmosfer

b. Rasio kelembaban (W)

Rasio kelembaban (W) adalah berat atau massa air yang terkandung dalam setiap kilogram udara kering. Dalam teknik pengatur kondisi udara, untuk menghitung rasio kelembaban dapat digunakan persamaan keadaan gas ideal. Sehingga dari persamaan keadaan diperoleh rasio kelembaban sesuai persamaan 2-2 sebagai berikut:

$$W = 0,622 \frac{p_s}{p_{atm} - p_s} \quad (\text{Stoecker, 1996:41}) \quad (2-2)$$

Dimana:

- W = rasio kelembaban
 p_{atm} = tekanan atmosfer
 p_s = tekanan parsial uap air

c. Entalpi

Entalpi campuran udara kering dan uap air adalah jumlah dari entalpi udara kering dan entalpi uap air. Sesuai dengan persamaan 2-3 berikut :

$$h = c_p \times T + W \times h_g \quad (\text{Stoecker, 1996:42}) \quad (2-3)$$

dimana :

- h = entalpi campuran udara kering dan uap air, (kJ.kg⁻¹)
 c_p = kalor spesifik udara kering pada tekanan konstan = 1,0 (kJ.kg⁻¹.K⁻¹)
 T = suhu campuran udara dan uap, (K)
 h_g = entalpi uap air jenuh pada suhu campuran udara dan uap, (kJ.kg⁻¹)

d. Volume spesifik

Volume spesifik adalah volume udara campuran dengan satuan meter kubik per kilogram udara kering. Dapat juga dikatakan sebagai meter kubik udara kering atau meter kubik campuran per kilogram udara kering, karena volume yang diisi oleh masing-masing substansi sama. Dari persamaan keadaan gas ideal, volume spesifik v adalah sesuai dengan persamaan 2-4 berikut :

$$v = \frac{R_a \cdot T}{P_{atm} - P_s} \quad (\text{Stoecker, 1996:43}) \quad (2-4)$$

Dimana:

v = volume spesifik (m³/kg udara kering)

R_a = tetapan gas untuk udara kering = 287 (J/kg.K)

p_{atm} = tekanan atmosfer (kPa)

p_s = tekanan uap air parsial dalam keadaan jenuh (Pa)

e. Temperatur.

Pada psikrometri ada tiga istilah untuk besaran temperatur, yaitu temperatur bola kering (*dry bulb*), temperatur bola basah (*wet bulb*), dan *dew point*. Temperatur bola kering adalah temperatur dari termometer yang bola sensornya terbuka ke atmosfer, temperatur bola basah adalah temperatur dari termometer yang bola sensornya dibungkus dengan kain basah. Sedangkan temperatur *dew point* adalah temperatur saat uap air di atmosfer mulai mengembun.

2. Udara jenuh

Yang dimaksud dengan udara jenuh adalah udara yang sudah tidak mampu lagi menerima uap air pada suhu tertentu. Penurunan suhu akan menyebabkan pengembunan, sedangkan kenaikan suhu akan menyebabkan udara tidak jenuh lagi dan mampu menerima uap air. Udara jenuh dapat diperoleh melalui alat penjenuh adiabatik yang mencampurkan udara kering dengan percikan atau semprotan air.

3. Temperatur bola basah

Secara teori, suhu udara jenuh dapat diukur dengan alat penjenuh adiabatik, yaitu suatu alat yang mengalirkan udara melewati percikan air. Air tersebut didaurkan terus menerus hingga mencapai kesetimbangan dan diberi penyekat agar tidak ada kalor yang keluar atau masuk. Karena hal ini sulit sekali dilakukan maka

digunakan pengukuran temperatur bola basah yang lebih sederhana. Temperatur bola basah adalah suhu yang ditunjukkan oleh termometer dimana pada bagian bolanya dilengkapi sumbu yang selalu basah. Suhu ini merupakan pendekatan dari suhu udara jenuh yang diukur dengan menggunakan alat penjenuh adiabatik. Selama udara disekitarnya belum jenuh, temperatur yang ditunjukkan selalu dibawah suhu bola keringnya. Hal ini terjadi karena apabila udara tidak jenuh dan sumbu yang digunakan selalu basah, maka tekanan parsial uap air disekitar sumbu basah akan lebih besar daripada tekanan parsial di atmosfer, sehingga terjadi penguapan.

Penguapan akan terjadi pada suhu konstan apabila ada tambahan kalor dari luar. Oleh karena tidak ada kalor yang ditambahkan, maka untuk mengubah fase menjadi uap, air pada sumbu akan melepas sebagian kalor yang dimilikinya sehingga mengakibatkan suhunya turun. Suhu bola basah akan sama dengan suhu bola kering apabila udara sudah mencapai kondisi jenuh.

4. Kelembaban relatif (ϕ)

Kelembaban relatif adalah perbandingan tekanan parsial uap air di udara dengan tekanan parsial uap air jenuh pada suhu yang sama. Kelembaban ini biasanya dinyatakan dalam persen di mana kelembaban 0 % merupakan udara kering, sedangkan 100 % adalah udara jenuh. Rumusan dituliskan sesuai dengan persamaan 2-5 sebagai berikut :

$$\phi = \frac{p_s}{p_w} \quad (\text{Stoecker, 1996:40}) \quad (2-5)$$

Dimana:

ϕ = kelembaban relatif

p_w = tekanan jenuh air murni pada suhu yang sama

p_s = tekanan parsial uap air di atmosfer

5. Kelembaban absolut

Kelembaban absolut atau rasio kelembaban adalah perbandingan massa uap air dengan massa udara kering dalam udara atmosfer, atau dapat pula didefinisikan sebagai massa uap air yang terkandung dalam setiap kilogram udara kering. Sehingga dapat dinyatakan :

$$\omega = \frac{m_v}{m_a}$$

Karena uap air dan udara dapat dianggap sebagai gas ideal maka :

$$\omega = \frac{p_v V / R_v T}{p_a V / R_a T} = \frac{p_v / R_v}{p_a / R_a} = \frac{p_v R_a}{p_a R_v} = \frac{p_v R_a}{(p - p_v) R_v}$$

Dengan harga $R_a = 287 \text{ J/Kg.K}$ dan $R_v = 461,5 \text{ J/Kg.K}$, diperoleh persamaan 2-6 berikut:

$$\omega = \frac{p_v}{(p - p_v)} \quad (\text{Stoecker, 1996:41}) \quad (2-6)$$

dimana :

ω = kelembaban absolut (kg uap air/kg udara kering)

V = volume campuran udara-uap (m^3)

p = tekanan atmosfer (kPa)

p_a = tekanan parsial udara kering (Pa)

p_v = tekanan parsial uap air dalam keadaan jenuh (Pa)

T = suhu mutlak campuran udara-uap (K)

R_v = tetapan gas untuk uap air (J/kg.K)

R_a = tetapan gas untuk udara kering (J/kg.K)

6. Kesetimbangan energi dan massa

- Persamaan Kontinuitas

Persamaan kontinuitas menyatakan kesetimbangan massa fluida yang *steady* dalam saluran dengan kecepatan v (m/s) dan luas penampang saluran A (m^2), dan dituliskan sesuai dengan persamaan 2-7 berikut:

$$\rho \cdot v \cdot A = \text{konstan} \quad (\text{Fox dan McDonald, 1994 – 114}) \quad (2-7)$$

untuk fluida inkompresible, harga ρ konstan sepanjang saluran, sehingga persamaan ini banyak dinyatakan dengan kapasitas Q (m^3/s) sesuai dengan persamaan 2-8 berikut :

$$Q = v \cdot A = \text{konstan} \quad (\text{Fox dan McDonald, 1994 – 114}) \quad (2-8)$$

7. Efektivitas *cooling tower*

Efektivitas (*Effectiveness*) suatu alat penukar kalor adalah kemampuan untuk melepas kalor secara aktual dibandingkan dengan kalor maksimum yang mungkin dilepas. Perpindahan kalor aktual dapat dihitung dari perubahan suhu aktual yaitu selisih suhu fluida panas masuk (T_{hi}) dan keluar (T_{ho}) sebesar $\Delta T_{act} = T_{wi} - T_{wo}$. Sedangkan perpindahan kalor maksimu, diperoleh jika salah satu fluida mengalami

perubahan suhu sebesar beda suhu maksimum yaitu selisih suhu fluida panas masuk (T_{hi}) dan fluida dingin masuk (T_{ci}) sebesar $\Delta T_{\max} = T_{wi} - T_{aw}$

Dengan demikian efektivitas alat penukar kalor dirumuskan dengan persamaan 2-9 dan 2-10 berikut:

$$\epsilon = \frac{q_{out}}{q_{max}} \quad (\text{Holman, 1994: 498}) \quad (2-9)$$

atau

$$\epsilon = \frac{T_{h1} - T_{h2}}{T_{h1} - T_{c1}} \quad (\text{Holman, 1994 : 499}) \quad (2-10)$$

8. Number Transfer Unit (NTU)

Sebagai alat penukar kalor performa sebuah *cooling tower* juga dinyatakan dalam *NTU* yang merupakan tolak ukur perpindahan kalor dari alat penukar kalor tersebut. Semakin besar harga *NTU* menunjukkan bahwa penukar kalor itu semakin mendekati batas termodinamikanya. Menurut W.F. Stoecker (1996:347), $\frac{hCA}{Cpm}$ dapat didefinisikan dalam istilah lain yaitu *NTU* (*Number of Transfer Unit*). Secara umum *NTU* untuk sebuah *cooling tower counter flow* dirumuskan dengan sesuai dengan persamaan 2-11 yaitu :

$$NTU = \frac{U.A}{\dot{m} \cdot C_p} \quad (\text{Holman, 1994:507}) \quad (2-11)$$

Sedangkan menurut Lu Lu Wenjian Cai, *NTU* dari sebuah *counter flow cooling tower* bisa dirumuskan dalam bentuk persamaan 2-12 yaitu:

$$NTU = - \frac{\ln \left(\frac{1-\epsilon}{1-\epsilon m^*} \right)}{1-m^*} \quad (\text{Lu lu, 2000 : 3}) \quad (2-12)$$

$$\text{Dimana } m^* = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_w} \cdot \frac{C_s}{C_{pw}}$$

Dengan \dot{m}_a = laju aliran udara lembab masuk.

\dot{m}_w = laju aliran udara lembab keluar.

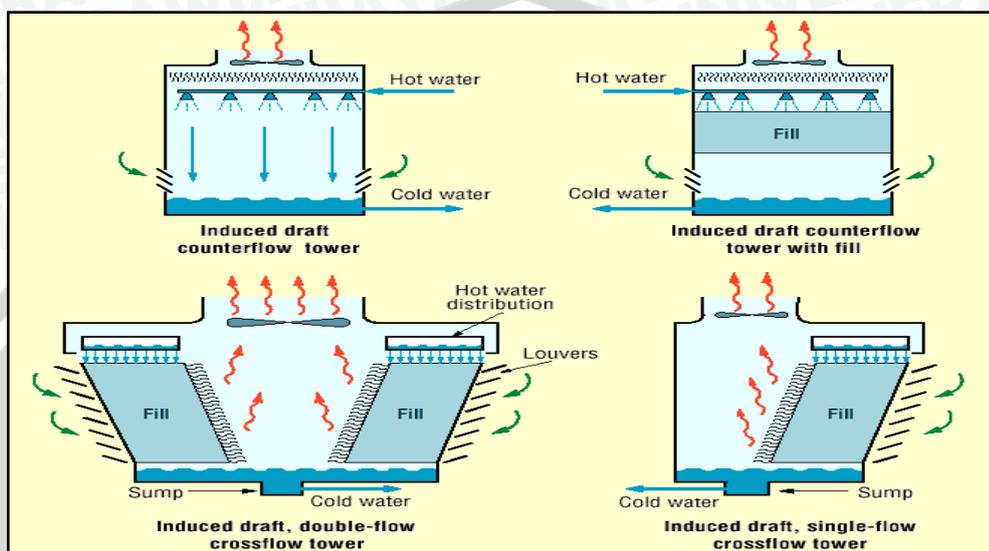
C_s merupakan kalor spesifik standar yaitu perbandingan Δh dengan ΔT aktual

$$C_s = \frac{h_a - h_{awo}}{T_{wi} - T_{wo}}$$

sehingga semakin tinggi *effectiveness* maka nilai *Number of Transfer Unit (NTU)* juga semakin tinggi.

2.5 Filler

Filler adalah suatu alat yang merupakan jantung dari *cooling tower*. Selain kuat, isian ini juga harus mampu menimbulkan kontak air dengan udara agar terjadi perpindahan panas dan massa dengan baik, serta memiliki hambatan yang rendah terhadap aliran udara. Isian harus kuat, ringan, dan tahan lapuk.



Gambar 2.6 Macam-macam penggunaan *filler* pada *cooling tower*

Sumber : <http://cooling-tower-online.com/page/2/>

Pada gambar 2.6 diatas merupakan contoh pemasangan *filler* pada instalasi *cooling tower*. *Filler* pada umumnya adalah berbentuk lembaran lembaran yang mempunyai jarak yang bervariasi. Dengan adanya *filler* dengan bentuk yang *flat* dan disusun secara *zig-zag* maka diharapkan air yang jatuh pada kolom pendingin dapat ditahan agar tidak langsung jatuh ke bak penampung air, sehingga air yang mengalir melalui *filler* panasnya dapat diserap oleh aliran udara.

Pertukaran panas antara udara dan air dipengaruhi oleh luas permukaan, lamanya waktu pertukaran panas (interaksi). Fungsi utama dari *filler* adalah menyediakan sebuah kondisi yang efektif untuk perpindahan panas. *Filler* menentukan keseluruhan diatas dan oleh karena itu mempengaruhi pertukaran panas. Makin besar pertukaran panas yang terjadi, makin efektif *cooling tower* tersebut. Dilihat dari jarak antar *filler* maka akan diketahui juga berapa jarak yang optimal untuk meningkatkan perpindahan panas dan massanya.

2.6 Analisa perpindahan panas *counter flow cooling tower*

Perpindahan kalor secara direct contact terjadi antara fluida panas dan fluida dingin akibat adanya kontak langsung dan pencampuran (mixing). Metode ini banyak digunakan untuk memanaskan atau mendinginkan udara dengan air maupun mendinginkan air dengan udara. Alat penukar kalor yang menerapkan cara ini biasanya dipakai pada sistem produksi gas, pengkondisian udara, *cooling tower* air dan kondensor uap.

Perpindahan panas secara konveksi adalah perpindahan kalor pada suatu zat yang disertai perpindahan partikel-partikel zat tersebut. Pada proses ini yang terjadi adalah perpindahan kalor secara konveksi, khususnya konveksi paksa, karena udara sebagai salah satu fluida kerjanya dihembuskan dengan bantuan gaya luar yaitu *blower*. Secara umum besarnya perpindahan kalor secara konveksi dapat dinyatakan menurut hukum Newton tentang pendinginan seperti terlihat pada persamaan 2-12 dan 2-13 sebagai berikut:

$$q = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (\text{Holman, 1994 : 252}) \quad (2-12)$$

dimana

\dot{m} = laju massa aliran

C_p = kalor spesifik

ΔT = Selisih antara air masuk dan air keluar *cooling tower*

atau

$$q = U \cdot A \cdot (\Delta T) \quad [\text{W}] \quad (\text{Holman, 1994 : 490}) \quad (2-13)$$

dimana

U = koefisien perpindahan kalor konveksi [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$].

A = luas permukaan perpindahan kalor [m^2].

ΔT = selisih suhu fluida masuk dan fluida keluar [$^\circ\text{C}$].

2.7 Sistem Distribusi Air

Ada bermacam-macam metode distribusi air yaitu :

a. Gravitasi

Jenis ini banyak digunakan untuk menara-menara yang menggunakan metode aliran silang, dimana terdiri dari pipa penyalur air panas yang

mengucurkan air ke bawah melalui *orifice*. Air jatuh karena adanya gaya gravitasi bumi keisian dibawahnya.

b. *Spray*

Umumnya digunakan untuk *cooling tower* jenis aliran berlawanan dan memiliki susunan pipa yang melintang dengan *nozlel* yang menyemprot kearah bawah. Untuk menghasilkan semprotan (*spray*), biasanya digunakan *nozlel*. Alat ini menyemprotkan air untuk membasahi bahan pengisi. Distribusi air yang seragam pada puncak bahan pengisi adalah penting untuk mendapatkan pembasahan yang benar dari seluruh permukaan bahan pengisi. *Nozlel* dapat dipasang dan menyemprot dengan pola bundar atau segi empat, atau bisa juga menjadi bagian dari rakitan yang berputar seperti pada menara dengan beberapa potongan lintang yang memutar.

c. *Rotary*

Sistem ini mempunyai lengan horizontal yang dapat berputar pada poros vertikal. Air yang disemprotkan bertekanan cukup tinggi dan memiliki sudut yang dapat diatur. Akibat tekanan yang diberikan, timbul gaya reaksi yang mengakibatkan poros vertikal berputar dengan kecepatan yang dapat disesuaikan dengan mengatur sudut pancaran air.

2.8 Hipotesis

Pada nilai debit udara masuk yang tetap dan semakin besar sudut pemasangan *flat filler*, akan menyebabkan semakin besar luas bidang kontak antara air dengan udara yang mengakibatkan nilai laju aliran air keluar semakin kecil sehingga nilai laju perpindahan kalor, efektivitas dan *number of transfer unit (NTU)* akan meningkat.