

PERHITUNGAN KEBUTUHAN COOLING TOWER PADA RANCANG BANGUN UNTAI UJI SISTEM KENDALI REAKTOR RISET

Muhammad Awwaluddin, Puji Santosa, Suwardiyono
Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir – BATAN

ABSTRAK

PERHITUNGAN KEBUTUHAN COOLING TOWER PADA RANCANG BANGUN UNTAI UJI SISTEM KENDALI REAKTOR RISET. *Cooling tower* pada rancang bangun unta uji sistem kendali reaktor riset berfungsi sebagai media pemindah panas yang berasal dari *heat exchanger* ke udara. Untuk mendapatkan hasil pemindahan panas atau pendinginan yang maksimal maka penentuan kebutuhan *cooling tower* harus tepat. *Cooling tower* ini diharapkan mampu menerima dan melepaskan panas sebesar 1,191kw yang berasal dari *heat exchanger*. Untuk mendukung kebutuhan tersebut maka diperlukan perhitungan kebutuhan *cooling tower*. Dengan demikian diharapkan *cooling tower* yang akan dipasang nantinya bisa memenuhi kebutuhan.

Kata kunci : *cooling tower*, unta uji, *heat exchanger*, reaktor riset.

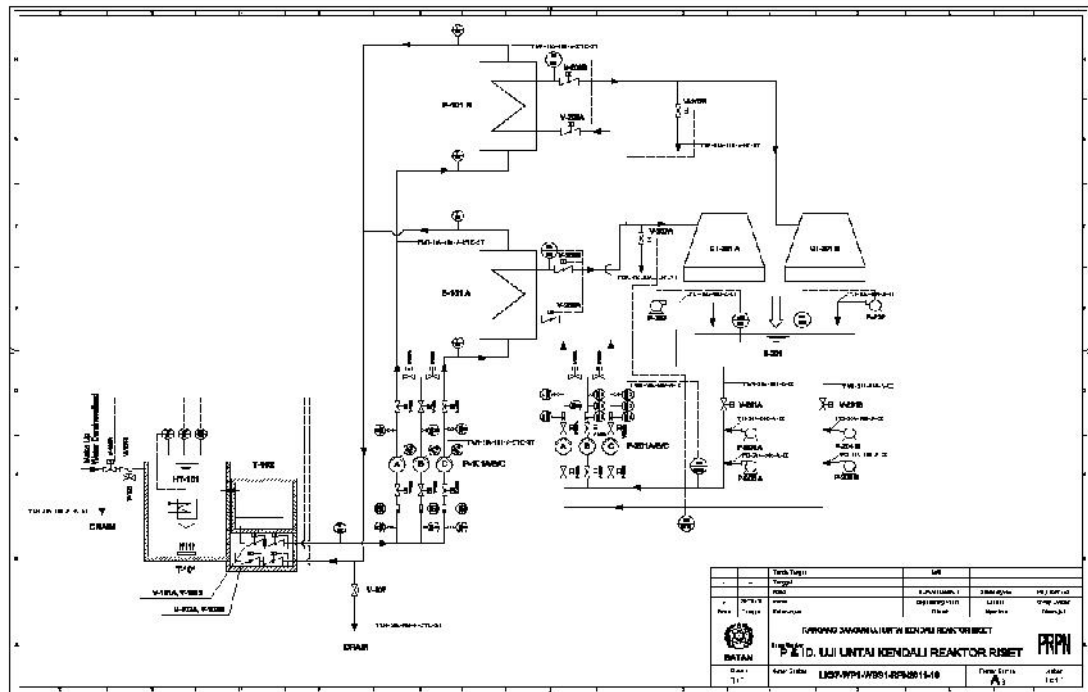
ABSTRACT

CALCULATION OF THE NEED FOR COOLING TOWER ON DESIGN OF STRAND TEST RESEARCH REACTOR CONTROL SYSTEM. *Cooling tower on the strand test engineering research reactor control system functioning as a heat transfer medium from the heat exchanger to air. To get the transfer of heat or cooling is maximal then the determination of cooling tower needs to be precise. Cooling tower is expected to accept and release heat at 1.191 kw from the heat exchanger. To support these needs will require the calculation of cooling tower needs. Thus the cooling tower is expected to be installed later can meet the needs.*

Keyword : *cooling tower*, *strand test*, *heat exchanger*, *research reactor*.

1. PENDAHULUAN

Pengoperasian *heat exchanger* pada rancang bangun unta uji sistem kendali reaktor riset memerlukan media pendingin agar dapat beroperasi secara normal sehingga tidak terjadi *over heating* pada tangki simulasi reaktor. Sistem *heat exchanger* ini menggunakan air sebagai media pendingin. Air dingin yang dipakai Untuk menurunkan suhu disisi *tube* pada *heat exchanger* berasal dari *cooling tower* kemudian dialirkan ke sisi *shell* agar terjadi pertukaran panas sesuai yang diharapkan. Kinerja *cooling tower* disini mempunyai peranan sangat penting terhadap pertukaran panas pada *heat exchanger*, apabila *cooling tower* tidak maksimal dalam mendinginkan air yang dialirkan menuju sisi *shell* pada *heat exchanger* maka penurunan suhu disisi *tube* pada *heat exchanger* juga tidak maksimal. Akibatnya suhu pada tangki simulasi reaktor akan naik yang bisa mengakibatkan *shutdown*.

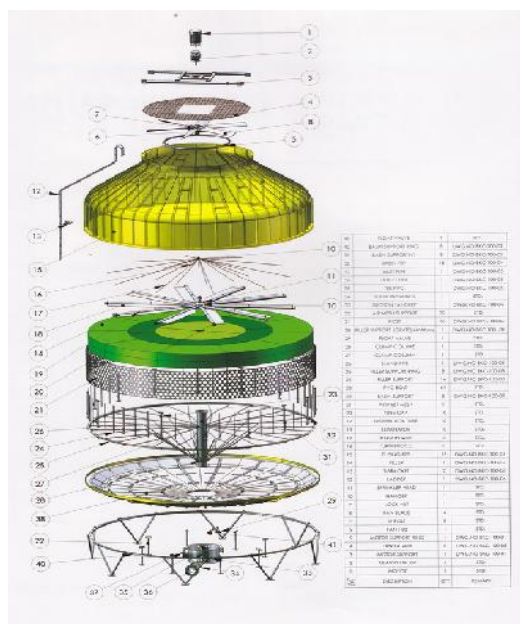


Gambar 1. P&ID uji untai kendali reaktor riset

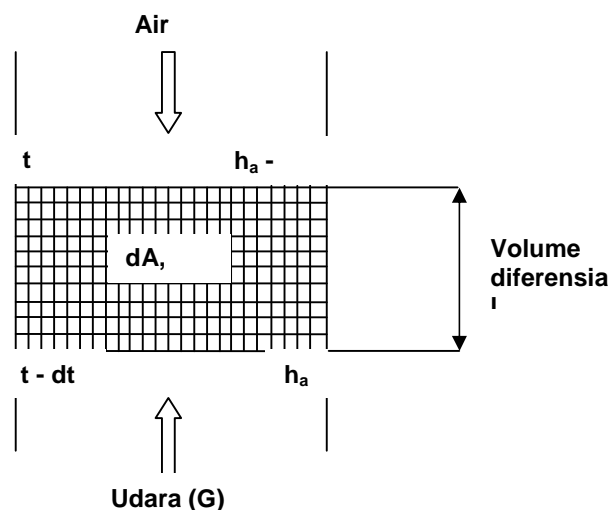
Dengan menggunakan *cooling tower* yang tepat maka sistem pendinginan *heat exchanger* akan lebih maksimal. Pengoperasian *cooling tower* ini dilakukan sesaat sebelum sistem pendingin primer yang dialirkan ke sisi *tube heat exchanger* dioperasikan. *Cooling tower* ini ditempatkan di ruang yang berbeda dengan *heat exchanger* dan untuk mensirkulasikan media pendingin digunakan pompa sirkulasi. Kegiatan ini dilakukan untuk menghitung kebutuhan *cooling tower* agar mampu menyerap panas yang harus dibuang dari *heat exchanger* dan selanjutnya dibuang ke lingkungan pada rancang bangun untai uji sistem kendali reaktor riset.

2. TEORI

Cooling tower mechanical draft counterflow adalah salah satu jenis dari *cooling tower* dimana air panas disemprotkan atau dipancarkan dari bagian atas ke bawah, sementara udara atmosfer ditarik ke atas oleh fan yang berlawanan dengan jatuhnya air panas tersebut. Luas permukaan air yang besar dibentuk dengan melewatkan air melalui kisi-kisi atau filler dan bersinggungan sehingga terjadi perpindahan panas antara air dengan udara.



Gambar 2a. Menara pendingin aliran berlawanan.



Gambar 2b. Pertukaran energi dalam suatu volume diferensial.

Sisi air, besar gaya jatuh air ⁽⁴⁾, $F_a = \rho_a \cdot V \cdot g$ (N). Sedangkan dari sisi udara, besar gaya udara ⁽⁴⁾, $F_u = \rho_u \cdot V \cdot g$ (N) dengan : ρ_a = massa jenis air (kg/m^3); ρ_u = massa jenis udara (kg/m^3); V = volume (m^3); g = percepatan grafitasi (m/s^2).

Karena, $\rho_a > \rho_u$ maka air akan jatuh ke bawah dan udara akan naik ke atas. Gambar 2a. memperlihatkan volume differensial sebuah cooling tower aliran berlawanan dengan laju alir air yang masuk dari bagian puncak sebesar L dan laju alir udara yang masuk dari bagian dasar sebesar G. Untuk memudahkan perhitungan sejumlah kecil air yang menguap diabaikan saja, sehingga L dan G tetap konstan pada cooling tower.

Air masuk kesuatu bagian pada suhu t dan meninggalkan bagian tersebut pada suhu yang sedikit lebih rendah yaitu $(t-dt)$. Udara masuk bagian tersebut dengan entalphi h_a dan meninggalkan dengan entalphi $(h_a + dh_a)$. Total area permukaan basah mencakup luas permukaan tetesan-tetesan air termasuk pula kepingan-kepingan logam basah atau bahan pengisi lainnya. Laju perpindahan kalor yang dilepaskan dari air, dq sama dengan laju kalor yang diterima⁽⁴⁾ :

$$dq = G.dh_a = L.c_p .dt \dots\dots\dots(1)$$

Dengan : dq = laju kalor yang dilepaskan (W); G = laju udara yang masuk (kg/det); dh_a = perubahan entalphi udara (kJ/kg udara kering); L = laju air masuk (kg/det); c_p = kalor spesifik udara kering pada tekanan konstan = 1,006 (kJ/kg.K); dt = perubahan suhu air ($^{\circ}$ C).

Konsep tentang potensial entalphi sangat berguna untuk menentukan jumlah perpindahan kalor total (sensibel dan laten) pada proses-proses yang menyangkut hubungan langsung antara udara dan air. Rumus untuk dq total melalui suatu deferensial permukaan dA didapat dengan penggabungan antara persamaan⁽⁴⁾ :

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

h_c = koefisien konveksi (kW/m².K); h_i = entalphi udara jenuh pada suhu air (kJ/kg udara kering); h_a = entalphi udara (kJ/kg udara kering); c_{pm} = kalor jenis udara basah (kJ/kg.K).

Untuk mencari besarnya laju kalor yang dipindahkan oleh seluruh bagian cooling tower maka persamaan (2) harus diintegrasikan, baik h_i maupun h_a berubah-ubah menurut variable integrasi A . dengan mengkombinasikan persamaan (1) dan (2) akan menghasilkan⁽⁴⁾ :

$$4,19.L \int_{t_{out}}^{t_{in}} \frac{dt}{h_i - h_a} = \int_0^A \frac{h_c dA}{c_{pm}} = \frac{h_c A}{c_{pm}} \dots\dots\dots(3)$$

Dengan : L = laju air masuk (kg/det); dt = perubahan suhu air ($^{\circ}$ C); h_i = entalphi udara jenuh pada suhu air (kJ/kg udara kering); h_a = entalphi udara (kJ/kg udara kering); h_c = koefisien konveksi (kW/m².K); dA = bagian dari luas permukaan (m²); c_{pm} = kalor jenis udara basah (kJ/kg.K) dengan t_{in} dan t_{out} berturut-turut adalah suhu air masuk dan suhu meninggalkan cooling tower. Sehingga didapatkan persamaan⁽⁴⁾ :

$$\frac{h_c A}{c_{pm}} = 4,19L\Delta t \sum \frac{1}{(h_i - h_a)m} \dots\dots\dots(4)$$

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

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Menentukan Dimensi Cooling Tower Yang dibutuhkan

Dengan data yang ada, bahwa air yang dialirkan dari cooling tower mempunyai debit 172 liter/jam, maka disarankan cooling tower yang dipakai mempunyai kapasitas bak penampung minimal 200 liter untuk mengantisipasi rugi-rugi air. *Cooling tower* yang dipilih mempunyai bak dengan diameter minimal 64,6 cm dan tinggi 61 cm. *piping connection* yang digunakan untuk in 1 inch, out 1 inch, *Over flow* ½ inch, drain ½ inch, float valve ¼ inch. Fan motor yang digunakan 1/8 HP. Fan dimension menyesuaikan yang ada dipasaran. Normal *water flow* 172 liter/jam.

3.2. Menentukan Laju Kalor Yang Diserap

Dari data heat exchanger didapatkan :
Laju aliran air yang dibutuhkan 1 unit heat exchanger adalah :

$$Q_1 = 172 \text{ liter/jam} = 0,172 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Dengan faktor koreksi 20% sehingga menjadi :

$$Q_1 = 1,2 \times 0,172 \text{ m}^3/\text{jam} = 0,2064 \text{ m}^3/\text{jam} \\ = 5,73 \times 10^{-05} \text{ m}^3/\text{detik}$$

Suhu air masuk heat exchanger sisi shell = 32 °C
Suhu air keluar heat exchanger sisi shell = 37 °C

Laju kalor yang diserap / air pendingin dihitung dengan persamaan :

$$q = \dot{m} \times c_{p_{air}} \times \Delta T$$

Dimana :

$\rho = 994,92 \text{ kg/m}^3$, pada suhu 32 °C

$$\dot{m} = Q \times \rho = 0,0000573 \text{ m}^3/\text{det} \times 994,92 \text{ kg/m}^3 \\ = 0,057 \text{ kg/detik}$$

$$c_{p_{air}} = 4,179 \text{ kJ/kg.K}$$

Jadi laju kalornya sebesar :

$$q = \dot{m} \times c_{p_{air}} \times \Delta T \\ q = 0,057 \frac{\text{kg}}{\text{detik}} \times 4,179 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot \text{K} \times (310 - 305)^\circ\text{K} \\ q = 1,191 \text{ kW}$$

Dengan mengetahui kalor yang harus diserap oleh media pendingin dalam hal ini air maka dalam pemilihan cooling tower harus diperhatikan kemampuan cooling tower agar mampu menerima dan melepaskan kalor sebesar 1,191 kW ke lingkungan.

3.3. Menentukan Kemampuan Cooling Tower

Untuk menentukan harga kisaran suhu (temperature range) dan harga pendekatan (temperature approach) adalah sebagai berikut:

Kisaran suhu (temperature range) t merupakan hasil dari temperatur air yang masuk dikurangi temperatur air yang keluar :

$$t = t_1 - t_2 = 37 \text{ }^\circ\text{C} - 32 \text{ }^\circ\text{C} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$$

Sedangkan harga pendekatan (temperature approach) adalah hasil dari temperatur air keluar dikurangi temperatur udara basah :

$$t_2 - T_{wb} = 32 \text{ }^\circ\text{C} - 26,4 \text{ }^\circ\text{C} = 5,6 \text{ }^\circ\text{C}$$

Perhitungan cooling tower dianggap terbagi-bagi atas beberapa bagian seperti pada gambar 2. Dimana setiap tingkat bagian penurunan suhu air $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Karena air jatuh melalui bagian dasar (paling bawah), t turun dari $32,5 \text{ }^\circ\text{C}$ menjadi $32,0 \text{ }^\circ\text{C}$. Suhu bola basah udara yang masuk hampir secara tepat menunjukkan entalphi udara, dengan menggunakan grafik psikrometri :

Suhu udara kering (T_{dl})	= $33 \text{ }^\circ\text{C}$
Untuk suhu udara basah (T_{wb})	= $26,4 \text{ }^\circ\text{C}$
Kelembaban relative (ϕ_{dl})	= 62%
Entalphi	= $82,20 \text{ kJ/kg}$

Rasio perbandingan L/G diambil = 1,2 (batasan L/G berharga $0,75 - 1,5$)⁽³⁾, sedangkan dalam menentukan harga entalphi :

$$\begin{aligned} h_{a,1} - h_{a,0} &= L/G \times 4,179 \text{ kJ/kg.K} \times (t) \\ &= 1,2 \times 4,179 \text{ kJ.kg.}^\circ\text{K} \times 0,5 \text{ }^\circ\text{K} \\ &= 2,5074 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Entalphi udara yang meniggalkan bagian ruas paling bawah h_a , adalah:

$$(82,20 + 2,5074) \text{ kJ/kg} = 84,7074 \text{ kJ/kg}$$

Entalphi rata-rata dalam bagian ini yaitu :

$$\frac{82,20 + 84,7074}{2} = 83,4537 \text{ kJ/kg}$$

Air mempunyai suhu rata-rata $32,25 \text{ }^\circ\text{C}$ dalam bagian paling bawah dan entalphi udara jenuh pada suhu ini menggunakan perhitungan :

$$\begin{aligned} h_i &= 4,7926 + 2,568t - 0,029834t^2 + 0,0016657t^3 \\ &= 4,7926 + 2,568(32,25) - 0,029834(32,25^2) + 0,0016657(32,25^3) \\ &= 112,45 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Untuk harga $(h_i - h_a)_m$ dalam bagian paling bawah ini yaitu :

$$(h_i - h_a)_m = (112,45 - 83,4537) \text{ kJ/kg} = 28,9963 \text{ kJ/kg}$$

Perhitungan-perhitungan untuk mencari jumlah $1/(h_i-h_a)_m$ digunakan untuk menentukan perhitungan performance cooling tower.

Laju aliran air

$$L = \dot{m} = Q \times \rho = 5,73 \times 10^{-05} \text{ m}^3/\text{detik} \times 994,92 \text{ kg/m}^3 \\ = 0,057 \text{ kg/detik}$$

Dengan memakai persamaan (4) diperoleh;

$$\frac{h_c A}{c_{pm}} = 4,19 L \Delta t \sum \frac{1}{(h_1 - h_a)_m} \\ \frac{h_c A}{c_{pm}} = (4,19) \times (0,057 \text{ kg/detik}) \times (0,5 \text{ }^\circ\text{K}) \times (0,31576) \\ \frac{h_c A}{c_{pm}} = 0,0377 \text{ kW}/(\text{kg beda entalphi})$$

Harga $\frac{h_c A}{c_{pm}}$ merupakan fungsi dari dinamika pola aliran udara dan dinamika tetesan air dalam cooling tower, tetapi besarnya harga tersebut pada dasarnya tetap konstan untuk sebuah cooling tower tertentu, asalkan laju aliran udara dan laju aliran airnya tetap konstan. Harga $\frac{h_c A}{c_{pm}}$ menentukan karakteristik cooling tower dan merupakan dasar untuk meramal unjuk kerja (performance) pada suhu air masuk dan suhu bola basah udara masuk.

3.4. Perhitungan Kebutuhan Air Tambahan (*Make Up Water*)

Dalam pengoperasian cooling tower dimungkinkan terjadi kehilangan air sehingga diperlukan penambahan air untuk menjaga kestabilan jumlah air yang bersirkulasi. Kehilangan air yang diakibatkan oleh :

3.5. *Evaporation Loss (We)*

Kehilangan air akibat dari ter evaporasinya sebagian kecil air akan menguap karena adanya pemanasan.

3.6. *Drift Loss (Wd)*

Air yang keluar karena fan berputar, untuk ini standarnya⁽³⁾ 0,1-0,2 % jumlah air yang bersirkulasi.

3.7. *Blow Down (Wb)*

Air terbuang yang diakibatkan sirkulasi air pada sistem pendingin. Perhitungan akibat kehilangan air tadi harus disediakan "make up" air sebagai penyuplai air tambahan sebesar:

$$\text{Evaporation loss (We)} \\ W_e = 0,00085 W_c (T_2 - T_1) \times 1,8$$

Dimana :

$$W_c = \text{kapasitas air} = 0,172 \text{ m}^3/\text{jam}, \text{ jadi} \\ W_e = 0,00085 \times 0,172 \text{ m}^3/\text{jam} (37-32) \times 1,8 \\ = 1,3158 \times 10^{-03} \text{ m}^3/\text{jam}$$

Drift loss (W_d)

$$\begin{aligned}W_d &= 0,2\% \times \text{Jumlah air yang bersirkulasi} \\W_d &= 0,002 \times 0,172 \text{ m}^3/\text{jam} \\&= 3,44 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{jam}\end{aligned}$$

Blow down (W_b)

s = cycles (harga $s = 3$ s/d 5)

$$W_b = \frac{W_e}{(s-1)} = \frac{0,0013158 \text{ m}^3/\text{jam}}{5-1} = 0,00032895 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Jadi air yang dibutuhkan untuk penambahan adalah

$$\begin{aligned}W_m &= W_e + W_d + W_b \\&= (1,3158 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{jam} + 3,44 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{jam} + 0,00032895 \text{ m}^3/\text{jam}) \\&= 1,98875 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{jam}\end{aligned}$$

Kebutuhan air akibat kehilangan pada saat bersirkulasi dan terjadinya penguapan karena pemanasan serta akibat berputarnya fan dan lainnya, dari hasil perhitungan jumlah air yang hilang tersebut sebesar $1,98875 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{jam}$ perlu diantisipasi untuk menjaga kestabilan air yang bersirkulasi, jika tidak diperhitungkan berkurangnya air kemungkinan akan habis dan mengganggu proses pendinginan.

4. KESIMPULAN

Cooling Tower yang dibutuhkan untuk mendinginkan HE pada uji untai kendali reaktor riset minimal mempunyai normal water flow 172 liter/jam, *Cooling tower* yang dipakai minimal mempunyai kapasitas penyerapan kalor sebesar $q=1,191 \text{ kW}$. Pada penggunaan *cooling tower* perlu diperhatikan kebutuhan air tambahan dengan menghitung *evaporation loss*, *drift loss*, dan *blow down*.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Arismunandar, W. dan Saito, H., 1995, *Penyegar Udara*, Penerbit PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- [2]. Kern, D.Q., 1950, *Process Heat Transfer*, Mc Graw Hill International Book Company, New York.
- [3]. Perry R.H. and Green D., 1985, *Perry's Chemical Engineers' Hand Book*, Mc Graw Hill International Book Company, New York.
- [4]. Stoecker, W.F., Jones, J.W., 1989, *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*, Penerbit Erlangga, Jakarta.