

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Industri *oleochemical* merupakan cabang industri kimia yang memanfaatkan minyak dan lemak baik nabati atau hewani sebagai bahan baku utama untuk menghasilkan berbagai produk kimia. Beberapa produk yang biasa di olah seperti *fatty acid*, *fatty alcohol* dan *metyl ester*. Proses pengolahan ini akan banyak melibatkan salah satu dari banyaknya proses yaitu proses mendinginkan fluida. Proses pendinginan fluida dilakukan dengan menggunakan bantuan *cooling tower*. Pada *cooling tower* akan masuk air umpan yang berfungsi untuk proses pendinginan, air yang telah didinginkan di *cooling tower* selanjutnya akan dialirkan ke berbagai *equipment* pada pabrik yang membutuhkan pendinginan untuk menurunkan temperatur. Setelah proses pendinginan selesai, *make up water* akan ditambahkan lagi ke dalam bak penampungan sebagai antisipasi dari hilangnya air yang menguap, sehingga air yang tersirkulasi jumlahnya tetap sama.

*Cooling Tower* merupakan alat penukar panas atau kalor yang menggunakan bantuan udara dan air sebagai fluida kerja. Air pendingin yang sebelumnya telah bertukar panas di *heat exchanger* akan kembali lagi ke *cooling tower* untuk didinginkan. Caranya adalah dengan mengontakkan langsung dengan udara, fluida ini membantu menurunkan suhu air panas yang masuk ke dalam *cooling tower* yang mengakibatkan sebagian air menguap. Prinsip penguapan dan perpindahan panas yang digunakan *cooling tower* dimana sebagian air dibuang ke atmosfer dengan bantuan aliran udara yang bersumber dari *fan* pada *cooling tower*. Fungsi *cooling tower* adalah memproses air panas menjadi air dingin, sehingga

panas dari air dibuang ke lingkungan yang disebut sebagai panas yang hilang dari air. (Pratama, Setyawan, and Ramadhan 2021).

Fungsi *cooling tower* adalah mengambil panas dari air kondensor yang kemudian membawa panas tersebut ke udara yang ditarik oleh *fan cooling*. Udara akan menjadi lebih panas dari sebelumnya, sehingga air akan menjadi lebih dingin. *Cooling tower* menggunakan udara sekitar sebagai media untuk mendinginkan air tanpa menggunakan media lain, uap panas yang keluar tidak merusak lingkungan sehingga sistem pendinginnya lebih efisien daripada alat pendukung pendinginan air lainnya. Oleh karena itu, temperatur udara masuk di *cooling tower* berpengaruh terhadap penguapan air *cooling* sehingga perlu diperhatikan level pada basin *cooling tower* agar tetap dalam batas yang diinginkan supaya tidak mengganggu proses produksi.

Temperatur udara masuk pada *cooling tower* berpengaruh terhadap proses pendinginan fluida dan laju penguapan air. *Cooling tower* memanfaatkan udara sekitar dengan bantuan *fan* untuk dikontakkan langsung dengan fluida, temperatur udara di siang dan sore hari cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur udara di pagi hari ataupun malam hari. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui berapa temperatur udara yang masuk ke *cooling tower* yang berpengaruh terhadap laju penguapan air. Dilakukan pengambilan data temperatur yang masuk ke *cooling tower* setiap 6 jam sekali yaitu pada pagi hari, siang hari, sore hari dan malam hari. Kemudian diketahui temperatur udara yang menyebabkan penguapan air yang tinggi pada *cooling tower*.

Prinsip penguapan terjadi ketika air diuapkan ke udara yang bergerak dan kemudian dibuang ke lingkungan. Selama *cooling tower* beroperasi terjadi

kehilangan air, maka dari itu diperlukan tambahan air untuk menjaga level air yang bersirkulasi tetap stabil. Beberapa faktor yang menyebabkan kehilangan air, termasuk kehilangan evaporasi ( $W_e$ ), kehilangan gerakan ( $W_d$ ) dan kehilangan udara ( $W_b$ ). Kehilangan uap air inilah yang harus di kompensasi oleh sistem *make up water* dan dilakukan dengan cara menambah air ke dalam basin *cooling tower*. (Busono dan Pujiarta, 2020).

Berdasarkan uraian di atas, penulis terinspirasi untuk melakukan penelitian dengan judul:

**“PENGARUH TEMPERATUR UDARA MASUK PADA LAJU  
PENGUAPAN AIR YANG BERPENGARUH TERHADAP  
*MAKE UP WATER COOLING TOWER* DI PT. PHPO KIM”**

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian penulis di atas, maka penulis dapat mengambil dan merumuskan beberapa masalah sebagai berikut :

1. Menghitung laju penguapan air yang dipengaruhi temperatur udara masuk setiap 6 jam sekali.
2. Menghitung berapa kebutuhan air setelah hilang akibat penguapan.

## **1.3 Tujuan Dan Manfaat Penelitian**

### **1.3.1 Tujuan Penelitian**

Adapun yang menjadi tujuan dari penelitian yang dilakukan antara lain :

1. Mengetahui laju penguapan air yang dipengaruhi temperatur udara masuk dengan temperatur yang berbeda.
2. Mengetahui kebutuhan air setelah hilang akibat penguapan dan mengetahui kebutuhan air yang akan disuplai oleh *make up water*.

### **1.3.2 Manfaat Penelitian**

1. Mampu mengetahui laju penguapan air yang dipengaruhi oleh temperatur udara masuk serta mengetahui kinerja *cooling tower*.
2. Mampu mengetahui kebutuhan air yang hilang akibat penguapan dan melakukan pengisian ke dalam basin *cooling tower*.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 *Cooling Tower*

*Cooling tower* atau menara pendingin adalah perangkat pendukung dengan sistem pendingin terbuka yang mendinginkan air menggunakan udara sebagai media. Air panas yang bersentuhan dengan udara yang ditarik oleh *fan cooling* menghasilkan pertukaran panas antara air dan udara. Temperatur air yang jatuh dan secara bertahap menurun hingga batas normal, sedangkan suhu udara meningkat dan naik sampai keluar dari cerobong *tower*. Bagian penampung (water basin) biasanya memiliki kerak dan lumut yang menempel pada dinding *tower* pengering karena zat seperti mineral ada di dalam air. Untuk menghindari korosi pada mesin, air biasanya di *treatment* terlebih dahulu pada bagian *Water Treatment Plant* (WTP) sebelum digunakan untuk pendinginan pada mesin tanpa khawatir korosi. (Sastrawan and Subagyo 2020).

*Cooling tower* merupakan alat penukar panas atau kalor yang menggunakan udara dan air sebagai fluida kerja. Dengan mengontak langsung dengan udara, fluida ini membantu menurunkan suhu air panas yang masuk ke dalam *cooling tower* akibatnya sebagian air akan menguap. Prinsip penguapan dan perpindahan panas yang digunakan *cooling tower* di mana sebagian air dibuang ke atmosfer dengan bantuan aliran udara. Fungsi *cooling tower* adalah memproses air panas menjadi air dingin, sehingga panas dari air dibuang ke lingkungan dan disebut sebagai panas yang hilang dari air. *Cooling tower* sangat penting, agar air yang telah digunakan di gunakan dalam proses produksi dapat digunakan kembali setelah melewati proses pendinginan. *Cooling tower* bekerja melalui perpindahan

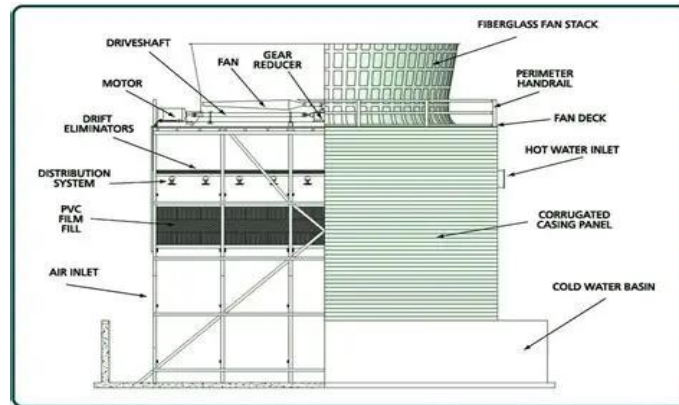
kalor dan pelepasan kalor. Perpindahan kalor ini berasal dari air dan udara, menurut prinsip *draft counter flow*, di mana air didinginkan berlawanan dengan aliran udara. Bahan pengisi di dalam *cooling tower* membantu memperlambat tingkat jatuhnya air dan memungkinkan perpindahan panas yang dihasilkan dari uap dengan memaksimalkan udara dan air.

### **2.1.1 Fungsi *Cooling Tower***

Fungsi *cooling tower* adalah mengambil panas dari air kondensor dan kemudian membawa panas tersebut ke udara yang ditarik oleh *fan cooling*. Udara akan menjadi lebih panas dari sebelumnya, sehingga air akan menjadi lebih dingin, mulai dari suhu 45°C hingga 50°C dan turun menjadi 30°C hingga 25°C, naik dan turunnya temperatur air dipengaruhi oleh kinerja *cooling tower* dan juga lingkungan sekitar *cooling tower*. *Cooling tower* menggunakan udara sekitar sebagai media untuk mendinginkan air tanpa menggunakan media pendingin lain, uap panas yang keluar dari cerobong tidak akan merusak lingkungan, sehingga sistem pendinginnya lebih efisien daripada alat pendukung pendinginan air lainnya. Dibandingkan dengan sistem pendinginan lain yang dianggap rumit dan membutuhkan biaya perawatan yang lebih tinggi, pengoperasian *cooling tower* juga mudah dipahami dan ekonomis karena tidak memerlukan biaya perawatan yang besar. (Pratama, Setyawan, and Ramadhan 2021).

### **2.1.2 Bagian-bagian *Cooling Tower***

*Cooling tower* secara garis besar terdiri dari beberapa komponen-komponen dasar yang meliputi rangka dan wadah, bahan pengisi, kolam air dingin atau bak penampungan, saluran masuk udara, pipa *sprinkler*, *louvers nozzle* dan *fan*. Bagian-bagian *cooling tower* dapat dilihat pada gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Bagian-bagian *Cooling Tower*

Sumber (Rahman dan Mursadin, 2022)

1. Kerangka Pendukung Menara (Tower Supporter)

*Tower supporter* berfungsi untuk mendukung *cooling tower* agar dapat berdiri kokoh dan tegak. Kerangka *cooling tower* biasanya terbuat dari baja, agar mampu menopang semua bagian dari *cooling tower*.

2. Rumah *Cooling Tower* (Casing)

*Casing* berfungsi sebagai rumah dari komponen-komponen sehingga harus memiliki ketahanan yang baik terhadap segala cuaca agar komponen terjaga dan memiliki umur pakai yang panjang. Ada dua jenis bahan yang *cooling tower* digunakan untuk *casing* atau rumah *cooling tower*, yaitu bahan *fiber* atau pelat logam. Jenis bahan dari rumah *cooling tower* bergantung pada dimensinya. Semakin besar dimensi *cooling tower* maka dibutuhkan bahan yang kuat dan tahan.

3. 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 kecil untuk menyalurkan air.

*Sprinkler* hanya digunakan untuk beberapa tipe *cooling tower* tertentu, sedangkan untuk jenis *cooling tower* lainnya menggunakan *nozzle* untuk menyembrotkan air. Alat ini menyembrotkan air untuk membasahi bahan pengisi. Distribusi yang merata di atas bahan pengisi penting untuk mendapatkan pembasahan yang tepat dari seluruh permukaan bahan pengisi (*filling material*).

4. Penampung Air (Water Basin)

*Water basin* berfungsi sebagai pengumpul air sementara yang jatuh dari *filling material* sebelum disirkulasikan kembali ke kondensor. Kolam air dingin terletak pada bagian bawah menara, kolam biasanya memiliki lubang atau titik terendah untuk mengeluarkan air. Selain sebagai penampung air *water basin* juga sebagai *fillter* air yang akan di alirkan kembali dalam *cooling tower*, dimana pada saluran keluar dari *water basin* biasanya terdapat *fillter* yang dapat menyaring kotoran yang jatuh.

5. Lubang Udara (Inlet Louver)

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

6. Bahan Pengisi (Filling Material)

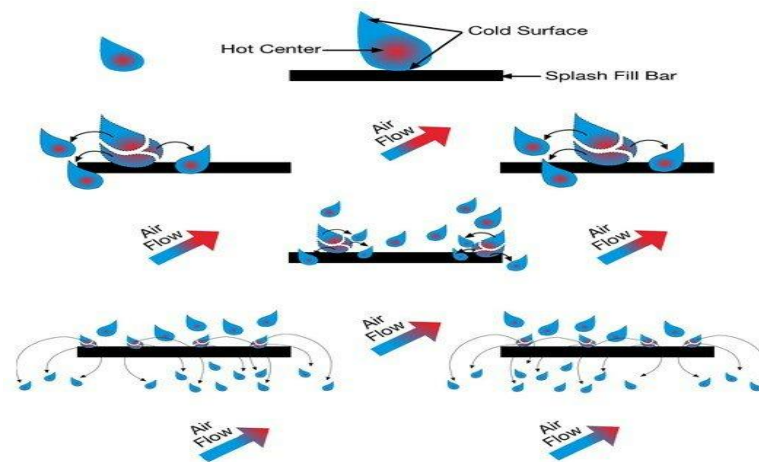
Fungsi pengisi adalah untuk meningkatkan permukaan yang tersedia di menara, baik dengan menyebarkan cairan di atas permukaan yang lebih besar atau dengan memperlambat jatuhnya permukaan tetesan melalui peralatan. Hampir seluruh menara menggunakan bahan pengisi terbuat dari plastik atau kayu untuk memfasilitasi perpindahan panas dengan memaksimalkan kontak

udara dan air. Bahan pengisi harus dapat menimbulkan kontak yang baik antara air dan udara agar terjadi laju perpindahan kalor yang baik. Bahan pengisi harus kuat, ringan dan tahan lapuk.

Bahan pengisi terbagi menjadi beberapa jenis yaitu:

a. Bahan Pengisi Jenis Percikan (Splash Fill)

Air jatuh di atas lapisan yang berturut dari batang pemercik horizontal, secara terus menerus pecah menjadi tetesan yang lebih kecil. Bahan pengisi percikan dari plastik memberikan perpindahan kalor yang baik dari pada bahan pengisi percikan dari kayu. Bahan pengisi percikan *Splash Fill* dapat dilihat pada gambar 2.2.



**Gambar 2.2** Aliran *splash fill*

Sumber (Ali Nurmansyah, 2023)

b. Bahan Pengisi Jenis *Film* (Film Fill)

*Film fill* terdiri dari permukaan plastik tipis dengan jarak yang berdekatan di mana 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

dengan volume yang lebih kecil dari pada bahan pengisi jenis *splash*. *Film fill* terbuat dari bahan yang berbeda seperti kayu, *waveform*, dan plastik. *Film Fill* Dapat dilihat pada gambar 2.3.



**Gambar 2.3** *Film Fill*

Sumber (Ali Nurmansyah, 2023)

c. Bahan Pengisi Sumbatan Rendah (Low-Clog Film Fill)

Bahan pengisi sumbatan rendah saat ini dikembangkan untuk menangani air yang keruh. Jenis ini merupakan pilihan terbaik untuk air laut karena adanya penghematan daya dan kinerjanya, dibandingkan tipe bahan pengisi jenis percikan konvensional. *Low-clog film fill* dapat dilihat pada gambar 2.4.



**Gambar 2.4** *Low-Clog Film Fill*

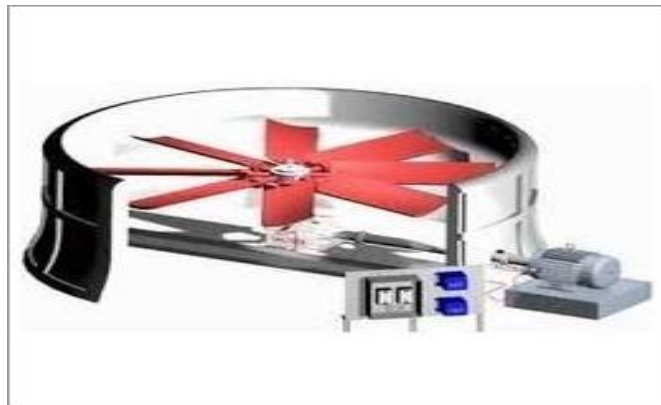
Sumber (Ali Nurmansyah, 2023)

7. Saluran Udara Masuk

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

#### 8. *Fan*

*Fan* merupakan bagian terpenting dari sebuah *cooling tower* karena berfungsi untuk menarik udara panas dan mensirkulasikan udara tersebut di dalam menara untuk mendinginkan air. Jika *fan* tidak berfungsi maka kinerja *cooling tower* tidak optimal. *Fan* digerakkan oleh motor listrik yang dihubungkan langsung dengan poros *fan*. *Fan* dapat dilihat pada gambar 2.5.



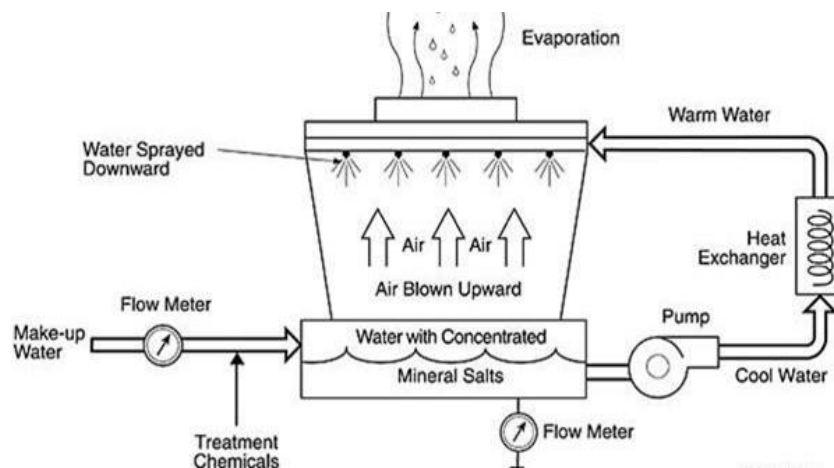
**Gambar 2.5** *Fan*

Sumber (Rahman, 2022)

### 2.1.3 Cara Kerja *Cooling Tower*

*Cooling tower* bekerja dengan mengontakkan air yang bersuhu tinggi dengan udara yang bersuhu rendah, sehingga terjadi perpindahan panas antara air dan udara. Air yang telah didinginkan oleh udara akan jatuh ke bawah menuju bak penampungan air, sementara udara yang naik akan memiliki suhu yang lebih tinggi dari sebelumnya, dan kemudian udara tersebut ditarik ke atas oleh baling-baling menara pendingin menuju bagian atas menara. Saat *cooling tower* dihidupkan, baling-baling atau kipas akan berputar untuk menarik udara dibagian bawah

menara. Udara yang ditarik ini akan bersentuhan dengan air yang jatuh dari atas, yang menyebabkan pertukaran panas antara udara dan air. Kemudian, air panas yang masuk dan semprotan *droplet* dari *nozzle* digunakan untuk memindahkan panas lebih merata ke *make up water*. Kipas atau *fan* akan membantu mengeluarkan uap panas dari *exhaust*, yang kemudian ditampung di basin untuk dialirkan ke kondensor atau *heat changer*. Setelah itu, air yang jatuh akan menurun suhunya hingga mencapai temperatur normal. Cara kerja *cooling tower* atau menara pendingin dapat dilihat pada gambar 2.6.



**Gambar 2.6** Prinsip Kerja *Cooling Tower*

Sumber (Ahluriza, 2021)

Sistem pendingin ini sangat efisien dibandingkan sistem pendingin lainnya karena proses pendinginannya menggunakan udara sekitar sehingga media pendingin dan air dinginnya juga relatif bagus, jadi bisa langsung di dapat terus digunakan untuk pendinginan mesin. Di area saluran *make up water* akan menyala. Jika air di dalam tangki tidak cukup untuk menyelesaikan proses, sehingga diperlukan tambahan air untuk mempertahankan proses pendinginan dengan baik dan stabil. Pada saat yang sama saluran air pada bagian *blowdown* akan dibuka apabila air pada penampung mengalami kelebihan air, sehingga perlunya

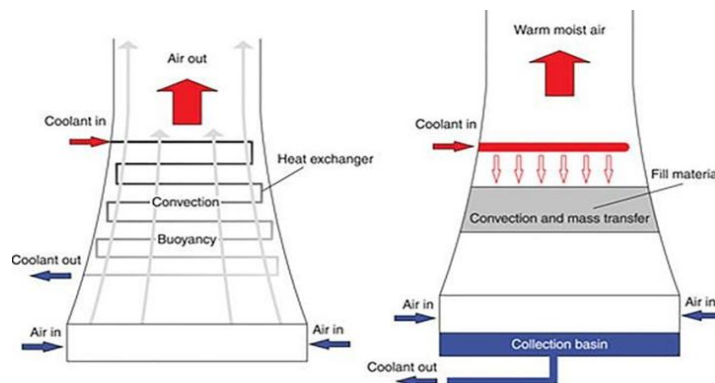
pengurangan air untuk menjaga proses pendinginan agar tetap stabil. (Rahman and Mursadin 2022).

## 2.2 Jenis-jenis *Cooling Tower*

*Cooling tower* dapat diklasifikasikan sesuai dengan alatnya di mana udara di *supply* ke dalam *cooling tower*. Secara garis besar *cooling tower* dapat dibedakan menjadi beberapa jenis:

### 2.2.1 *Natural Draft Cooling Tower*

*Natural Draft Cooling Tower* adalah sejenis penukar panas yang mendinginkan air dengan kontak langsung dengan udara, udara di dalam menara hanya bersirkulasi tanpa bantuan kipas dan hanya mengandalkan sifat alami udara. *Natural Draft Cooling Tower* dapat dilihat dari gambar 2.7.



**Gambar 2.7** *Natural Draft Cooling Tower*

Sumber (Rahman, 2022)

*Natural Draft Cooling Tower* yang alami mengandalkan sirkulasi udara, tanpa perlu kipas atau peralatan mekanis yang lainnya. Aliran udara ini didorong oleh perbedaan kepadatan antara udara hangat dan lembap di dalam menara dan udara sejuk serta hangat di luar menara. Yang membedakan menara pendingin ini dari jenis lainnya adalah cara pergerakan udara yang masuk ke dalam sistem menggunakan aliran udara alami, bukan kipas atau *blower* mekanis. Proses

pendingin di *Natural Draft Cooling Tower* mencakup 2 proses utama : pemindah panas sensibel dan pemindah panas laten .

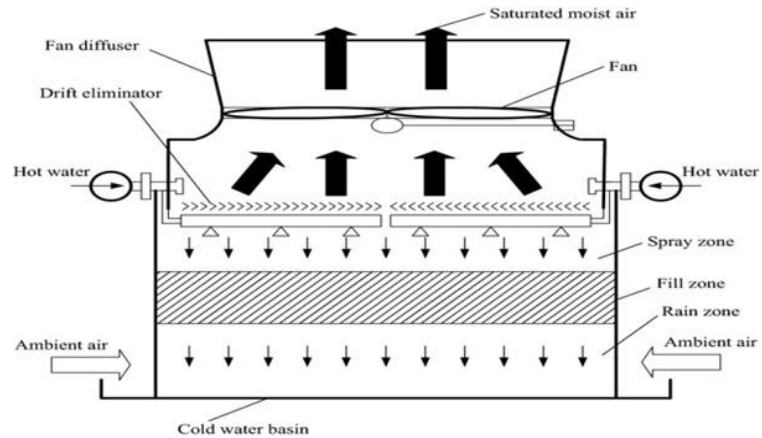
- Pemindah panas sensibel adalah ketika panas yang dipindahkan dari air panas ke udara dingin melalui kontak langsung. Akibatnya suhu kedua cairan akan berubah, tetapi tidak dengan fase mereka. Pemindahan panas sensibel bergantung pada faktor-faktor seperti perbedaan suhu, tingkat aliran, dan luas permukaan kontak.
- Pemindah panas laten adalah saat panas dipindahkan dari air panas ke udara dingin melalui penguapan. Hasilnya, beberapa air mengubah fase dari cairan ke uap, sambil menyerap panas dari daerah sekitarnya. Pemindahan panas yang tersembunyi bergantung pada faktor-faktor seperti rasio kelembaban, tekanan uap, dan koefisien transfer massa.

Kombinasi panas sensibel dan laten dapat mendingin air dan memanaskan udara. Air yang didinginkan jatuh ke *water basin*, sedangkan udara yang dipanaskan naik ke saluran udara karna mengapung. Efek apung itu sendiri menciptakan *draft* alami yang menarik udara lebih segar di jalur masuk udara, dan akan menciptakan siklus pendingin yang berkesinambung. *Natural Draft Cooling Tower* dapat dikelompokkan menjadi 2 jenis berdasarkan konfigurasi :

### **1. Counterflow Natural Draft Cooling Tower**

Dalam *cooling tower* jenis ini, air mengalir ke bawah, dan udara mengalir ke atas di arah yang berlawanan. Hal ini memungkinkan untuk suhu yang lebih tinggi dan efisiensi pendingin yang lebih tinggi. Untuk prosesnya air panas hasil proses akan masuk ke dalam menara melalui pipa *inlet*, dan keluar lewat *nozzle*

yang terdapat di dalam menara. *Counterflow cooling tower* dapat dilihat pada gambar 2.8.

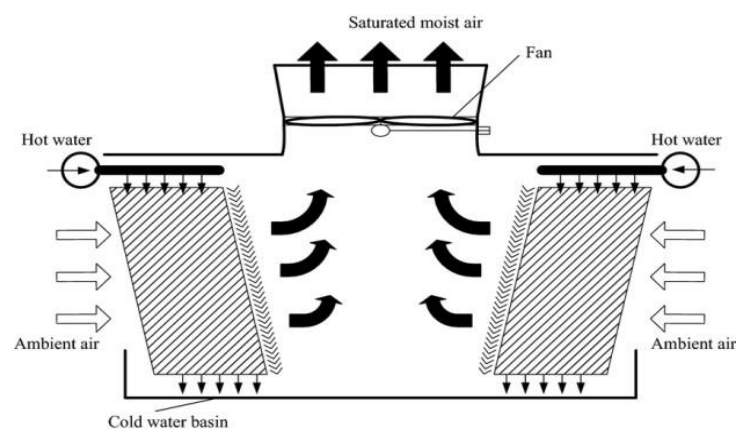


**Gambar 2.8** *Counterflow Natural Draft Cooling Tower*

Sumber (Sastrawan, 2020)

## 2. *Crossflow Natural Draft Cooling Tower*

Pada jenis *cooling tower* ini, airnya mengair ke bawah, dan udaranya mengalir secara horizontal ke arah yang lurus. Hal ini memungkinkan untuk ketinggian yang lebih sedikit daripada *cooling tower* jenis *counterflow*. *Crossflow natural draft cooling tower* dapat dilihat pada gambar 2.9.



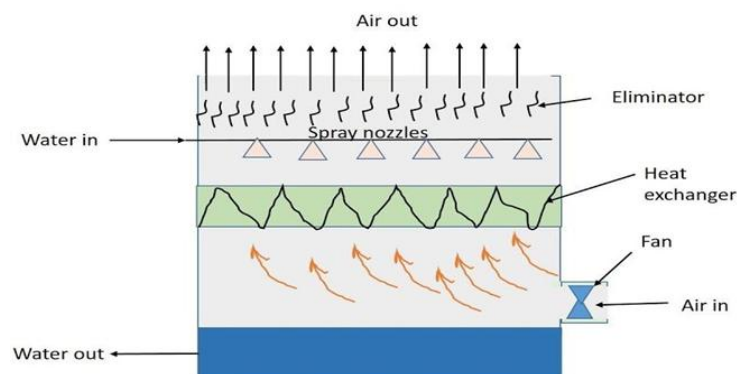
**Gambar 2.9** *Crossflow Natural Draft Cooling Tower*

Sumber (Ahluriza, 2021)

Namun, menara ini memiliki perbedaan suhu yang lebih rendah daripada menara *counterflow*. Pengisian *counterflow* dan *crossflow* dapat bervariasi dalam bentuk dan ukuran. Pengisian yang sesuai untuk *cooling tower* harus didasarkan pada keadaan air. Padatan tersuspensi, potensi pertumbuhan biologis dan informasi tentang konstituen dalam air proses yang dapat menyebabkan masalah harus ditentukan di awal proses desain. Keuntungan dari *crossflow cooling tower* yaitu tapak atau tempat yang lebih kecil dari *cooling tower* yang lain, berpotensi menurunkan bobot pengisian, serta mengakomodasi berbagai jenis pengisian untuk mengatasi sumber air.

### 2.2.2 Forced draft cooling tower

Pada jenis ini udara di dorong ke dalam *cooling tower* dengan bantuan kipas yang berada pada dasar *cooling tower* dan mengeluarkan udara tersebut melalui bagian atas atau puncak, arah aliran jenis ini yaitu udara mengalir mendatar, menyilang arah dengan jatuhnya air. Pada *forced draft cooling tower* ini dirancang khusus untuk menangani larutan asam sulfat atau cairan yang sangat korosif. *Cooling tower* ini dilengkapi dengan distribusi bahan yang sangat tahan. *Forced draft cooling tower* dapat dilihat pada gambar 2.10.



**Gambar 2.10** *Forced draft cooling tower*

Sumber (Busono, 2020)

## 2.3 Mekanisme Perpindahan Panas

Perpindahan panas dapat terjadi karena adanya perbedaan temperatur antara satu fluida dengan fluida yang lainnya. Proses perpindahan panas yang terjadi dapat terlihat dari adanya sirkulasi air pendingin yang berasal dari *cooling tower*. Sewaktu terjadi pendorongan *biller* dari dapur, maka akan terjadi proses perpindahan panas fluida dari temperatur rendah ke temperatur tinggi. Umumnya mekanisme perpindahan panas dapat dibagi menjadi tiga bagian yaitu konduksi, radiasi, dan konveksi.

### 2.3.1 Perpindahan Panas Dengan Cara Konveksi

Perpindahan panas konveksi adalah proses *transport* energi dengan kerja gabungan dari konduksi panas, penyimpanan energi dan gerakan mencampur. Perpindahan panas konveksi dapat diklasifikasikan dalam konveksi bebas (*free convection*) dan konveksi paksa (*forced convection*). Bila gerakan mencampur berlangsung semata mata sebagai akibat dari perbedaan kerapatan yang disebabkan gradien temperatur, maka dikatakan sebagai konveksi bebas/alamiah (*natural*), sedangkan bila gerakan mencampur disebabkan oleh suatu alat tertentu dari luar dikatakan sebagai konveksi paksa. Fenomena perpindahan panas konveksi terdiri dari dua mekanisme yaitu perpindahan energi sebagai akibat dari pergerakan molekuler acak (*difusi*) dan energi yang dipindahkan secara makroskopik dari fluida. (Cassidy and Houlsby 2016).

### 2.3.2 Perpindahan Panas Dengan Cara Konduksi

Perpindahan panas secara konduksi adalah proses di mana panas ditransfer melalui materi tanpa perpindahan fluida. Ada dua jenis perpindahan panas secara konduksi yaitu konduksi keadaan tunak (*steady state*) dan konduksi keadaan tak tunak (*unsteady state*). Dalam konduksi keadaan tunak, nilai panas (kalor) tetap

sama seiring waktu, sedangkan dalam konduksi keadaan tak tunak, nilai panas berubah seiring waktu. Banyak penelitian telah dilakukan tentang perpindahan panas konduksi tak tunak dalam upaya menemukan metode penyelesaian yang lebih cepat, tepat, dan akurat yang tidak membutuhkan banyak biaya. Oleh karena itu, penelitian dibuat secara numerik, yaitu dengan menggunakan teknik pemrograman komputer yang dapat menghasilkan data yang mirip dengan pengujian nyata. (Prasetya, Arifin, and Joko 2010).

### **2.3.3 Perpindahan Panas Dengan Cara Radiasi**

Perpindahan panas secara radiasi adalah proses perpindahan panas dari benda yang bertemperatur tinggi ke benda yang bertemperatur rendah di mana kedua benda tersebut tidak berhubungan langsung melainkan dengan perantara gerak gelombang melalui ruang. Di mana radiasi tersebut memiliki sifat yaitu bila energi radiasi menimpa permukaan suatu bahan, maka sebagian dari radiasi itu dipantulkan (refleksi), sebagian diserap dan sebagian lagi diteruskan (transmisi). Ketika kamu merasa panas tanpa adanya kontak fisik dengan benda tersebut ini dikarenakan terjadinya radiasi.

## **2.4 Sifat-Sifat Termodinamika Udara Pada *Cooling Tower***

Proses pendinginan yang terjadi di dalam menara pendingin didasarkan pada prinsip termodinamika yang di mana panas akan mengalir dari panas ke dingin. Sifat- sifat termodinamika udara yang di antaranya, temperatur, kelembaban udara, kandungan energi dalam udara atmosfer atau udara basah, . Sifat ini penting untuk menganalisis proses energi. Sifat-sifat udara basah yang digunakan dalam perhitungan menentukan prestasi menara pendingin adalah:

1. *Range*

*Range* merupakan pengurangan suhu air yang melalui menara pendingin. *Range* yang tinggi berarti menara pendingin telah mampu menurunkan suhu air secara efektif, dan kinerjanya baik.

$$\text{Range } (^{\circ}\text{C}) = \text{suhu air masuk } (^{\circ}\text{C}) - \text{suhu air keluar } (^{\circ}\text{C}) \dots \dots \dots (2.1)$$

2. *Approach*

*Approach* adalah selisih antara suhu bola basah udara (wet-bulb) yang masuk dan suhu air yang keluar. Semakin rendah *approach* semakin baik kinerja menara pendingin. Walaupun, *range* dan *approach* harus dipantu, *approach* merupakan indikator yang lebih baik untuk kinerja menara pendingin.

$$\text{Approach } (^{\circ}\text{C}) = \text{suhu air keluar } (^{\circ}\text{C}) - \text{suhu wet bulb } (^{\circ}\text{C}) \dots \dots \dots (2.2)$$

3. Efektivitas

Efektivitas merupakan perbandingan antara *range* dan *range* ideal (dalam persentase) yaitu perbedaan antara suhu masuk air pendingin dan suhu wet bulb, atau dengan kata lain adalah =  $\text{range}/(\text{range} + \text{approach})$ . Semakin tinggi perbandingan ini, maka semakin tinggi efektivitas menara pendingin.

$$\text{Efektivitas} = \frac{\text{Range}}{(\text{Range } (^{\circ}\text{C}) + \text{approach } (^{\circ}\text{C}))} \times 100 \% \dots \dots \dots (2.3)$$

4. Kehilangan penguapan

Kehilangan penguapan merupakan jumlah air yang diuapkan untuk tugas pendinginan. Kehilangan air terjadi karena kontak langsung antara udara yang masuk ke *cooling tower* dengan air panas dari proses industri menyebabkan sebagian air menguap untuk menyerap panas.

$$W_e = 0,00085 \times W_c (T_2 - T_1) \dots \dots \dots (2.4)$$

### 5. *Drift Loss* (Wd)

*Drift loss* terjadi akibat air yang keluar karena *fan* berputar, untuk ini standarnya 0,1- 0,2 % jumlah air yang bersirkulasi.

$$WD = 0,1\% \times WC$$

.....(2.5)

### 6. *Blowdown*

Air terbuang yang diakibatkan sirkulasi air pada sistem pendingin. Perhitungan akibat air yang tadi harus disediakan “*make up*” air sebagai penyuplai air tambahan.

$$WB = WE / (S - 1)$$

.....(2.6)

### 7. Neraca Massa

Perhitungan kuantitatif dari semua bahan yang masuk, yang keluar, yang terakumulasi (tersimpan) dan yang terbuang saat proses terjadi. Perhitungan neraca massa dan *energi* pada *cooling tower* dilakukan dengan asumsi: Operasi berada dalam keadaan *steady state* dan daya konsumsi *fan* diabaikan. Efektivitas suatu *heat exchanger* didapat dari perbandingan aktual pendinginan. (Wuryanti 2021).

## 2.5 Media Pendingin *Cooling Tower*

Menara pendingin (*cooling tower*) didefinisikan sebagai alat penukar kalor yang material fluida kerjanya adalah air dan udara yang berfungsi sebagai media pendingin. Yang mana prinsip kerja menara pendingin berdasarkan pada pelepasan

kalor dan perpindahan kalor. Dalam menara pendingin, perpindahan kalor berlangsung dari air ke udara dengan cara di kontakkan langsung antara air dan udara masuk. Menara pendingin menggunakan penguapan dimana sebagian air diuapkan ke aliran udara yang bergerak dan kemudian dibuang ke atmosfer. Berikut penjelasan media pendingin pada *cooling tower* :

a. Air sebagai media pendingin

Air sebagai zat pendingin adalah salah satu cairan tertua yang digunakan untuk aplikasi pendinginan hingga mencapai titik beku. Air mudah di dapat dan memiliki sifat termodinamika dan kimia yang sangat baik. Ditemukan melalui referensi bahwa suhu evaporator di atas  $20^{\circ}\text{C}$  air memberikan COP tertinggi. Media di sini merupakan air yang mana pada sistem refrigerasi berkapasitas sedang dan besar sebagai media pendingin kondensor.

b. Udara sebagai media pendingin

Perpindahan kalor tersebut berlangsung dari air ke udara. Pada saat persinggungan antara air dan udara, sejumlah kalor akan dilepaskan oleh air yang bertemperatur lebih tinggi ke udara yang bertemperatur yang lebih rendah. Sehingga mengakibatkan temperatur air akan turun dari yang awalnya tinggi menjadi lebih rendah. Air yang sudah dinginkan akan berkumpul di bak atau basin di dasar menara dan dari situ diteruskan ke kondensor atau dibuang keluar, sehingga udara baru kalor dan lembab keluar melalui atas menara. (Handoyo 2015).

## 2.6 Penguapan Pada *Cooling Tower*

*Cooling tower* menggunakan prinsip penguapan di mana sebagian air diuapkan ke aliran udara yang bergerak dan kemudian dibuang ke lingkungan. Dalam

pengoperasian *cooling tower* dimungkinkan terjadi kehilangan air sehingga diperlukan penambahan air untuk menjaga kestabilan jumlah air yang bersirkulasi. Kehilangan air diakibatkan oleh beberapa faktor yaitu *evaporation loss* ( $W_e$ ), *drift loss* ( $W_d$ ) dan *blowdown* ( $W_b$ ), sehingga pada *cooling tower* pengurangan air yang sangat signifikan, harus di kompensasi dengan pompa *make-up*. Pada sistem pendingin ini, untuk mengatasi kekurangan volume air di *cooling tower*, disediakan pompa *make up*. *Make up water* akan ditambahkan dari tangki air ke dalam bak penampungan sebagai antisipasi dari hilangnya air yang menguap, sehingga air yang tersirkulasi jumlahnya tetap sama. Faktor-faktor yang mempengaruhi laju penguapan suatu cairan adalah (Busono and Pujiarta 2020):

1. Suhu

Ketika suhu cairan (air) dinaikkan, hal ini mengakibatkan peningkatan energi kinetik masing-masing molekul penyusun cairan tersebut. Peningkatan energi ini memudahkan molekul-molekul cairan untuk mengatasi gaya tarik-menarik antar molekul (yang menyatukan cairan) dan melepaskan diri ke atmosfer sebagai gas.

2. Luas Permukaan yang Ditempati Cairan

Penguapan merupakan fenomena permukaan artinya proses tersebut hanya terjadi pada permukaan zat cair. Selama penguapan, molekul-molekul cairan yang ada di permukaannya mengatasi gaya tarik antar molekul untuk melepaskan diri dari cairan dan lepas ke atmosfer sebagai gas atau uap. Perlu diketahui bahwa zat cair tidak mempunyai bentuk yang pasti – zat cair mengikuti bentuk wadahnya. Oleh karena itu, semakin besar luas permukaan wadah, semakin besar jumlah molekul cairan yang ada di permukaan tersebut.

Semakin besar jumlah molekul cairan di permukaan, semakin besar jumlah molekul yang akan melepaskan diri dari cairan dan menjadi gas pada waktu tertentu, sehingga berkontribusi terhadap peningkatan laju penguapan.

### 3. Kelembaban di Sekitarnya

Ada batasan berapa banyak uap air yang dapat ditampung di atmosfer. Batasan ini sebanding dengan suhu (yang berarti udara panas dapat menampung lebih banyak uap air dibandingkan udara dingin). Penguapan dapat dipandang sebagai proses kesetimbangan di mana jumlah uap air di atmosfer mencapai keseimbangan dengan jumlah air di permukaan cairan. Oleh karena itu, semakin besar jumlah uap air di atmosfer dibandingkan cairan, semakin lambat laju penguapannya. Perlu diketahui juga bahwa peningkatan suhu dengan kelembapan konstan akan berkontribusi pada peningkatan laju penguapan karena udara panas dapat menampung lebih banyak uap air. (Ahluriza and Sinaga 2021).

### 4. Sirkulasi Udara atau Kecepatan Angin

Penguapan meningkatkan kelembapan atmosfer yang mengelilingi cairan. Udara lembab ini membutuhkan waktu untuk menghilang ke seluruh atmosfer. Kehadiran angin sepoi-sepoi, angin kencang, atau bentuk sirkulasi udara lainnya dapat mempercepat proses ini dan mengurangi kelembapan lingkungan cairan. Oleh karena itu, dengan mengurangi kelembapan di sekitar cairan, angin kencang dapat meningkatkan laju penguapan cairan.

## 2.7 *Make Up Water*

Sekalipun siklus air di dalam proses pendinginan merupakan siklus yang tertutup tetapi di dalam sirkulasinya banyak terjadi kehilangan massa air yang

antara lain disebabkan adanya penguapan, *drift loss*, dan *blowdown*. Akibatnya diperlukan tambahan air sejumlah tertentu dari luar siklus secara kontinu. Oleh karena ini sistem *make up water* berfungsi untuk memenuhi kebutuhan akan tambahan air untuk menggantikan yang hilang tersebut. *Make up water cooling tower* adalah air yang ditambahkan ke sistem pendingin *cooling tower* untuk menggantikan air yang hilang akibat penguapan. Mengingat bahwa kualitas air penambah harus sama baiknya dengan kualitas air yang telah berada dalam siklus sumber menjadi air penambah (*make up water*).

Perlakuan *make up water* sangat penting untuk memastikan kualitas air yang digunakan dalam sistem pendingin atau proses industri lainnya. Pengolahan air *make up* dapat dilakukan dengan menggunakan metode seperti filtrasi, sedimentasi, dan desinfeksi untuk menghilangkan partikel-partikel yang tidak diinginkan dan kontaminan-kontaminan lainnya. Ph air *make up* juga harus dikontrol untuk mencegah korosi pada peralatan. Jika Ph air terlalu rendah atau terlalu tinggi, dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan dan mengurangi efisiensi sistem. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengendalian pH air *make up* untuk menjaga Ph yang optimal.

Kesadahan air *make up* juga harus dikontrol untuk mencegah pembentukan kerak pada peralatan. Kerak dapat menyebabkan penurunan efisiensi sistem dan meningkatkan biaya perawatan. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengendalian kesadahan air *make up* untuk menjaga kesadahan yang optimal. Inhibitor korosi dapat digunakan untuk mencegah korosi pada peralatan. Inhibitor korosi dapat membantu melindungi peralatan dari kerusakan akibat korosi dan meningkatkan

umur peralatan. Selain itu, perlu juga dilakukan pengendalian klorida air *make up* untuk mencegah korosi pada peralatan.

Dengan melakukan perlakuan *make up water* yang tepat, dapat membantu meningkatkan efisiensi sistem pendingin atau proses industri lainnya, serta mengurangi biaya perawatan dan meningkatkan umur peralatan. Oleh karena itu, perlakuan *make up water* sangat penting untuk dilakukan dalam sistem pendingin atau proses industri lainnya.

## **2.8 Sistem *Make Up Water***

Secara teoritis, air di dalam siklus pabrik akan terus bersirkulasi tanpa adanya pengurangan massa air sehingga tidak memerlukan penambahan dari luar siklus. Tetapi pada praktiknya, banyak terjadi kehilangan massa air, oleh karena itu harus ada tambahan air untuk menggantikan air yang telah hilang pada saat proses pendinginan berlangsung. Sistem air penambah berfungsi untuk memenuhi kebutuhan akan tambahan fluida kerja tersebut. Mengingat bahwa kualitas air penambah harus sama baiknya dengan kualitas air yang telah berada di dalam siklus tersebut.

Sistem *make up water* adalah sistem yang digunakan untuk menambahkan air ke sistem pendingin atau proses industri lainnya untuk menggantikan air yang hilang karena penguapan, kebocoran atau proses lainnya. Fungsinya adalah untuk mengisi air yang hilang, sistem *make up water* ini digunakan untuk mengisi air yang hilang dari sistem pendingin atau proses industri lainnya, selain itu fungsi *make up water* juga untuk membantu menjaga keseimbangan air dalam basin di *cooling tower* agar tetap terjaga pada batas level yang diinginkan.

## 2.9 Kebutuhan Air Yang Hilang Pada *Cooling Tower* (Make Up Water)

*Cooling Tower* merupakan alat penukar panas atau kalor yang menggunakan udara dan air sebagai fluida kerja. Air pendingin yang telah bertukar panas di *heat exchanger* akan kembali ke *cooling tower* untuk didinginkan. Dengan mengontak langsung dengan udara, fluida ini membantu menurunkan suhu air panas yang masuk ke dalam *cooling tower* akibatnya sebagian air menguap. Prinsip penguapan dan perpindahan panas yang digunakan *cooling tower* di mana sebagian air dibuang ke atmosfer dengan bantuan aliran udara yang bersumber dari *fan* yang terdapat di *cooling tower*. Air yang hilang harus dilakukan penambahan air untuk menjaga kestabilan jumlah air yang bersirkulasi di *cooling tower* dengan *make up water*. Kehilangan air bukan hanya karna penguapan, kehilangan air juga dapat diakibatkan oleh :

a. *Evaporation loss* ( $W_e$ )

Kehilangan air akibat dari terevaporasinya sebagian kecil air yang akan menguap akibat adanya perpindahan panas, di mana sebagian air dibuang ke atmosfer dengan bantuan aliran udara.

b. *Drift Loss* ( $W_d$ )

*Drift loss* terjadi akibat air yang keluar karna *fan* berputar, untuk ini standarnya 0,1- 0,2 % jumlah air yang bersirkulasi.

c. *Blowdown* ( $W_b$ )

Air terbang yang diakibatkan sirkulasi air pada sistem pendingin. Perhitungan akibat air yang tadi harus disediakan “*make up*” air sebagai penyuplai air tambahan.

## 2.10 Kajian Relevan Terkait Penelitian

Berdasarkan penelitian yang penulis lakukan dan didasarkan dengan beberapa jurnal yang di dapat penelitian yang dilakukan oleh Pranto Busono, Santosa Pujiarta, (2020). Membahas tentang “Analisa Kebutuhan *Make Up Water Cooling Tower* RSG-GAS Pada Daya 30 MW Setelah Revitalisasi” hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa kehilangan air pada *cooling tower* terdiri atas *evaporation loss* ( $W_e$ ), *drift loss* ( $W_d$ ) dan *blowdown* ( $W_b$ ). Penelitian ini berkaitan dengan penelitian penulis yang menghitung kebutuhan *make up water* dari *cooling tower* akibat dari laju penguapan air yang dipengaruhi oleh temperatur udara masuk.

Berdasarkan penelitian yang penulis lakukan dan didasarkan dengan beberapa jurnal yang di dapat penelitian yang dilakukan oleh Nimas Puspito Pratiwi, Gunawan Nugroho, Nur Laila Hamidah, (2014). Dengan pembahasan tentang “Analisa Kinerja *Cooling Tower Induced Draft* Tipe LBC W-300 Terhadap Pengaruh Temperatur Lingkungan” dengan metode kesetimbangan kalor dan massa. Dari penelitian ini di dapat temperatur air keluaran *cooling tower* yang dipengaruhi oleh temperatur *dry bulb* dan *wet bulb* yang selalu berubah-ubah. Efisiensi *cooling tower* saat musim kemarau antara 41% sampai 72%, sedangkan pada musim hujan efisiensinya 60% sampai 80%. Penelitian ini berkaitan dengan penelitian penulis tentang pengaruh temperatur udara masuk yang ke *cooling tower*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur udara masuk pada laju penguapan air yang berpengaruh terhadap *make up water cooling tower*. *Cooling tower* memanfaatkan udara sekitar untuk mendinginkan fluida, oleh karena itu peneliti mengambil data temperatur yang masuk ke *cooling tower* setiap 6 jam

sekali yaitu pada pagi hari, siang hari, sore hari dan malam hari. Kemudian dilakukan perhitungan dari temperatur udara masuk untuk mengetahui berapa laju penguapan yang terjadi yang akan berpengaruh terhadap penambahan air di *cooling tower* (make up). Penambahan air ini perlu dilakukan untuk menjaga level air yang ada di *cooling tower* agar tetap stabil, akibat yang terjadi apabila air berkurang dari batas level yang diinginkan akan mengakibatkan alarm pada sistem DCS (digital control sistem) dan akan mengakibatkan *plant trip*.