

ANALISIS PERFORMA KINERJA COOLING TOWER INDUCED DRAFT COUNTER FLOW DENGAN BAHAN PENGISI ROTAN

Alvin Ulil Amriansyah¹, Digdo Listyadi Setyawan², Rika Dwi Hidayatul Qoryah²

¹ Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember,
Jl.Kalimantan 37, Jember, 68121

² Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember,
Jl.Kalimantan 37, Jember, 68121

Email: alvin.amri18@gmail.com

ABSTRACT

Cooling tower is defined as a heat exchanger whose working fluid is water and air which functions to cool water by direct contact with air To produce maximum performance from the cooling tower , a filler material is needed which functions to inhibit the flow of water. Rattan has smooth and strong properties against various conditions and is easy to make the desired shape. Previous research on cooling towers has shown that the work performance cooling tower is maximized by using fillers, one of which is using fiber, bamboo and aluminum as fillers. This cooling tower uses 3 layers of rattan filler with the distance between the fillers being equalized with 3 variations of the distance. In the process of testing the same treatment by varying the initial temperature 50 , 60 , 70 , air velocity 4 m/s, 6m/s, 8 m/s, and the distance between fillers 10 cm, 15 cm, 20 cm. Research on cooling towers with rattan as a filler resulted in higher cooling effectiveness and capacity than cooling towers without using fillers. This is evidenced by the highest effectiveness value on a cooling tower with filler material is 96.94%, while the highest value in the cooling tower without filler is 80.24%. The cooling capacity value in the cooling tower with filler is 11.23 kJ/s , while the highest value in the cooling tower without filler is 9.73 kJ/s.

Keywords: Cooling Tower, Rattan, Effectiveness

PENDAHULUAN

Menara pendingin adalah sebuah alat transfer kalor dimana fluida kerjanya adalah air dan udara [1]. Fungsi dari menara pendingin ini sendiri dapat menurunkan suhu air atau menukar energi kalor air dengan masuknya udara yang mengakibatkan air mengalami kehilangan energi kalor. *Cooling tower* dimanfaatkan sebagai proses pendinginan air di sektor industri [2] contohnya pada unit pembangkit tenaga listrik, unit *thermal*, pabrik kimia dan petrokimia untuk memproses panas yang terbuang [3]. *Cooling tower induced draft counter flow* adalah *cooling tower* yang aliran udara dan airnya tegak lurus dengan bantuan *fan* atau kipas yang berfungsi untuk menyerap udara luar masuk ke dalam *cooling tower* [4]..

Bahan pengisi (*filler*) merupakan bagian penting *cooling tower* yang berguna untuk menguraikan aliran air yang dialirkan melalui nozel menjadi tetesan air. Hal tersebut dapat memperluas permukaan pendinginan dan memperlama kontak dengan udara sehingga kalor air turun dan menguap di udara [5]. Semakin lama kontak air dan udara dengan bahan pengisi maka

dapat menurunkan suhu air karena terjadi pertukaran kalor antara udara dan air yang dapat mempercepat proses penguapan pada *cooling tower*. Bahan pengisi yang efektif adalah bahan pengisi yang dapat menyerap panas atau kalor dengan baik dan dapat memperlama laju aliran air [6].

. Penelitian sebelumnya tentang *cooling tower* menunjukkan hasil performa kerja *cooling tower* yang lebih maksimal dengan menggunakan bahan pengisi, salah satunya menggunakan bahan pengisi serat ijuk, bambu dan aluminium. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh bahan pengisi rotan pada performa kinerja *cooling tower induced draft counterflow* terhadap: hasil pengaruh variasi suhu awal, kecepatan udara dan jarak antar pengisi, serta, hasil pengaruh akibat efektivitas, rasio air dan udara, kehilangan penguapan, kapasitas pendingin dan nilai L/G.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini meliputi dua kegiatan utama yaitu pembuatan dan pengujian. Penelitian ini

akan dilaksanakan dengan rencana kerja yang telah disusun. Penelitian ini dapat dilaksanakan di Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember dengan kelembapan 86% dan suhu ruangan 28 °C pada 1 Oktober 2020 sampai dengan 30 Januari 2021.. Peralatan dan bahan yang digunakan dalam pengujian adalah sebagai berikut:

- Satu unit *cooling tower induced draft counterflow* dengan diameter 45 cm
- *Thermokopel*
- *Stopwatch*
- *Flowmeter*
- *Voltage Regulator*
- *Anemometer*
- Pompa air
- *Fan* diameter 35 cm
- Motor listrik 1 phasa
- Sakelar kabel
- Pipa
- Kompor LPG
- *Heater coil*
- Bak penampung
- *Nozzle*

Prosedur Pengujian

- a) Mempersiapkan bahan dan alat yang digunakan untuk penelitian;
- b) Merangkai komponen-komponen *cooling tower*, bahan pengisi rotan sesuai dengan variasi tinggi yang ditentukan dan *heater* dengan benar yaitu dengan menghubungkan pipa dari *heater* ke *cooling tower*, serta menaruh bahan pengisi rotan di bawah *nozzle*.
- c) Panaskan air dalam *heater* dengan tingkat suhu sesuai variasi suhu yang ditentukan dan hidupkan *fan* dengan kecepatan udara sesuai variasi
- d) Hubungkan motor penggerak pompa *cooling tower*
- e) Selanjutnya menjalankan alat uji sistem dan aliran air bersirkulasi dengan baik pada *cooling tower*.
- f) Mencatat suhu yang ditunjukkan oleh pengukur suhu pada semua titik laju aliran pelepasan panas. Dengan variasi *cooling tower* yang sudah ditentukan.
- g) Pengumpulan data dan pengolahan data

HASIL DAN PEMBAHASAN

Telah dilaksanakan penelitian tentang analisis performa kinerja *cooling tower induced draft counterflow* dengan bahan pengisi rotan dan diperoleh data pada tabel sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil pengujian tanpa bahan pengisi cooling tower

Kecepatan udara (m/s)	T1 (°C)	T2 (°C)	Twb1 (°C)	Twb2 (°C)	Tdb (°C)	Qudara (m³/s)	Qair (m³/s)
4	50	32,40	29	27	31	1,41	7,16x10 ⁻⁵
	60	36,00	30	28	32	2,12	7,16x10 ⁻⁵
	70	40,70	28	27	30	2,82	7,16x10 ⁻⁵
6	50	32,05	28	27	31	1,41	7,16x10 ⁻⁵
	60	32,42	28	26	29	2,12	7,16x10 ⁻⁵
	70	38,18	28	27	29	2,82	7,16x10 ⁻⁵
8	50	32,10	28	27	30	1,41	7,16x10 ⁻⁵
	60	31,91	29	25	31	2,12	7,16x10 ⁻⁵
	70	37,19	29	27	32	2,82	7,16x10 ⁻⁵

Tabel 2. Hasil pengujian dengan bahan pengisi ketinggian 10 cm

Kecepatan udara (m/s)	T1 (°C)	T2 (°C)	Twb1 (°C)	Twb2 (°C)	Tdb (°C)	Qudara (m³/s)	Qair (m³/s)
4	50	32,50	31	30	32	1,41	7,16x10 ⁻⁵
	60	34,66	35	29	36	2,12	7,16x10 ⁻⁵
	70	39,08	36	34	37	2,82	7,16x10 ⁻⁵
6	50	33,21	32	31	32	1,41	7,16x10 ⁻⁵
	60	38,57	34	32	35	2,12	7,16x10 ⁻⁵
	70	36,63	35	33	37	2,82	7,16x10 ⁻⁵
8	50	31,50	32	30	32	1,41	7,16x10 ⁻⁵
	60	32,95	34	30	34	2,12	7,16x10 ⁻⁵

Tabel 3. Hasil pengujian dengan bahan pengisi ketinggian 15 cm

Kecepatan udara (m/s)	T1 (°C)	T2 (°C)	Twb1 (°C)	Twb2 (°C)	Tdb (°C)	Qudara (m³/s)	Qair (m³/s)
4	50	28,40	30	27	31	1,41	7,16x10 ⁻⁵
	60	32,74	32	29	33	2,12	7,16x10 ⁻⁵
	70	34,47	35	31	35	2,82	7,16x10 ⁻⁵
6	50	28,51	30	27	31	1,41	7,16x10 ⁻⁵
	60	32,01	32	29	33	2,12	7,16x10 ⁻⁵
	70	33,94	34	31	35	2,82	7,16x10 ⁻⁵
8	50	27,70	30	27	30	1,41	7,16x10 ⁻⁵
	60	31,05	32	30	32	2,12	7,16x10 ⁻⁵
	70	32,15	33	30	34	2,82	7,16x10 ⁻⁵

Tabel 4. Hasil pengujian dengan bahan pengisi ketinggian 20 cm

Kecepatan udara (m/s)	T1 (°C)	T2 (°C)	Twb1 (°C)	Twb2 (°C)	Tdb (°C)	Qudara (m³/s)	Qair (m³/s)
4	50	29,51	31	27	31	1,41	7,16x10 ⁻⁵
	60	34,72	32	30	33	2,12	7,16x10 ⁻⁵
	70	33,23	35	30	36	2,82	7,16x10 ⁻⁵
6	50	29,28	31	27	32	1,41	7,16x10 ⁻⁵
	60	33,52	34	31	35	2,12	7,16x10 ⁻⁵
	70	32,86	34	31	35	2,82	7,16x10 ⁻⁵
8	50	29,32	29	28	31	1,41	7,16x10 ⁻⁵
	60	32,44	32	31	33	2,12	7,16x10 ⁻⁵
	70	32,71	33	31	34	2,82	7,16x10 ⁻⁵

Range

Range merupakan perbedaan antara temperatur air masuk dan keluar *cooling tower*. Data *range* dapat diperoleh dengan cara, temperatur masuk (T₁) dikurangi suhu keluar (T₂).

Tabel 5. Data rata-rata hasil perhitungan *range coolingtower*

Jarak Bahan Pengisi (cm)	Range								
	V 4 m/s			V 6 m/s			V 8 m/s		
	T 50°C	T 60°C	T 70°C	T 50°C	T 60°C	T 70°C	T 50°C	T 60°C	T 70°C
0	17,60	23,99	29,29	17,94	25,57	31,81	17,89	28,08	32,80
10	17,49	25,33	30,91	16,78	21,43	33,36	18,49	27,04	33,17
15	21,6	27,25	35,52	21,48	27,98	36,05	22,29	28,94	37,84
20	20,48	25,27	36,76	20,71	26,47	37,13	20,67	27,55	37,28

Terlihat pada Tabel 5 penambahan suhu awal menyebabkan nilai *range* semakin besar, karena semakin besar perbedaan temperatur air masuk dan keluar menghasilkan nilai *range* yang tinggi. Penggunaan bahan pengisi/*filler* juga menjadi faktor peningkatan nilai *range*, dikarenakan air akan mengenai *filler* sehingga memperlama kontak air dan udara serta memperkecil luas permukaan dari air sehingga air menjadi cepat dingin. Menara pendingin dengan *range* yang tinggi berarti bahwa menara pendingin telah mampu menurunkan suhu air secara efektif, dan memiliki kinerja yang bagus [7]

Data temperatur *range* (ΔT) tertinggi yang dihasilkan pada penelitian ini terjadi pada variasi kecepatan udara 8 m/s dengan suhu awal 70°C sebesar 37,84°C. temperatur *range* terendah yang didapatkan yaitu sebesar 16,78°C pada variasi kecepatan udara 6 m/s dan dengan suhu awal 50°C.

Approach

Approach adalah perbedaan antara suhu air keluar *cooling tower* (T_2) dan suhu bola basah (T_{wb1}). Data *approach* dapat diperoleh dengan cara, suhu keluar (T_2) dikurangi dengan suhu bola basah (T_{wb1}).

Tabel 6. Hasil perhitungan *approach*

Jarak Bahan Pengisi (cm)	APPROACH								
	V 4 m/s			V 6 m/s			V 8 m/s		
	T 50°C	T 60°C	T 70°C	T 50°C	T 60°C	T 70°C	T 50°C	T 60°C	T 70°C
0	5,4	8,004	13,704	5,056	8,426	11,189	5,104	6,915	10,183
10	2,504	5,663	5,081	2,219	6,57	3,637	1,507	2,952	3,285
15	1,4	3,748	3,474	1,511	3,011	2,941	0,704	1,052	2,159
20	2,511	4,726	3,233	2,289	2,522	2,863	1,326	1,441	1,719

Pada Tabel 6 menunjukkan bahwa nilai *approach* semakin menurun seiring dengan variasi yang digunakan. Penurunan nilai *approach* disebabkan oleh temperatur air masuk (T_1) dan temperatur air keluar (T_2) tinggi, sedangkan nilai temperatur bola basah masuk (T_{WB1}) relatif tetap. Jika kecepatan udara semakin cepat maka temperatur air akan menjadi cepat dingin karena uap panas yang dihasilkan oleh air lebih cepat berpindah ke udara. Sebaliknya, kecepatan rendah akan menyebabkan nilai *approach* naik. , Nilai terendah berada pada variasi suhu awal 50°C dengan kecepatan udara 8 m/s dan jarak antar pengisi sebesar 15 cm yaitu sebesar 0,7°C. Nilai *approach* tertinggi pada *cooling tower* yang menggunakan bahan pengisi sebesar 6,57°C pada variasi suhu 60°C dengan kecepatan udara 6 m/s dan jarak antar pengisi 10 cm

Rasio Air dan Udara

Rasio ini merupakan perbandingan antara debit air spesifik yang hendak didinginkan terhadap debit udara spesifik yang diinduksikan oleh kipas. Semakin tinggi nilai kecepatan udara maka nilai rasio semakin kecil [8].

Tabel 7. Data hasil perhitungan rasio air dan udara

RASIO AIR DAN UDARA	
Kecepatan Udara (m/s)	Rasio Air dan Udara
4	0,0414
6	0,0276
8	0,0207

Kecepatan kipas berpengaruh terhadap nilai rasio air dan udara karena semakin cepat putaran kipas, maka nilai rasio semakin kecil [9]. Nilai tersebut didapatkan melalui perbandingan volume udara spesifik dan volume air spesifik yang masuk ke *cooling tower*. Pengaruh turunnya rasio ini disebabkan oleh semakin cepat udara yang masuk, sedangkan volume air yang masuk relatif tetap maka menyebabkan nilai rasio akan semakin kecil atau menurun. Nilai rasio tertinggi pada penelitian ini terjadi pada variasi kecepatan udara 4 m/s sebesar 0,0414. Nilai rasio terendah sebesar 0,0207 pada variasi kecepatan udara 8 m/s. Dalam hal ini bahan pengisi pada *cooling tower* tidak berpengaruh terhadap nilai rasio air dan udara.

Kapasitas Pendingin

Kapasitas pendinginan merupakan panas yang dibuang dalam Kj/s atau kKal/jam, sebagai hasil dari kecepatan aliran massa air, panas spesifik dan perbedaan suhu. Kapasitas pendingin suatu *cooling tower* adalah kemampuan *cooling tower* tersebut untuk membuang panas ke lingkungan [10].

Tabel 8. Hasil perhitungan kapasitas pendingin

JARAK BAHAN PENGISI (cm)	Kapasitas Pendinginan								
	V 4 m/s			V 6 m/s			V 8 m/s		
	T 50°C	T 60°C	T 70°C	T 50°C	T 60°C	T 70°C	T 50°C	T 60°C	T 70°C
0	5,22	7,12	8,69	5,32	7,59	9,44	5,31	8,33	9,73
10	5,19	7,52	9,17	4,98	6,36	9,9	5,48	8,02	10,01
15	6,41	8,08	10,54	6,37	8,3	10,7	6,61	8,59	11,23
20	6,08	7,5	10,91	6,14	7,85	11,02	6,13	8,17	11,06

Pada Tabel 8 memerlihatkan kapasitas pendingin semakin naik dengan variasi suhu awal dan perubahan kecepatan udara masuk pada *cooling tower*. Pengaruh ini sama dengan yang dialami oleh perubahan . Kapasitas

pendingin tertinggi diperoleh pada variasi suhu awal 70 °C dengan kecepatan udara 8 m/s dan jarak antar pengisi 15 cm yaitu 11,23 kJ/s. Nilai kapasitas pendingin terendah diperoleh pada variasi suhu awal 50 °C dengan kecepatan udara 6 m/s dan jarak antar pengisi 10 cm yaitu 4,98 kJ/s. Kapasitas pendingin yang naik dipengaruhi oleh nilai *range* yang naik pula, yang berarti nilai kapasitas pendingin pada *cooling tower* berbanding lurus dengan nilai *range* [11].

Kehilangan Penguapan

Kehilangan penguapan merupakan jumlah air yang diuapkan sebagai proses pendinginan [7]. Tabel 9. Hasil perhitungan kehilangan penguapan

JARAK BAHAN PENGISI (cm)	Kehilangan Penguapan								
	V 4 m/s			V 6 m/s			V 8 m/s		
	T 50°C	T 60°C	T 70°C	T 50°C	T 60°C	T 70°C	T 50°C	T 60°C	T 70°C
0	0,115	0,157	0,192	0,118	0,168	0,209	0,117	0,184	0,215
10	0,115	0,166	0,203	0,110	0,140	0,219	0,121	0,177	0,221
15	0,142	0,179	0,233	0,141	0,184	0,237	0,146	0,190	0,248
20	0,134	0,166	0,241	0,136	0,174	0,244	0,136	0,181	0,245

Kehilangan penguapan mengalami kenaikan pada semua variasi suhu awal, kecepatan udara dan jarak antar bahan pengisi. Penambahan kecepatan udara dalam *cooling tower* menjadikan tekanan dalam *cooling tower* menurun dan mengakibatkan penguapan lebih cepat. Debit udara yang masuk maupun yang keluar dari *cooling tower* sangat berpengaruh. *Range* yang besar maka kehilangan penguapan akan semakin besar [7]. Kehilangan penguapan tertinggi jika menggunakan bahan pengisi didapatkan pada variasi suhu awal 60 °C dengan kecepatan udara 8 m/s pada jarak antar pengisi 15 cm yaitu 0,248 l/menit dan nilai kehilangan penguapan terendah didapatkan pada variasi suhu awal 50 °C dengan kecepatan udara 6 m/s pada jarak antar bahan pengisi 10 cm yaitu 0,11 l/menit

L/G (LIQUID/GAS)

Perbandingan L/G menara pendingin merupakan perbandingan antara laju kalor yang dilepas dari air (dq) dengan laju kalor yang dikirim udara. Melalui prinsip termodinamika diketahui bahwa panas yang dibuang dari air harus sama dengan panas yang diserap oleh udara sekitarnya [7]

Tabel 10. Hasil perhitungan L/G

JARAK BAHAN PENGISI (cm)	L/G								
	V 4 m/s			V 6 m/s			V 8 m/s		
	T 50°C	T 60°C	T 70°C	T 50°C	T 60°C	T 70°C	T 50°C	T 60°C	T 70°C
0	2,29	1,76	2,12	1,10	1,51	0,62	1,10	2,02	1,23
10	1,292	0,229	1,794	1,41	2,364	1,59	3,67	3,583	1,574
15	2,872	1,697	2,856	2,887	2,125	2,061	2,783	1,598	1,876
20	4,131	1,83	3,372	4,085	2,806	2,608	0,999	0,858	1,298

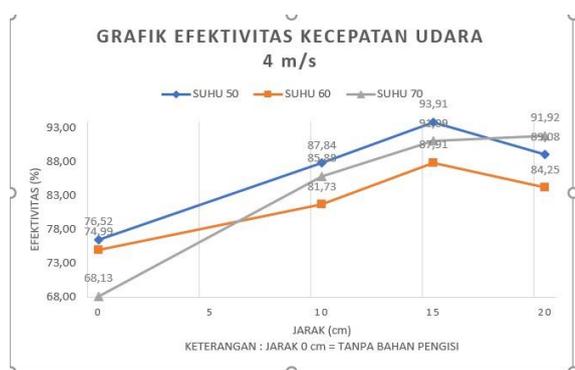
Pada tabel 10. perbandingan nilai L/G tertinggi dalam *cooling tower* menggunakan bahan pengisi terjadi pada variasi suhu awal 50 °C dengan kecepatan udara 4 m/s dan jarak pengisi 20 cm yaitu 4,131 kJ/kg °C. Nilai perbandingan terendah terjadi pada variasi suhu awal 60 °C dengan kecepatan udara 8 m/s dan jarak pengisi 20 cm yaitu 0,858 kJ/kg °C. Jika nilai L/G lebih dari 1 maka dalam rasio perbandingannya air lebih banyak keluar dibandingkan dengan udara. Sedangkan, nilai L/G kurang dari 1 maka udara lebih banyak keluar dibandingkan dengan air. Maka dari itu, nilai terbaik dalam perbandingan L/G adalah mendekati 1, karena air dan udara yang keluar sama.

Efektivitas Cooling Tower

Efektivitas merupakan perbandingan antara *range* dan *range* ideal (dalam presentase), yaitu perbedaan antara suhu masuk air (T₁) dan suhu *wet bulb* (T_{WB1}) atau dapat dikatakan sebagai *range / (range + approach)*. Semakin tinggi nilai perbandingan ini, maka nilai efektivitas dari *cooling tower* semakin besar [10]

Tabel 11. Hasil perhitungan efektivitas *cooling tower*

JARAK BAHAN PENGISI (cm)	Efektivitas								
	V 4 m/s			V 6 m/s			V 8 m/s		
	T 50°C	T 60°C	T 70°C	T 50°C	T 60°C	T 70°C	T 50°C	T 60°C	T 70°C
0	76,52	74,99	68,13	78,02	75,22	73,98	77,81	80,24	76,30
10	87,84	81,73	85,88	88,32	76,53	90,17	92,46	90,16	91,12
15	93,91	87,91	91,09	93,43	90,29	92,46	96,94	96,49	94,6
20	89,08	84,25	91,92	90,05	91,3	92,84	93,97	95,04	95,59



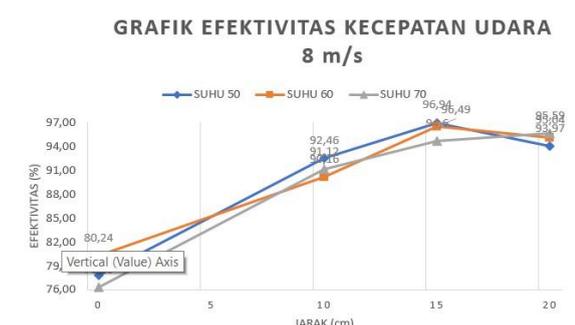
Gambar 1. Grafik efektivitas *cooling tower* kecepatan udara 4 m/s

Pada gambar 1. nilai efektivitas tertinggi terdapat pada variasi suhu awal 50 °C dan jarak pengisi 15 cm sebesar 93,91%. Sedangkan nilai efektivitas terendah sebesar 81,73% pada variasi suhu awal 60°C dan jarak pengisi 10 cm.



Gambar 2. Grafik efektivitas *cooling tower* kecepatan udara 6 m/s

Pada gambar 2 nilai efektivitas tertinggi sebesar 93,43% pada variasi suhu awal 50°C dan jarak pengisi 15 cm. Sedangkan nilai efektifias terendah berada pada variasi suhu 60 °C dan jarak pengisi 10 cm sebesar 76,53%.



Gambar 3. Grafik efektivitas *cooling tower* kecepatan udara 6 m/s

Pada gambar 4.19 nilai efektivitas tertinggi terdapat pada suhu awal 50°C dan jarak pengisi 15 cm sebesar 96,94%. Sedangkan nilai efektivitas terendah sebesar 90,16% pada suhu awal 60 °C dan jarak pengisi 10 cm.

Efektivitas tertinggi diperoleh pada variasi suhu awal 50°C dengan kecepatan udara 8 m/s pada jarak antar pengisi 15 cm sebesar 96,94%. Untuk nilai efektivitas terendah diperoleh pada

variasi suhu awal 60 °C dengan kecepatan udara 6 m/s pada jarak antar pengisi 10 cm sebesar 76,53%. Sedangkan pada *cooling tower* yang tidak menggunakan bahan pengisi, efektivitas tertinggi diperoleh pada variasi suhu awal 60°C dan kecepatan udara 8 m/s sebesar 80,24% dan nilai efektivitas terendah sebesar 68,13% dengan variasi suhu awal 70°C dan kecepatan udara 4 m/s. Secara garis besar, penggunaan bahan pengisi pada *cooling tower* berdampak pada nilai efektivitas yang semakin naik daripada *cooling tower* tanpa menggunakan bahan pengisi

KESIMPULAN

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

- Penggunaan bahan pengisi rotan dengan peningkatan variasi kecepatan udara dan temperatur air masuk mampu meningkatkan efektivitas dari *cooling tower*.
- Rasio air dan udara pada *cooling tower* tidak ditentukan oleh penambahan bahan pengisi.
- Kapasitas pendingin dari *cooling tower* dipengaruhi oleh bahan pengisi rotan, dengan penambahan variasi suhu awal dan kecepatan udara akan memperbesar penurunan suhu air sehingga pendinginan maksimal.
- Kehilangan penguapan dapat mengalami peningkatan pada *cooling tower* dengan bahan pengisi rotan dan variasi suhu air masuk serta kecepatan udara masuk.
- Nilai L/G ialah nilai perbandingan laju kalor yang dilepas air sama dengan kalor yang diterima udara.

SARAN

Dari hasil penelitian tentang *cooling tower induced draft counterflow* dengan bahan pengisi rotan yang telah dilaksanakan, maka disarankan beberapa hal berikut:

- Variasi yang bisa memengaruhi prestasi kerja *cooling tower* pada penelitian selanjutnya seperti dengan *nozzle* yang bisa mendistribusikan air secara merata, penggunaan material lain untuk bahan pengisi, bentuk bahan pengisi, jenis kipas dan variasi debit air yang masuk.
- Dalam pengambilan data kecepatan udara, sebaiknya bisa dilakukan di beberapa titik. Karena kecepatan udara pada poros dan luar kipas mendapatkan nilai yang berbeda.

- c. Hasil penelitian bisa menjadi data pendukung lanjutan yang dapat digunakan oleh pihak yang berkepentingan dalam pemilihan jenis *cooling tower induced draft counterflow* dan rotan sebagai bahan pengisi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] EL-Wakil, M.M., dan Jasjfi, E. 1992. *Instalasi Pembangkit Daya Power Plant Technology*. Jakarta: Erlangga.
- [2] Hamid, A. dkk. 2017. Pengaruh Bentuk Dan Konfigurasi Alur Sekat Terhadap Unjuk Kerja Menara Pendingin (Cooling Tower). *ROTOR*. 10(2):1-5
- [3] Rao, R. V., & Patel, V. K. (2011). Optimization of Mechanical Draft Counter Flow Wet-Cooling Tower using Artificial Bee Colony Algorithm. *Energy Conversion and Management*. 52(7), 2611–2622.
- [4] Hamzah, O.F. 2014. Analisa Performasi pada Menara Pendingin dengan Menggunakan Analisis Eksergi. *Jurnal Desiminasi Teknologi*. 2(1):23-28.
- [5] Hidayat, A. T. 2014. Analisis Beban Kalor Cooling tower Induced Draft Counter Flow Dengan Bahan Pengisi Bambu Wulung. Jember: *Jurnal Jurusan Teknik Mesin*, Fakultas Teknik, Universitas Jember
- [6] Li, X., Li, Y., & Seem, J. E. (2010). Dynamic Modeling of Mechanical Draft Counter-Flow Wet Cooling Tower With Modelica. *ASME 2010 Dynamic Systems and Control Conference, Volume 2*. 12-15 September 2010. DSCC2010-4147
- [7] Yulianto, S. 2013. Perancangan Cooling Tower Untuk Alat Penukar Kalor Shell And Tube Kapasitas Skala Laboratorium. *SINTEK: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*. 7 (1).;
- [8] Hakim, A. R. 2016. Analisis Efektivitas Cooling tower Forced Draft Dengan Variasi Tegangan Listrik Kipas dan Pengisi Tali Ijuk. Skripsi. Jember: Universitas Jember;
- [9] Sudrajat, M.M.R. 2015. Analisis Variasi Tegangan Listrik Kipas Cooling Tower Induced Draft Counterflow Dengan Pengisi Bambu Wulung. *Skripsi*. Jember: Program Sarjana Fakultas Teknik Universitas Jember;
- [10] Fauzi, D.A., dan Rudiyanto, B. 2016. Analisa Performa Menara Pendingin pada PT. GEO DIPA ENERGI UNIT DIENG. *Jurnal Ilmiah Rotari*. 1(1):25-32
- [11] Anugrah, A.S., dkk. 2021. Analisis Kinerja *Natural Draft Cooling Tower* di Unit Kilang Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak dan Gas. *SWARA PATRA Majalah Ilmiah PPDSM MIGAS*. 11(1):1-13