

PENENTUAN SIFAT MENARA PENDINGIN LBC 80 DENGAN STANDAR CTI DAN UNJUK KERJA KEMAMPUAN PENDINGINANNYA

Utaja

Pusbang Perangkat Nuklir - BATAN

ABSTRAK

PENENTUAN SIFAT MENARA PENDINGIN LBC 80 DENGAN STANDAR CTI DAN UNJUK KERJA KEMAMPUAN PENDINGINANNYA. Menara pendingin (cooling tower) LBC_80 merupakan salah satu komponen dalam sistem pendingin reaktor Kartini. Penentuan sifat pendinginan dengan standar internasional (CTI) belum pernah dilakukan. Pada hal sifat pendinginan ini diperlukan untuk predictive maintenance. Makalah ini akan menguraikan cara penentuan sifat menara pendingin LBC_80 dan unjuk kerja kemampuan pendinginan. Sifat unjuk kerja menara pendingin ditentukan oleh harga koefisien C dan n menurut standar CTI. Harga koefisien C dan n dihitung berdasar data disain pembebanan menara pendingin yang ada di catalog Liang Chi. Harga koefisien C dan n dipakai untuk menentukan kemampuan pendinginan sistem pendingin reaktor Kartini dan menentukan suhu di-setiap masukan atau keluaran komponen pendingin. Informasi suhu di setiap titik masukan atau keluaran suatu komponen dapat dipakai sebagai dasar tindakan dalam predictive maintenance.

ABSTRACT

THE DETERMINATION OF LBC 80 COOLING TOWER CHARACTERISTICS BY CTI STANDARD AND THE CHARACTERISTICS OF COOLING CAPABILITY. The LBC_80 cooling tower is one of the elements in the Kartini reactor cooling system. The cooling characteristic determination by the international standard was never done before. Whereas the cooling characteristics is required for the predictive maintenance purpose. This paper will describe the method for LBC_80 cooling tower characteristics determination and the characteristics of cooling capability calculation. The characteristics of the cooling capability is determined by the C and n coefficients of the CTI standard. The values of C and n are calculated based on the cooling tower loading data in the Liang Chi catalog. The C and n values are used to determine cooling capability of the Kartini reactor cooling system and to determine the temperature of the input and output system's elements. The temperature at each of the input and output of the system element can be used for the predictive maintenance purpose.

PENDAHULUAN

Menara pendingin merupakan komponen sistem pendingin yang membuang panas ke udara luar. Mekanisme pembuangan panasnya melewati kontak langsung antara air yang didinginkan dengan udara luar yang mendinginkan. Model perpindahan panasnya cukup kompleks, sehingga untuk analisis yang terpercaya diperlukan standar internasional untuk pengetesan menara pendingin, yaitu standar CTI.⁽¹⁾ Cara ini belum pernah dikerjakan pada menara pendingin reaktor Kartini. Penentuan kemampuan perpindahan panasnya dilakukan dengan nomogram Liang Chi. Metoda ini hanya menentukan batas atas kemampuan pembuangan panas, bukan dipakai untuk analisis kondisi sesaat. Analisis kondisi sesaat diperlukan untuk mengetahui tingkat kinerja, yang berguna untuk membantu pada proses *predictive maintenance*. Kinerja menara pendingin

ditentukan oleh koefisien C dan n pada standar CTI. Untuk memperoleh dua koefisien ini dipakai data disain pembebanan menara pendingin dari Liang Chi untuk tipe LBC_80. Harga C dan n ini dipakai bersama dengan parameter alat penukar panas (*heat exchanger*) untuk menentukan suhu di sisi masuk dan keluar komponen sistem pendingin. Informasi suhu ini akan menunjuk-kan kemampuan pendinginan menara pendingin dan penukar panas. Seluruh proses analisis melibatkan perulangan perhitungan serta pembacaan data dalam jumlah besar, sehingga untuk itu dipakai komputer. Untuk ini diperlukan program komputer yang dikembangkan sendiri dengan berbasis kompilator Visual Basic 5.0. Selanjutnya informasi suhu dipakai untuk mengetahui kondisi kerja setiap komponen alat pendingin, sehingga akan membantu proses *predictive maintenance*.

TEORI DASAR

Teori Dasar Menara Pendingin

Menara pendingin membuang panas dari fluida (air) ke udara luar dengan cara kontak langsung. Pada saat air bersinggungan dengan udara luar, terjadi konveksi disertai dengan penguapan. Pada kondisi ini akan terjadi kesetimbangan antara panas yang dibawa udara dengan panas yang dilepas oleh blok pendingin yang umumnya berbentuk plat berombak (lihat Gambar 1). Hal ini terjadi bila entalpi air lebih tinggi dari entalpi udara luar. Panas yang dipindahkan air dinyatakan dengan:

$$L \times \Delta T_w = K a \times (h_w - h_a) \times \Delta V \quad (1)$$

dengan :

K = koefisien perpindahan entalpi total.

a = kontak volume blok/tiap luasan (m^3/m^2)

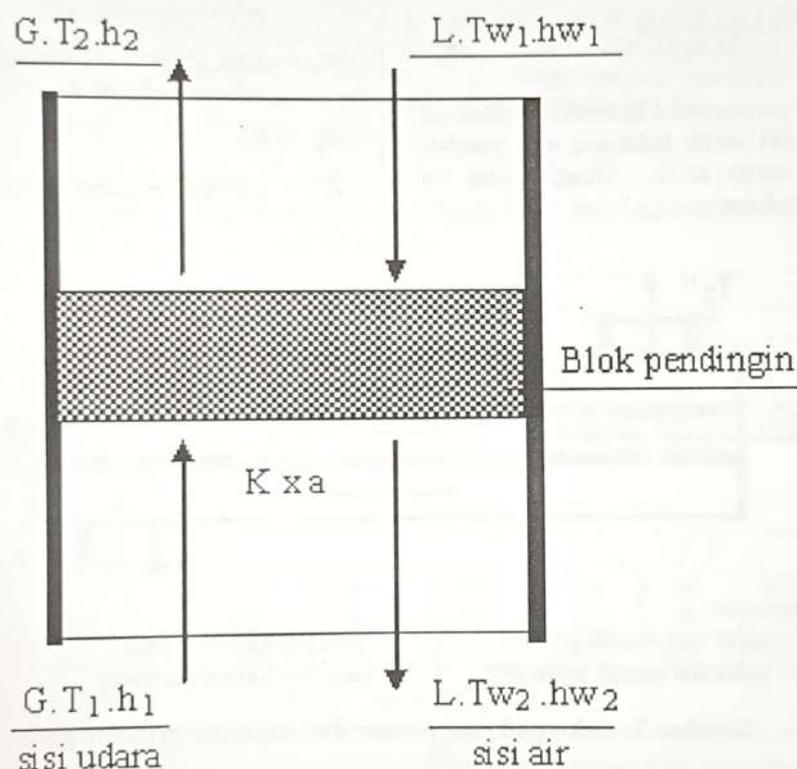
h_a = entalpi jenuh udara pada suhu T

h_w = entalpi air sepanjang blok pendingin (kal/berat)

ΔV = volume blok pendingin

Persamaan (1) ditulis pula dengan :⁽¹⁾

$$K a V / L = \int_{T_1}^{T_2} dT / (h_w - h_a) \quad (2)$$



- Keterangan :
- $G.T_1.h_1$ = entalpi udara saat masuk menara pendingin
 - $G.T_2.h_2$ = entalpi udara saat keluar menara pendingin
 - $L.T_{w2}.h_{w2}$ = entalpi air saat keluar menara pendingin
 - $L.T_{w1}.h_{w1}$ = entalpi air saat masuk menara pendingin
 - G = masa aliran udara (berat/waktu)
 - T_1, T_2 = suhu udara ($^{\circ}C$)
 - h_1, h_2 = entalpi udara (kal/berat)
 - L = masa aliran air x C (kal/masa. $^{\circ}C$.waktu)
 - T_{w1}, T_{w2} = suhu air ($^{\circ}C$)
 - h_{w1}, h_{w2} = entalpi air (kal/masa)

Gambar 1. Proses pemindahan panas pada menara pendingin.

Persamaan (2) ini merupakan kemampuan pembuangan panas dari air ke udara akibat perbedaan antara entalpi air dengan entalpi udara. Kemampuan ini dimiliki juga oleh blok pendingin dan dinyatakan dengan⁽¹⁾

$$KaV/L = C(L/G)^{-n} \quad (3)$$

dengan :

L/G = perbandingan masa aliran air dengan masa aliran udara

C, n = koefisien menara pendingin

Harga C dan n ini akan dihitung dari data pembebanan LBC₈₀ menurut catalog Liang Chi, dengan menyelesaikan persamaan (2) dan (3) bersama sama. Untuk menentukan C dan n persamaan (3) diubah ke

$$\text{Log}(KaV/L) = (-n)\text{Log}(L/G) + \text{Log} C \quad (4)$$

Harga KaV/L dari persamaan (2) disubstitusikan ke dalam persamaan (4) untuk beberapa data pembebanan (beberapa harga L/G). Dengan cara ini didapat harga C dan harga n .

Teori Dasar Penukar Panas

Untuk menentukan unjuk kerja kemampuan pendinginan, menara pendingin bekerja sama dengan penukar panas. Suhu pada sisi primer dan sekunder penukar panas dapat dilihat pada Gambar 2. Hubungan suhu di sisi primer dan sekunder dinyatakan dengan :⁽²⁾

$$T_1' - T_2' = (T_1' - T_1'')/Z \quad (5)$$

$$T_1' - T_1'' = P/W_p \quad (6)$$

$$T_2'' - T_2' = P/W_s \quad (7)$$

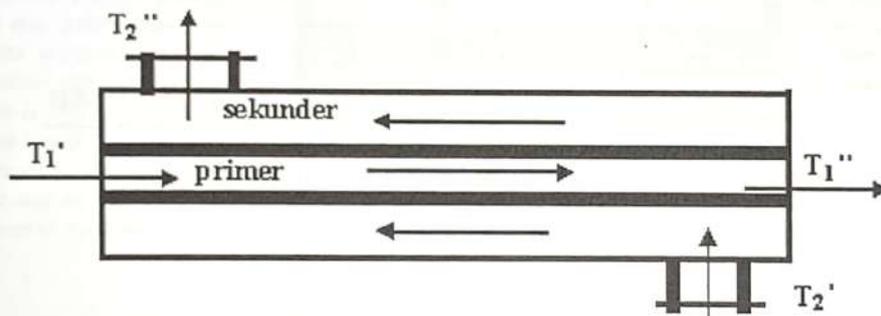
dengan :

W_p = daya yang dipindahkan penukar panas sisi primer (kal/waktu)

W_s = daya yang dipindahkan penukar panas sisi sekunder (kal/waktu)

$W_p = W_s$

Z = koefisien pemindahan panas



Keterangan:

T_1' = suhu sisi masuk primer; T_1'' = suhu sisi keluar primer

T_2'' = suhu sisi masuk sekunder; T_2' = suhu sisi keluar sekunder

Gambar 2. Suhu pada sisi primer dan sekunder penukar panas

Kemampuan pemindahan panas penukar panas dinyatakan dengan⁽²⁾

$$Z = [1 - \exp\{-(1-\chi)\eta\}] / [1 - \chi \exp\{-(1-\chi)\eta\}] \quad (8)$$

dengan :

$$\chi = W_p/W_s; \quad \eta = kF/W_p$$

W_p = masa aliran sisi primer (berat/waktu)

W_s = masa liran sisi sekunder (berat/waktu)

k = koefisien perpindahan panas total (kal/luas

Waktu °C)

F = luas bidang pemindah panas

Unjuk Kerja Kemampuan Pendinginan

Unjuk kerja kemampuan sistem pendingin yang menggunakan menara pendingin dan penukar panas, dapat dilacak dari persamaan (2), (3), (5) dan (8). Harga C dan n dari persamaan (3) bersama dengan data udara luar (suhu dan kelembaban) dipakai untuk menyelesaikan persamaan (2).

Penyelesaian persamaan (2) akan memberi informasi suhu masuk dan suhu keluar air di menara pendingin. Suhu keluar menara pendingin adalah suhu masuk penukar panas (T_2') dan suhu masuk menara pendingin adalah suhu keluar penukar panas (T_2''). Bila harga Z penukar panas sudah diketahui, maka persamaan (5) dapat diproses dan selanjutnya suhu di sisi primer dapat ditentukan dengan persamaan (6). Proses penentuan unjuk kerja di atas melibatkan perulangan perhitungan (metoda *trial and error*) dalam jumlah banyak, sehingga perlu komputer. Untuk itu dikembangkan program komputer dengan menggunakan bahasa pemrograman BASIC untuk kompailer Visual Basic 5.0.⁽³⁾

ALUR LOGIKA PROGRAM

Akan diuraikan logika program untuk menunjukkan kemampuan pendinginan sistem yang terdiri dari menara pendingin dan penukar panas. Proses dimulai dengan pembacaan data suhu, kelembaban udara, daya reaktor. Program akan

membaca data menara pendingin, menentukan harga L/G dan KaV/L untuk perhitungan selanjutnya. Data suhu udara dan kelembaban dipakai untuk menentukan suhu basah (*wet bulb temperature*). Daya reaktor dan suhu basah ini dipakai untuk menentukan suhu air saat masuk menara pendingin berdasar persamaan (2). Proses perhitungan dilakukan dengan metoda coba-coba dimana harga yang dipakai untuk coba-coba adalah suhu air saat masuk menara pendingin. Proses coba-coba dilakukan sampai dicapai harga KaV/L menara pendingin pada persamaan (3) sama dengan KaV/L dari perubahan entalpi udara pada persamaan (2). Suhu air saat masuk menara pendingin (T_2'') dipakai untuk menentukan suhu T_2' , T_1' dan T_1'' . Informasi suhu ini ditampilkan di layar monitor, untuk dilakukan interpretasi lebih lanjut.

HASIL DAN BAHASAN

Data menara pendingin tipe LBC_80 dapat dilihat pada Tabel 1.⁽⁴⁾

Tabel 1. Jumlah aliran pada menara pendingin LBC_80 (USGPM) (didasarkan pada aliran udara 540 m³/menit).

T_{Wet}	80 °F								
ΔT	10 °F				12 °F				
In	102	100	98	96	106	104	102	100	98
Out	92	90	88	86	94	92	90	88	86
GPM	250	250	225	178	260	260	240	203	168

Dari tabel di atas didapat : $C = 1,1452$; $n = -1,14467$

T_{Wet}	81 °F								
ΔT	10 °F				12 °F				
In	102	100	98	96	106	104	102	100	98
Out	92	90	88	86	94	92	90	88	86
GPM	250	250	230	186	260	260	247	209	172

Dari tabel di atas didapat : $C = 1,1701$; $n = 1,5775$

T_{Wet}	82 °F								
ΔT	10 °F				12 °F				
In	102	100	98	96	106	104	102	100	98
Out	92	90	88	86	94	92	90	88	86
GPM	250	250	236	192	260	260	247	214	175

Dari Tabel di atas didapat: $C = 1,1905$; $n = -1,7755$

T_{Wet}	83 °F								
ΔT	10 °F				12 °F				
In	102	100	98	96	106	104	102	100	98
Out	92	90	88	86	94	92	90	88	86
GPM	250	250	245	196	260	260	255	217	178

Dari tabel di atas didapat: $C = 1,1730$; $n = -1,6914$

Dari masing-masing tabel, harga KaV/L dihitung dengan persamaan (2) sedang harga C dan n dihitung dengan regresi linier untuk memenuhi persamaan (4). Harga C dan n pada masing-masing tabel diterakan di baris bawahnya. Tampak bahwa harga C dan n berbeda sesuai dengan suhu basah udara (*wet bulb*). Disamping itu pada tabel tampak beberapa harga debit (GPM) yang sama pada data suhu masuk dan keluar yang berbeda. Secara logika, harga ini tentunya berbeda. Untuk itu, harga C dan n akan diambil pada harga rerata. Harga rerata C dan n adalah:

$$C = 0.25 \times (1,1452 + 1,1701 + 1,1905 + 1,1730) \\ = 1,1696$$

$$n = 0.25 \times (-1,4467 + 1,5775 + 1,7755 + 1,6914) \\ = -1,6228$$

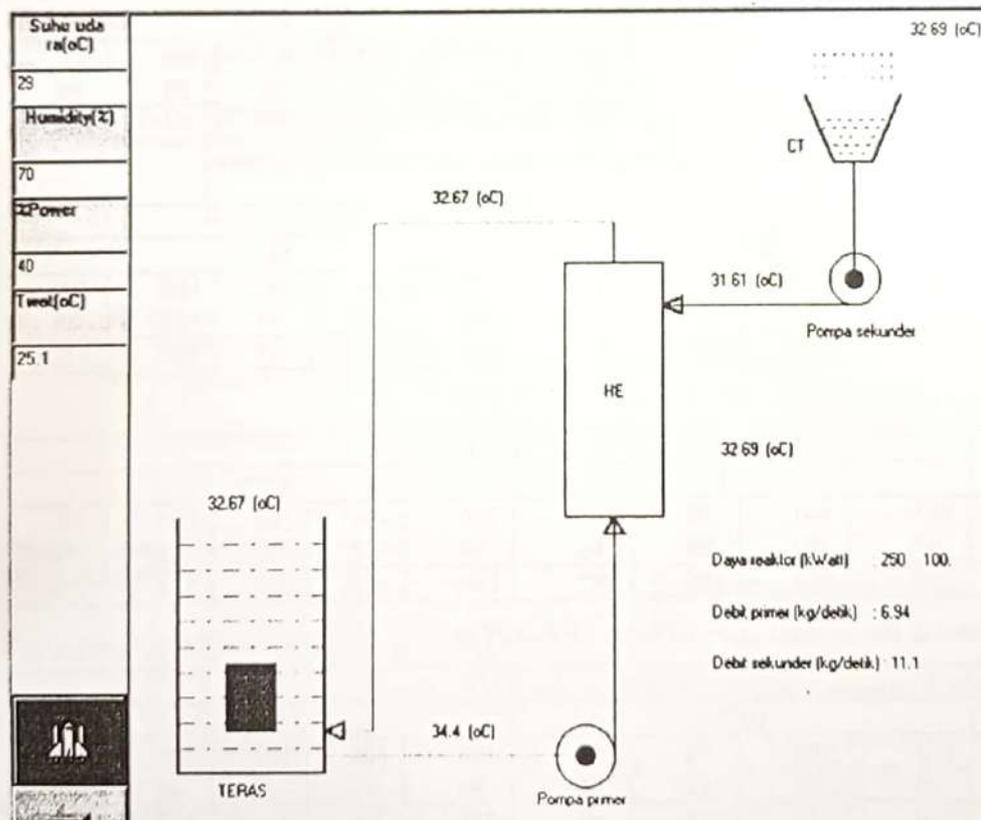
Harga C dan n ini merupakan sifat unjuk kerja menara pendingin, dan dipakai untuk menentukan unjuk kerja kemampuan pendinginan. Untuk menentukan harga Z pada persamaan (5) diperlukan data suhu T_1'' , T_1' , T_2'' dan T_2' pada reaktor Kartini. Data suhu di bagian masuk dan keluar primer dan sekunder adalah sebagai berikut:

$$T_1'' = 32,2 \text{ } ^\circ\text{C}; \quad T_1' = 41,1 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$T_2'' = 32,2 \text{ } ^\circ\text{C}; \quad T_2' = 26,7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Dari harga ini didapat : $Z = 0,6180$

Harga C , n dan Z dipakai untuk menentukan unjuk kerja sistem pendingin reaktor Kartini. Penentuan unjuk kerja dilakukan dengan simulasi komputer dan hasil yang didapat diperlihatkan pada Gambar 3. Di bagian kiri bawah adalah tangki reaktor, di bagian tengah adalah penukar panas dan di sebelah kanan atas adalah menara pendingin. Data awal beberapa parameter diperlihatkan pada Gambar 4. Pada Gambar 3, reaktor dioperasikan pada 100 kWatt atau 40% daya menurut data. Dibagian kiri Gambar 3, adalah tempat untuk memasukkan data suhu udara, kelembaban udara (relatip) dan persen daya reaktor. Besarnya suhu basah (*wet bulb*) diterakan pada kotak sebelah kiri dibawah daya reaktor. Suhu di sisi pendingin primer dan sekunder dapat dibaca pada Gambar 3. Perbedaan harga terbaca dan harga yang didapat di lapangan dapat dipakai untuk memperkirakan penurunan kemampuan komponen pendingin. Ini dapat membantu proses *predictive maintenace* sistem pendingin reaktor Kartini.



Gambar 3. Unjuk kerja sistem pendingin reaktor Kartini.

FILE DATA REAKTOR			
Daya reaktor (kWatt)	250	% Daya	100
Debit primer (kg/detik)	6.94	% Debit	100
Debit sekunder (kg/detik)	11.1	% Debit	100
Suhu primer tertinggi (oC)		Cooling tower	
Suhu primer terendah (oC)		Jumlah	1
Suhu sekunder tertinggi (oC)		Koef C	1.1696
Suhu sekunder terendah (oC)		Koef n	-1.6228
		%Jumlah	100
		Twet oC	28
		Tin (oC)	41.1
		Tout (oC)	32.2
		Q kg/det	11.1
CHANGE		Defoult	
←		OK	

Gambar 4. Data awal untuk simulasi.

KESIMPULAN

Dari hasil dan bahasan dapat disimpulkan bahwa dengan diketahuinya sifat menara pendingin LBC_80 sesuai standar CTI, harga suhu pada posisi di setiap komponen alat pendingin dapat diketahui. Informasi suhu ini dapat dipakai untuk membantu langkah predictive maintenance.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami sampaikan terima kasih kepada KPTF P2PN yang telah membantu menyempurnakan makalah kami ini.

ACUAN

1. CTI TOWER, CTI, USA, 1967.
2. M.MIKHEYEV, *Fundamental of Heat Transfer*, Peace Publisher, Moscow.
3. EVANGELOS PETROUTSOS, *Mastering Visual Basic 5*, Sybec, San Fransisco, USA, 1997.
4. LIANG CHI INDUSTRY CO., LTD, *Liang Chi Fiberglass Cooling Tower*, Liang Chi Industry Co Ltd, Taipei, Taiwan.

TANYA JAWAB

Sumijanto

- Bagaimana menentukan penurunan kinerja sistem dan penentuan *predictive maintenance*.
- Seberapa jauh akurasinya.

Utaja

- Penurunan kinerja sistem didasarkan pada informasi suhu pada bagian masuk dan keluar sistem pendingin. Informasi ini dibandingkan dengan harga yang didapat pada program.
- Akurasi dipengaruhi oleh ketelitian data masukan (suhu dan RH) dan harga dasar beberapa besaran.

Sudarmono

- Dalam penentuan asumsi-asumsi apa yang digunakan? Mohon penjelasan.

Utaja

- Dalam penentuan ini beberapa asumsi yang dipakai adalah spesifikasi yang asli dengan daya nominal 250 kW dan flow rate pada primer dan sekunder diambil sebelum upgrading.