

# ANALISIS BEBAN KALOR *COOLING TOWER INDUCED DRAFT COUNTERFLOW* DENGAN BAHAN PENGISI BAMBU WULUNG (*Heat Load Analysis Of Induced Draft Counterflow Cooling Tower With Bamboo Filler Wulung*)

Ach. Taufik H<sup>1</sup>, Digdo Listyadi S<sup>2</sup>, Hary Sutjahjono<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Alumni Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember

<sup>2</sup> Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember Jln. Kalimantan 37, Jember 68121  
E-Mail : digdo\_listya@yahoo.co.id

## Abstrak

Telah dilakukan penelitian tentang analisis beban kalor *cooling tower induced draft counterflow* dengan bahan pengisi bambu wulung. Pelaksanaan percobaan dilakukan pada *cooling tower* dengan dimensi tinggi keseluruhan 320 cm, luas 70 cm<sup>2</sup>, dan penampang tabung dalam berdiameter 60 cm. Bahan pengisi terbuat dari bambu wulung yang dibelah, dengan lebar 4 cm, tebal 1 cm, dan jarak antar bambu 0.2 cm. Penelitian ini bertujuan untuk mencari kinerja maksimal dari *cooling tower* dengan variasi suhu awal 40 °C, 50 °C, 60 °C, 70 °C, ketinggian 100 cm, 150 cm, dan 200 cm. Hasil penelitian menunjukkan semakin tinggi suhu awal dan tinggi *cooling tower* mengakibatkan naiknya beban kalor. Efektivitas pendinginan tertinggi terjadi pada variasi dengan suhu awal 40 °C, ketinggian 200 cm sebesar 68.08 % dengan menggunakan bahan pengisi. Sedangkan perubahan temperatur air tertinggi terjadi pada variasi suhu awal 70 °C, tinggi 200 cm, tanpa atau dengan bahan pengisi, dengan nilai 17 °C dan 23 °C.

**Kata kunci:** Menara pendingin, *range*, *approach*, efektivitas, beban kalor.

## Abstract

*In this study the analysis of heat load induced draft counterflow cooling towers with bamboo wulung fillers. Implementation of experiments carried out on cooling tower with high overall dimensions of 320 cm, wide 70 cm<sup>2</sup>, and the cross section of the tube 60 cm in diameter. The filler is made of split bamboo wulung, with 4 cm wide, 1 cm thick and 0.2 cm spacing between bamboo. This study aimed to explore the maximum performance of the cooling tower with a variation of the initial temperature 40 °C, 50 °C, 60 °C, 70 °C, height 100 cm, 150 cm, and 200 cm. The results showed higher initial temperature and high cooling tower lead to higher heat load. Highest cooling effectiveness on the variation of the initial temperature of 40 °C, a height of 200 cm by 68.08% with the use of fillers. While changes in water temperature is highest at the beginning of 70 °C temperature variations, high 200 cm, without or with a filler material, with a value of 17 °C and 23 °C.*

**Keywords:** *Cooling tower*, *range*, *approach*, *effectiveness*, *heat load*.

## Pendahuluan

*Cooling tower* (CT) digunakan sebagai alat pendingin fluida, dengan udara sebagai media pendingin. Untuk menghasilkan kerja maksimal, diperlukan bahan pengisi yang berfungsi untuk menghambat laju aliran fluida. Sehingga, waktu kontak fluida dan udara akan semakin lama. Bambu wulung digunakan sebagai pengganti bahan pengisi yang ada, penggunaan bambu wulung sebagai bahan pengisi karena mempunyai struktur permukaan mengkilap yang dapat

memecah aliran air, ramah lingkungan, mudah didapat, dan murah [1]. *Cooling tower induced draft counterflow* dengan bahan pengisi bambu wulung, merupakan modifikasi penelitian dari berbagai macam variasi *cooling tower* yang ada, diharapkan modifikasi ini dapat memaksimalkan kinerja dari *cooling tower* yang sebelumnya dibuat. Peningkatan efektivitas pendinginan *cooling tower* akan mempengaruhi terbuangnya sebagian air ke udara karena proses penguapan (*evaporation*) [2]. Akan tetapi, kehilangan air saat

terjadinya penguapan, menjadi hal yang sangat penting untuk menilai karakteristik *cooling tower* yang lebih baik. Diharapkan penelitian ini dapat menjadi tolak ukur untuk mencari efektivitas pendinginan yang diharapkan selama ini dalam kinerja *cooling tower*.

### Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental, yaitu suatu metode yang digunakan untuk menguji pengaruh variasi penambahan suhu awal, ketinggian, dan penambahan bahan pengisi bambu wulung. Penambahan suhu awal mulai 40 °C, 50 °C, 60 °C dan 70°C. penambahan ketinggian 100 cm, 150 cm, dan 200 cm, sedangkan ukuran bahan pengisi bambu berbentuk lingkaran dengan diameter 60 cm. dengan tebal 1 cm, lebar 4 cm dan celah antara bambu 0.2 cm.



Gambar 1. Skema Rangkaian *Cooling Tower induced draft counterflow* dan bahan pengisi bambu.

### Kinerja *Cooling Tower*

Kinerja menara pendingin saat ini digunakan untuk mengkaji tingkat *approach* dan *range* terhadap nilai desain, mengidentifikasi area terjadinya pemborosan energi dan memberikan saran perbaikan [3]. Selama evaluasi kinerja *cooling tower*, peralatan pemantauan yang *portable* digunakan untuk mengukur evaluasi

kinerja *cooling tower*. Pemantauan dilaksanakan untuk mengukur parameter-parameter signifikan berikut ini:

1. Temperatur udara *wet bulb*
2. Temperatur udara *dry bulb*
3. Temperatur air masuk menara pendingin
4. Temperatur air keluar menara pendingin
5. Temperatur udara keluar
6. Laju aliran air
7. Laju aliran udara.

Parameter terukur tersebut kemudian digunakan untuk menentukan kinerja menara pendingin dengan beberapa cara yaitu:

- a) **Range** merupakan perbedaan antara suhu air masuk dan keluar menara pendingin. *Range CT (cooling tower)* rumusnya adalah:

$$\text{Range CT } (^{\circ}\text{C}) = [\text{suhu masuk CW } (^{\circ}\text{C}) - \text{suhu keluar CW } (^{\circ}\text{C})].$$

- b) **Approach** merupakan perbedaan antara suhu air dingin keluar menara pendingin dan *suhu wet bulb ambien*.

$$\text{Approach CT } (^{\circ}\text{C}) = [\text{suhu keluar CW } (^{\circ}\text{C}) - \text{suhu wet bulb } (^{\circ}\text{C})].$$

- c) **Efektivitas**. Merupakan perbandingan antara *range* dan *range* ideal (dalam persentase), yaitu perbedaan antara suhu masuk air pendingin dan suhu *wet bulb ambien*.

$$\text{Efektivitas CT } (\%) = 100 \times (\text{suhu CW} - \text{suhu keluar CW}) / (\text{suhu masuk CW} - \text{suhu WB}).$$

- d) **Kapasitas pendinginan**. Merupakan panas yang dibuang dalam kKal/jam atau TR, sebagai hasil dari kecepatan aliran masa air, panas spesifik dan perbedaan suhu [4]. Kapasitas pendinginan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$Q = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T.$$

Sedangkan kapasitas pendinginan spesifik persatuan luas penampang menara pendingin dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$Q_{sp} = \frac{Q}{A_{tower}}$$

Pada rumus kapasitas pendinginan,  $Q$  merupakan kapasitas pendinginan (KJ/s),  $\dot{m}$  adalah debit air (kg/s),  $C_p$  adalah kalor jenis air (KJ/kg °C),  $\Delta T$  adalah perbedaan suhu air

masuk dan suhu air keluar ( $^{\circ}\text{C}$ ), dan  $A_{\text{tower}}$  adalah luas penampang menara pendingin ( $\text{m}^2$ ).

- e) **Debit air spesifik.** Sesuai dengan ukuran luas penampang menara pendingin dan debit air, maka dapat dihitung debit air spesifik dengan rumus sebagai berikut.

$$\dot{m}_{sp} = \dot{m} / A_{\text{tower}}$$

Pada rumus debit air spesifik,  $\dot{m}_{sp}$  merupakan debit air spesifik ( $\ell/\text{min}/\text{m}^2$ ),  $\dot{m}$  adalah debit air ( $\ell/\text{menit}$ ), dan  $A_{\text{tower}}$  merupakan luas penampang menara pendingin ( $\text{m}^2$ ).

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

Rasio air – udara =

- g) **Kehilangan penguapan.** Merupakan jumlah air yang diuapkan untuk tugas pendinginan. Secara teoritis jumlah penguapan mencapai  $1,8 \text{ m}^3$  untuk setiap  $10.000.000 \text{ kKcal}$  panas yang

dibuang. Rumus berikut dapat digunakan (Perry). Adapun rumus untuk menghitung laju penguapan air ke udara pada suatu menara pendingin adalah sebagai berikut.

$$\text{Laju penguapan air}(\ell/\text{menit}) = (\omega H_2 - \omega H_1) \times \frac{V}{\rho \cdot v_1} \times 60$$

Pada rumus kehilangan penguapan,  $(\omega H_2 - \omega H_1)$  merupakan selisih antara rasio kelembaban udara keluar dan masuk menara pendingin ( $\text{kg uap air} / \text{kg udara}$ ),  $V$  adalah debit aliran udara ( $\text{m}^3/\text{s}$ ),  $\rho$  densitas air =  $0,99285 \text{ kg}/\ell$ , dan  $v_1$  merupakan volume spesifik udara ambien ( $\text{m}^3/\text{kg}$ ).

- h) **Perbandingan Liquid/gas (L/G).** Laju kalor yang dilepas dari air,  $dq$ , sama dengan laju kalor yang diterima udara [5].

$dq = G dha = L (4,19 \text{ kJ}/\text{kg} \cdot \text{K})$ . Pada rumus perbandingan *liquid/gas*(L/G)  $dq$  merupakan laju kalor yang di lepas,  $G$  massa gas, dan  $L$  merupakan massa cair.

## Hasil Penelitian

Data pengujian analisis beban kalor *cooling tower* dengan bahan pengisi bambu wulung. Variasi ketinggian  $200 \text{ cm}$ , Dengan dan tanpa menggunakan bahan pengisi.

Table 1. data hasil pengujian dengan variasi ketinggian CT  $200 \text{ cm}$  dengan atau tanpa *fill*

ketinggian <i>cooling tower</i> $200 \text{ cm}$ tanpa fill											
	Jumlah Aliran Air	Temperatur Air	Temperatur udara masuk		Temperatur udara masuk		Q U masuk	V1	Q U keluar	V2	
	$\text{m}^3/10\text{s}$	$^{\circ}\text{C}$	Tdb1 $^{\circ}\text{C}$	Twb2 $^{\circ}\text{C}$	Tdb1 $^{\circ}\text{C}$	Twb2 $^{\circ}\text{C}$	$\text{m}^3/\text{s}$	m/s	$\text{m}^3/\text{s}$	m/s	
	0.0043	40	32.33	29	27	31.9	32.17	0.018	0.063	0.018	2.25
	0.0042	50	39.33	30	28.17	35.37	37.5	0.018	0.063	0.018	2.28
	0.0043	60	44	30	26.83	38.57	37.5	0.014	0.051	0.014	1.83
	0.0044	70	53	32	27.17	44.98	49.67	0.013	0.046	0.013	2
ketinggian <i>cooling tower</i> $200 \text{ cm}$ dengan fill											
	Jumlah Aliran Air	Temperatur Air	Temperatur udara masuk		Temperatur udara masuk		Q U masuk	V1	Q U keluar	V2	
	$\text{m}^3/10\text{s}$	$^{\circ}\text{C}$	Tdb1 $^{\circ}\text{C}$	Twb2 $^{\circ}\text{C}$	Tdb1 $^{\circ}\text{C}$	Twb2 $^{\circ}\text{C}$	$\text{m}^3/\text{s}$	m/s	$\text{m}^3/\text{s}$	m/s	
	0.0044	40	31.83	29.83	28	33.67	36.67	0.016	0.056	0.016	1.67
	0.0043	50	38.17	29.5	27.83	34.45	42.83	0.017	0.061	0.017	2.18
	0.0044	60	43	30.33	26.17	40.52	45	0.013	0.047	0.013	1.68
	0.0043	70	47	30	27.83	48.38	50.83	0.013	0.045	0.013	1.63

Ket: Q U : debit udara.

Berdasarkan hasil perolehan data pengujian pada Table 1. Dapat dilihat semakin tinggi suhu awal, maka suhu akhir yang diperoleh akan semakin tinggi. Dengan rata-rata nilai temperatur udara kering sebesar 30 °C dan temperatur udara basah 27 °C. Pada temperatur udara masuk. Kecepatan rata-rata udara 2 m/s. dengan kecepatan tertinggi sebesar 2.25 m/s. Suhu air masuk *cooling tower* berkisar dari 40°C hingga

tertinggi 70 °C, dengan perubahan temperatur terendah 32.33 °C dan tertinggi 53 °C, pada variasi tanpa menggunakan bahan pengisi (*fill*). Sedangkan pada variasi menggunakan *fill* perubahan temperatur terendah 31.83 °C dan temperatur tertinggi 47 °C. Semakin rendah perubahan temperatur dari temperatur awal, maka nilai *range* dari *cooling tower* akan semakin baik.

Table 2. data hasil perhitungan kinerja CT dengan variasi ketinggian 200 cm dengan atau tanpa *fill*

t (cm)	Ta1 °C	ΔT °C	A °C	EP %	Q kj/s	m <sub>sp</sub> L/menit	m <sub>u</sub> m/menit	R a/u	LPA L/menit	(L/G) kJ/kg.°C
200 Tanpa <i>fill</i>	40	7.67	5.33	59	13.85	9.13	3.75	2.43	0.0007	0.5
	50	10.67	11.16	48.88	18.82	8.92	3.8	2.35	0.0015	0.66
	60	16	17.17	48.24	28.9	9.13	3.05	2.99	0.0022	0.87
	70	17	25.83	39.69	31.42	9.34	2.75	3.4	0.0038	1.45
t (cm)	Ta1 °C	ΔT °C	A °C	EP %	Q kj/s	m <sub>sp</sub> L/menit	m <sub>u</sub> m/menit	R a/u	LPA L/menit	(L/G) kJ/kg.°C
200 Dengan <i>fill</i>	40	8.17	3.83	68.08	15.1	9.34	3.33	2.8	0.0011	0.67
	50	11.83	10.34	53.38	21.37	9.13	3.62	2.52	0.0011	0.46
	60	17	16.83	50.25	31.42	9.34	2.8	3.34	0.0026	1.06
	70	23	19.17	54.54	41.44	9.13	2.72	3.36	0.0053	0.77

Ket: ΔT= Renge. Q= Beban kalor. R a/u= rasio air/udara.  
 A= Approach. m<sub>sp</sub>= debit air spesifik. LPA= laju penguapan air  
 E= Efektivitas pendinginan. m<sub>u</sub>= debit udara spesifik (L/G)= perbandingan liquid/gas.

Pada Tabel 2. Dapat dilihat kinerja dari *cooling tower*, dari nilai temperatur *range* (ΔT) sampai nilai perbandingan *liquid/gas* (L/G). temperatur *range* terendah sebesar 7.67 °C dan tertinggi 17 °C. pada variasi tanpa menggunakan bahan pengisi (*fill*), sedangkan pada variasi dengan menggunakan *fill* diperoleh temperatur *range* terendah sebesar 17 °C dan tertinggi 23 °C. *Approach* terendah 5.33 °C dan tertinggi 25.83 °C. tanpa menggunakan *fill*, dan dengan menggunakan *fill*, *Approach* terendah 3.83 °C dan tertinggi 19.17 °C. Efektivitas pendinginan terendah sebesar 39.69 % dan tertinggi 59%, pada variasi tanpa menggunakan *fill*, dan dengan menggunakan *fill*, efektivitas pendinginan terendah sebesar 54.54 % dan tertinggi 68.08%. Beban kalor terendah *cooling tower* tanpa *fill* sebesar 13.86 kJ/s dan tertinggi 31.42 kJ/s, Sedangkan, dengan menggunakan *fill*, beban kalor terendah sebesar 15.1 kJ/s dan tertinggi 41.44 kJ/s. Debit air spesifik terendah sebesar 8.92 L/menit dan tertinggi sebesar 9.34 L/manit, dengan rata-rata 9.13 L/menit. Pada semua variasi *cooling tower*. Rasio air dan udara terendah sebesar 2.43 dan tertinggi 3.4 pada variasi tanpa

*fill*, sedangkan dengan menggunakan *fill* terendah sebesar 2.8 dan tertinggi 3.36. Nilai laju penguapan air terendah pada *cooling tower* tanpa *fill* terendah sebesar 0.0007 L/menit dan tertinggi sebesar 0.0038 L/menit, sedangkan dengan menggunakan *fill* terendah sebesar 0.0011 L/menit dan tertinggi sebesar 0.0053 L/menit. Perbandingan massa *liquid/gas* (L/G) tanpa menggunakan *fill* terendah sebesar 0.5 kJ/kg.°C dan tertinggi 1.45 kJ/kg.°C sedangkan dengan menggunakan *fill* nilai perbandingan massa *liquid/gas*(L/G) terendah sebesar 0.67 kJ/kg.°C dan tertinggi sebesar 1.06 kJ/kg.°C.

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa yang telah dibahas dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Variasi penambahan bahan pengisi bambu wulung dan ketinggian dapat mempercepat pendinginan suhu awal. Dengan variasi suhu awal 70 °C, dan ketinggian 200 cm. nilai *range* tanpa menggunakan *fill* sebesar 17 °C

sedangkan, dengan penambahan *fill* nilai *range* naik sebesar 23 °C.

2. Temperatur *approach* tertinggi, terjadi pada variasi *cooling tower* dengan ketinggian 200 cm, ta1 70 °C, tanpa *fill* sebesar 25,83 °C, sedangkan Temperatur *approach* terendah, terjadi pada variasi *cooling tower* dengan ketinggian 200 cm, ta1 40 °C, dengan *fill* sebesar 3,83 °C.
3. Nilai tertinggi efektivitas pendinginan terjadi pada variasi ketinggian 200 cm, dengan suhu awal 40 °C, menggunakan *fill* yaitu sebesar 68.08%. Sedangkan pada variasi yang sama tanpa menggunakan *fill*. Nilai efektivitas sebesar 59 %. Baiknya efektivitas pendinginan *cooling tower* dengan suhu awal rendah dikarenakan, adanya nilai tetap dari Twb 1, sedangkan nilai Ta1 semakin tinggi.
4. Kapasitas pendinginan (beban kalor *cooling tower*) tertinggi, pada variasi penambahan *fill* ketinggian 200 cm, ta1 70 °C, sebesar 41.54 kJ/s, dibandingkan dengan tanpa menggunakan *fill* dengan variasi yang sama beban kalor sebesar 31.42 kJ/s
5. perbandingan massa *liquid/gas* (L/G) tertinggi terjadi pada variasi, ta1 70 °C, menggunakan *fill* sebesar 1.45 kJ/kg.°C, dan (L/G) terendah 0.5 kJ/kg.°C, terjadi pada variasi ta1 40 °C.

#### Saran

Dari hasil penelitian mengenai analisis beban kalor *cooling tower induced draft counterflow* dengan bahan pengisi bambu wulung, maka disarankan beberapa hal berikut :

- a. Kajian ini masih terbatas pada analisa bahan pengisi dan variasi ketinggian dengan waktu pengujian yang cepat. Oleh karena itu, analisa dan penelitian lanjutan dapat memperpanjang waktu penelitian.
- b. Memvariasikan komponen yang ada untuk memperoleh hasil yang lebih baik guna meningkatkan prestasi kerja *cooling tower* dengan menggunakan bahan pengisi yang dapat melepas kalor lebih cepat.

#### Daftar Pustaka

- [1] Dransfield, S. & Wijaya, EA. 1995. *Plant Resources of South Asia 7, Bamboos*. Backhuys Publisher, Leiden.
- [2] EL-Wakil, M.M., dan Jasjfi, E, 1992. Instalai Pembangkit Daya. *Power Plant Technology*. Jakarta, Erlangga.
- [3] Pacific Northwest National Laboratory, 2001. Peralatan Energi Listrik:Menara Pendingin Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia [http://www.energyefficiencyasia.org/energyequipment/ee\\_escoolingtowers.html](http://www.energyefficiencyasia.org/energyequipment/ee_escoolingtowers.html). [17 mei 2014].
- [4] Wiranto Arismunandar, Heizo saito.1980. *Penyegaran Udara*. Jakarta.: Pradnya Paramita.
- [5] Stoecker, W. F., dan Jones, J. W., *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*. Terjemahan Oleh Supratman Hara. 1996. Jakarta: Erlangga.