KARAKTERISTIK MENARA PENDINGIN TIPE INDUCED DRAFT DENGAN BAHAN ISIAN KAIN FLANEL

Arrad Ghani Safitra, Fifi Hesty Sholihah, Inas Nabilah Fauziyyah
Program Studi Sistem Pembangki Energi, Departemen Teknik Mekanika dan Energi, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

ABSTRACT

An experimental study was made of the thermal performance characteristics of counter flow wet cooling tower represent by the heat rejected to the atmosphere, thermal effectiveness and NTU is presented in this paper. Cooling tower is filled with a flannel fabric which is 0,3 m high and contains sheets having a zigzag, half, 2:1 and full form. Effect of controlling parameters such as the cold air flow rates on the performance parameters such as range of temperature, heat rejected/gain rates, effectiveness and Number of Transfer Unit (NTU) has been analyzed in this paper. The experimental results indicate that the tower characteristics increase with increase cold air velocity, with variation of film filler arrangement. The highest tower characteristics get from full filler arrangement and then by adding flannel fabric cover is increase the tower characteristics in each arrangement since the water spray this one is endured at this filler by the capillarity process. Then with compared the pattern and intake cold air speed, the highest heat rejected that happened on the film filler is 5.02 kW, effectiveness of 0.9 and great value of NTU 4.19 on the cooling air velocity 7.1 m/s with a variation using a full arrangement flannel fillings..

Keywords: *counter flow wet cooling tower; filler; flannel fabric; effectiveness; NTU*

ABSTRAK

Makalah ini menyajikan tentang studi eksperimen untuk menguji karakteristik kinerja termal pada counter flow wet cooling tower yang direpresentasikan dengan panas yang dibuang ke atmosfir, efektivitas dan NTU. Cooling tower diisi dengan bahan isian kain flanel yang memiliki tinggi 0.3 m dan susunan bahan isian zigzag, setengah, 2:1, dan susunan penuh. Pada makalah ini telah dianalisa pengaruh laju aliran udara pendingin terhadap temperatur, panas yang dibuang, efektivitas, dan NTU. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa karakteristik menara meningkat dengan adanya peningkatan kecepatan udara pendingin yang disertai dengan variasi susunan bahan isian. Karakteritik tertinggi diperoleh pada bahan isian dengan susunan penuh yang ditambahkan lapisan penutup berupa kain flanel karena semburan air tertahan oleh kain flanel akibat adanya kapilaritas pada bahan. Kemudian dengan membandingkan bentuk susunan bahan isian dan variasi kecepatan udara pendingin, panas tertinggi yang dibuang adalah 5.02 kW, efektivitas 0.9 dan nilai NTU sebesar 4.19 pada kecepatan udara pendingin 7.1 m/s dengan variasi bahan isian menggunakan susunan penuh yang dilapisi kain flanel.

Kata kunci : *counter flow wet cooling tower; bahan isian; kain flanel; efektivitas; NTU*

PENDAHULUAN

Cooling tower adalah alat yang paling banyak digunakan untuk melepaskan kelebihan beban panas dari proses-proses seperti unit pembangkit tenaga listrik, pembangkit tenaga nuklir dan termal, industri kimia dan perminyakan, serta sistem refrigerasi dan tata udara, ke atmosfir[1]. Alat ini beroperasi berdasarkan pada transfer energi massa dan panas dari air temperatur tinggi ke udara pendingin. Pada *wet cooling tower*, air mengalir atau jatuh ke seluruh *filler* dan kemudian terjadi kontak langsung antara air panas tersebut dengan aliran udara pendingin.

Tipe material *filler* digunakan sebagai bahan isian pada *cooling tower* memiliki poin penting karena mempunyai luas permukaan yang sangat besar untuk terjadinya penguapan panas dan perpindahan massa yang berlangsung dari air panas ke udara *ambient* dan meningkatkan waktu kontak antara dua fluida. Berdasarkan penelitian sebelumnya, faktor utama yang mempengaruhi efisiensi yaitu

performansi termal dari zona *filler* karena 70% dari kapasitas pembuangan panas bergantung pada zona *filler* [2].

Karena *cooling tower* tipe *wet* sangat banyak digunakan, maka studi evaluasi performansi dan perlakukan panas banyak dilakukan. Merkel, Poppe dan NTU adalah beberapa metode yang banyak digunakan untuk mengevaluasi performansi *wet cooling tower* dan diketahui bahwa metode Merkel dan NTU menghasilkan hasil yang identik[3]. Banyak penelitian yang menggunakan sistem pemodelan matematika yang memiliki banyak keuntungan karena lebih menghemat biaya, tetapi studi eksperimen juga diperlukan untuk mengetahui performansi aktual. Metode yang digunakan adalah dengan membuat bahan isian (*filler*) yang berbeda yaitu *splash*, *honeycomb*, *ceramic tile*, *corrugated* dan *film* seperti yang dijelaskan pada literatur [4-6]. Misalnya, Johanes, S [7] mengadakan penelitian eksperimental tentang karakteristik *cooling tower* dengan memanfaatkan kekuatan kapilaritas serat sebagai *splash filling*. Niken dan Arrad [8] mengembangkan variasi densitas *splash filling* dengan performansi dari *forced draft counter flow cooling tower*.

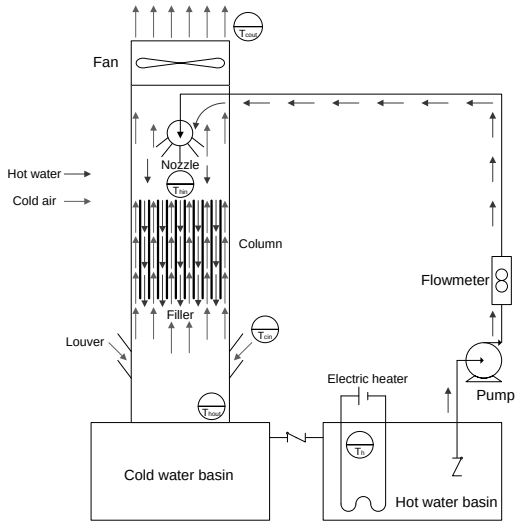
Banyak peneliti telah menekuni bidang ini dalam rangka meningkatkan fenomena transport. Di antara jenis *filler* yang ada, yaitu "VGA" (*Vertical Grid Apparatus*) yang awalya telah banyak dikembangkan [9] dan digunakan dalam peralatan perpindahan massa. Lemouari melakukan penelitian eksperimental tentang performansi termal untuk *wet cooling tower* menggunakan tipe *filler* dengan ketinggian 0.42 m dan terdiri dari empat lembaran galvanis yang memiliki bentuk zigzag. Ia melakukan eksperimen performansi perpindahan panas pada *cooling tower* dengan studi parametrik yang berbeda dan menghasilkan model yang mirip dengan penelitian Gharagheizi [10] yang menyajikan studi eksperimental dan komparatif pada performansi *cooling tower* secara mekanik dengan dua tipe pembungkus *film*. Mereka menggunakan *Vertical Corrugated Packing* (VCP) dan *Horizontal Corrugated Packing* (HCP) dengan ketinggian 0.64 m dan luas penampang 0.25 m^2. Dari penelitian ini, Diperoleh performansi *cooling tower* dipengaruhi oleh rasio air/massa udara, tipe dan susunan pembungkus. Dalam penelitian lain, Gao [11] mengerjakan model jaringan *three-layer Back Propagation* (BP) dengan satu lapisan tersembunyi untuk memprediksi performansi WCT di bawah kondisi *cross-wind*. El Dessouky [12] telah meneliti performansi termal dan hidraulik dari *three pdase fluidized bed cooling tower* menggunakan bola karet berongga berdiameter 12.7 mm dan dengan densitas sebesar 375 kg/m^3 sebagai pembungkus.

Data yang diperoleh digunakan untuk mengembangkan hubungan antara karakteristik *cooling tower* , temperatur inlet air panas, ketinggian *static bed* dan rasio fluks massa air/udara. Koefisien perpindahan massa pada *three phase fluidized bed cooling tower* jauh lebih tinggi dari *packed-bed cooling tower* dengan ketinggian pembungkus yang lebih tinggi. Penelitian lain tentang prediksi pada *cooling tower* tipe *induced draft ceramic tile packing* telah disajikan oleh Elsarrag [13]. Ia menggunakan menara dengan luas penampang 0.64 m^2 dan tinggi 2 m dengan porsi *filling* 0.8 m. Tanah liat tahan baka digunakan sebagai metrial *filler* untuk menjaga *cooling tower* agar tidak terjadi masalah yang diakibatkan oleh pengolahan air kimia dan kerusakan. Tujuan utama dari makalah ini adalah untuk melakukan penelitian eksperimental karakteristik performansi dari *wet cooling tower* tipe *direct contact counter flow* yang diisi dengan lapisan berbahan kain flannel untuk meningkatkan karakteristik termal dengan susunan yang berbeda dan untuk mendapatkan posisi pola yang optimal.

METODE

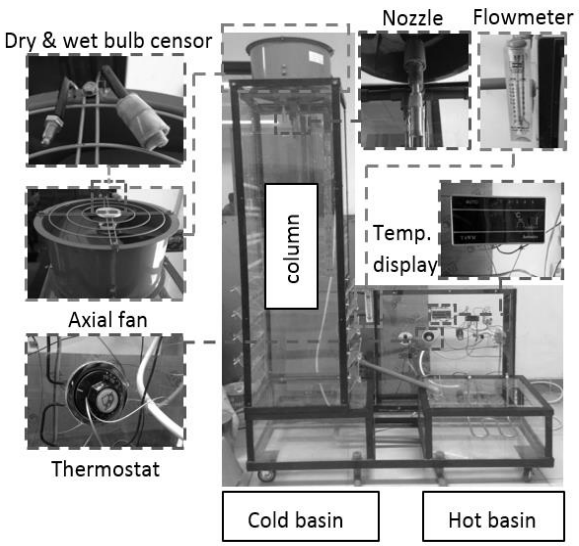
Penelitian ini dimulai dengan mengidentifikasi permasalahan yaitu transfer energi pada *cooling tower* antara air panas dan udara pendingin. Pada objek ini, air panas dari *condenser* diasumsikan bahwa air yang dipanaskan oleh pemanas elektrik (*electric heater*). Selanjutnya, studi tentang performansi *cooling tower* dan menentukan parameter terlebih dahulu. Identifikasi pengaruh variabel dan desain peralatan eksperimen untuk mendapatkan performansi dan karakteristik. Dilakukan pengaturan eksperimen dengan mengidentifikasi variabel batas untuk meneliti kondisi karakteristik performansi *cooling tower* tipe *induced draft counter flow* dengan *filler* flanel. Data diambil hingga kondisi peralatan dan instrumen stabil. Konsep termodinamika danperpindahan panas digunakan pada penelitian ini. Data dimasukkan dengan persamaan efektivitas dan NTU. Penelitian

ini dibangun di Laboratorium *Thermal Heating* dan *Air Conditioning*, Departemen Teknik Mekanika dan Energi, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya.



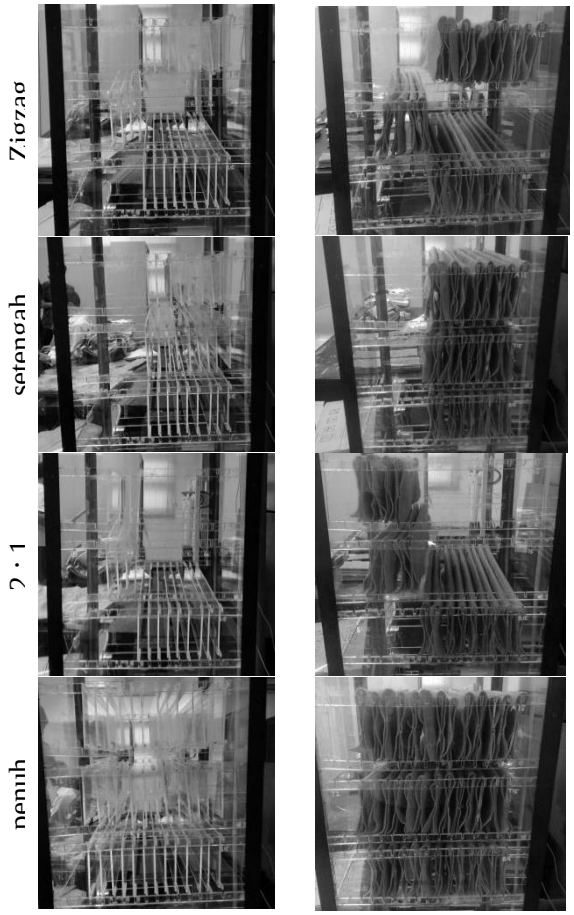
Gambar 1. Diagram skema alat pengujian

Tujuan dari eksperimen ini yaitu untuk mempertimbangkan posisi pola yang optimal dan juga menemukan pengaruh penambahan kain flanel dalam *film filler*, temperatur outlet air dan kecepatan air pada selisih temperatur air dan efektivitas *cooling tower*. Diagram skema dari pengaturan eksperimen ditunjukkan dalam Gambar 1. Terdiri dari sebuah *cooling tower* utama yang menunjukkan perlengkapan utma yang digunakan dalam pengujian ini, sebuah bak penampungan air dingin (*cold water basin*), sebuah bak penampungan air panas (*hot water basin*) yang mempunyai pemanas listrik, pompa air, alat *flow meter*, nosel, kipas, dan *film filler*. Kolom menara memiliki bentuk paralel dengan dimensi 400 mm x 400 mm x 1400 mm, dan terbuat dari akrilik dengan bingkai di setiap tepinya.



Gambar 2**.** Alat Pengujian

Visualisasi peralatan eksperimen yang nyata ditunjukkan dalam Gambar 2. beserta instrument yang digunakan seperti *display* temperatur, *flow meter*, nosel, sensor *dry* dan *wet bulb*, kipas axial, *thermostat*, *cold basin* dan *hot basin*.



(a) (b)

Gambar.3. Susunan *filler* (a) tanpa kain flanel dan (b) dengan kain flanel

Kolom diisi dengan akrilik dilapisi dengan kain flanel yang memiiki panjang 395 mm, ketebalan 5 mm dan ketinggian 100 m. Terdapat 3 blok *filler* dimana setiap *filler* memiliki 13 *filler* dan empat susunan yang diteliti dalam riset ini seperti zigzag, setengah, 2:1 dan penuh seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3.

Tabel 1. Parameter yang diukur dan alat pengukuran

Parameter yang diukur	**Alat pengukuran**	**Tingkat keakurasian**
Temperatur inlet dry and wet bulb	Thermocouple type-K	±1 ºC
Temperatur outlet udara	Thermocouple type-K	±1 ºC
Temperatur inlet and outlet air	Thermocouple type-K	±1 ºC
Circulating water flow rate	Flowmeter	±1.5%

Tabel 1 menjelaskan instrumen dan akurasi dari instrumen yang digunakan untuk item yang dipilih. Pertimbangan pengukuran yang diambil terdiri dari kenaikan temperatur udara (*dry* dan *wet*) saat masuk dan keluar menara, serta temperatur air inlet dan outlet. Prosedur pengujian dijelaskan pada Gambar 1.

Model Perhitungan Parameter Performansi Termal

A. Range aktual dan Perpindahan panas maksimum

Panas buang didefinisikan sebagai selisih antara air *panas* yang memasuki *cooling tower* dengan air *panas* yang keluar dari *cooling tower* seperti yang dirumuskan pada persamaan (1).

$$q_{out} = (\dot{m}_{w,in} . h_{w,in} - \dot{m}_{w,out} . h_{w,out}) \quad (1)$$

Kemudian, perpindahan panas maksimum didefinisikan sebagai selisih antara panas dari air *panas* yang memasuki *cooling tower* dengan udara dingin yang masuk ke *cooling tower* seperti yang dirumuskan pada persamaan (2).

$$q_{\max} = (\dot{m}_{w,in} . h_{w,in} - \dot{m}_{a,out} . h_{a,out}) \quad (2)$$

B. Efektivitas

Efektivitas *cooling tower* didefinisikan sebagai rasio panas buang terhadap panas maksimum ideal dan sebagai metode yang digunakan untuk menghitung kapabilitas perpindahan panas dalam penukar kalor dengan membandingkan terhadap *calorific value transferred* dengan *the possibility of maximum heating value* seperti yang dirumuskan pada persamaan (3).

$$\varepsilon = \frac{q_{out}}{q_{\max}} \quad (3)$$

C. *Number of Transfer Unit (NTU)*

Dalam buku Stoeker dan Jones, sebagai penukar kalor, performansi *cooling tower* juga dinyatakan dalam $h_c A / c_{pm}$ sebagai fungsi yang menggambarkan karakteristik *cooling tower* dan dasar untuk mengetahui performansi pada kondisi temperatur air inlet dan temperatur *wet bulb* apapun. Nilai $h_c A / c_{pm}$ diketahui sebagai NTU, secara umum memiliki persamaan (4).

$$NTU = \frac{U.A}{\dot{m}.cp} \quad (4)$$

Kemudian, oleh Lu Lu Wenjian Cai, nilai NTU *pada counter flow cooling tower* yaitu

$$NTU = -\frac{\ln\left(\frac{1-\varepsilon}{1-\varepsilon.m^*}\right)}{1-m^*} \quad (5)$$

$$m^* = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_w} . \frac{C_s}{C_{pw}} \quad (6)$$

$$C_s = \frac{h_{a,in} - h_{a,out}}{T_{w,in} - T_{w,out}} \quad (7)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada eksperimen ini menggunakan parameter kecepatan udara pendingin sebagai variable kontrol untuk memudahkan pada saat membuat grafik dan analisa. Susunan *filler* divariasikan untuk mengetahui performa terbaik dari *cooling tower*. Data hasil pengujian eksperimen ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data pengujian

Susunan	Kecepatan udara [m/s]	tanpa penutup flanel						dengan penutup flanel					
		$Tw_{h,in}$ [°C]	$Tw_{h,out}$ [°C]	$Ta_{db,in}$ [°C]	$Ta_{wb,in}$ [°C]	$Ta_{db,out}$ [°C]	$Ta_{wb,out}$ [°C]	$Tw_{h,in}$ [°C]	$Tw_{h,out}$ [°C]	$Ta_{db,in}$ [°C]	$Ta_{wb,in}$ [°C]	$Ta_{db,out}$ [°C]	$Ta_{wb,out}$ [°C]
zig-zag	1.7	50	35	25	24	30	29	50	33	27	26	27	26
	5	50	34	25	24	30	29	50	30	25	24	26	25
	7.1	50	32	26	25	30	29	50	30	26	25	27	26
Setengah	1.7	50	36	27	26	32	31	50	33	27	26	27	26
	5	50	34	27	26	31	30	50	31	27	25	27	26
	7.1	50	33	27	26	30	29	50	30	27	25	27	26
2:1	1.7	50	36	26	25	32	31	50	32	27	26	27	26
	5	50	35	26	25	30	29	50	31	27	26	27	26
	7.1	50	33	27	26	30	29	50	30	27	26	27	26
Penuh	1.7	50	35	26	25	31	30	50	31	27	26	28	27
	5	50	33	26	25	30	29	50	30	27	25	27	26
	7.1	50	32	27	26	30	29	50	29	27	26	28	27

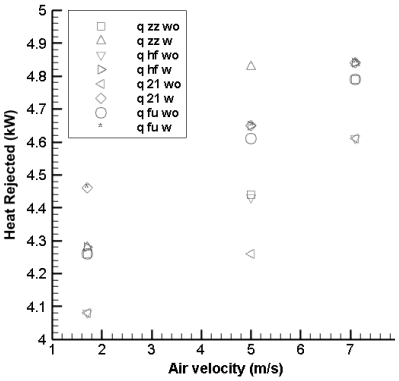
Tabel 3 menunjukkan perhitungan hasil eksperimen dan variasi kecepatan udara pendingin berpengaruh terhadap karakteristik *cooling tower* dengan dan tanpa *filler* flanel. Dapat diketahui bahwa nilai NTU tertinggi yaitu pada variasi susunan filer penuh dengan kecepatan udara masuk tertinggi sebesar 7.1 m/s dengan panas yang dibuang sebesar 5.02 kW pada variasi dengan penutup kain flanel, dan nilai terendah yaitu pada kecepatan udara masuk sebesar 1.7 m/s pada variasi susunan *filler* setengah dan 2:1 dengan nilai panas yang dibuang sama yaitu 4.08 kW pada variasi tanpa penutup kain flanel.

Tabel 3. Hasil Perhitungan eksperimen

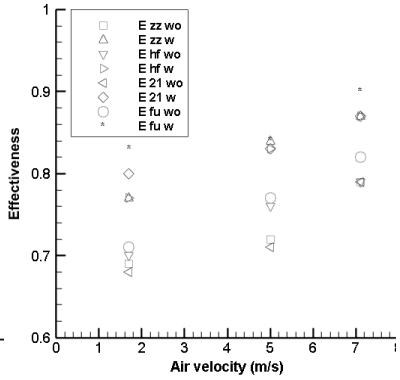
Susunan	Kecepatan udara [m/s]	Tanpa penutup flanel			dengan penutup flanel		
		q_{out} [kW]	ε	NTU	q_{out} [kW]	ε	NTU
zigzag	1.7	4.26	0.69	1.65	4.28	0.77	2.22
	5	4.44	0.72	1.83	4.84	0.84	3.03
	7.1	4.79	0.79	2.50	4.84	0.87	3.47
Setengah	1.7	4.08	0.70	1.72	4.28	0.77	2.22
	5	4.43	0.76	2.16	4.65	0.83	2.95
	7.1	4.61	0.79	2.44	4.84	0.87	3.47
2:1	1.7	4.08	0.68	1.60	4.46	0.80	2.55
	5	4.26	0.71	1.78	4.65	0.83	2.95
	7.1	4.61	0.79	2.44	4.84	0.87	3.48
Penuh	1.7	4.26	0.71	1.78	4.65	0.83	2.95
	5	4.6	0.77	2.2	4.83	0.8	3.0

	7.1	1 4.79	0.82	2 2.78	5.02	4 0.90	0 4.19

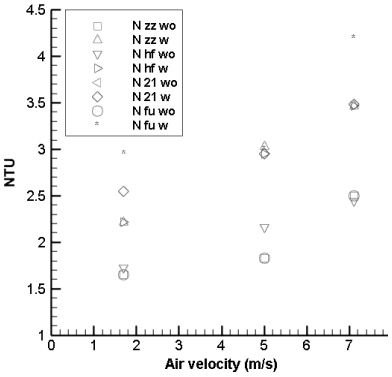
Koordinat axis x dan y pada Gambar 4 menggambarkan hubungan kecepatan udara pendingin masuk dan besar panas yang buang. Dari grafik tersebut, dapat diketahui bahwa grafik menunjukkan pengaruh semua variasi bentuk susunan *filler* terhadap panas yang dibuang dengan variasi kecepatan udara pendingin. Trend grafik yang linier menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan udara pendingin sebanding dengan peningkatan panas yang dibuang.



Gambar 4**.** Pengaruh udara masuk terhadap Panas buang



Gambar 5. Pengaruh udara masuk terhadap efektivitas



Gambar 6. Pengaruh udara masuk terhadap NTU

Besar nilai panas yang dibuang dengan *filler* dilapisi kain flanel lebih tinggi daripada tanpa menggunakan lapisan flanel. Dari hal ini dapat diketahui bahwa variasi kecepatan udara yang tinggi dan susunan *filler* sangat mempengaruhi panas yang dibuang dengan kondisi temperatur inlet yang sama untuk air panas dan udara pendingin. Peningkatan kecepatan udara pendingin mempengaruhi laju aliran massa udara lembab yang masuk ke dalam *cooling tower* ($\dot{m}_{moist}$). Ketika kecepatan udara meningkat mulai dari 1.7 m/s; 5 m/s; dan 7.1 m/s, $\dot{m}_{moist}$ juga meningkat pada variasi zigzag, setengah, 2:1 dan penuh. Hal ini sesuai dengan persamaan yang telah dijelaskan bahwa nilai kecepatan udara masuk sebanding dengan laju aliran massa udara lembab. Nilai kelembaban udara akan mempengaruhi laju aliran massa air yang keluar ($\dot{m}_{w,out}$) dari *cooling tower*. Tetapi selain hal tersebut, panas yang dibuang juga mempengaruhi nilai entalpi air yang keluar ($h_{w,out}$). Temperatur air yang keluar ($T_{w,out}$) menurun ketika kecepatan udara pendingin meningkat.

Dengan menambahkan jumlah *filler* pada setiap susunan di dalam kolom *filler* pada *cooling tower* yang ditunjukkan pada Gambar 4 maka akan dapat meningkatkan panas yang dibuang. Selain menambahkan jumlah filer hingga susunan penuh, menambahkan lapisan kain flanel juga akan meningkatkan perpindahan panas yang terjadi di dalam kolom. Hal ini terjadi karena air panas yang disemprotkan dari nozel terjebak di dalam kain flanel karena kapilaritas dari bahan tersebut. Terjebaknya air panas di kain ini akan membuat kontak antara air panas dan udara pendingin menjadi semakin lama sehingga perpindahan panas akan meningkat. Pada susunan *filler* penuh ini mempunyai performa terbaik jika dibandingkan dengan susunan *filler* lain dengan perlakuan yang sama.

Pengaruh kecepatan udara masuk terhadap efektivitas tanpa lapisan kain flanel dan dengan lapisan flanel ditunjukkan pada Gambar 5. Dengan menambahkan besar kecepatan udara pendingin masuk *cooling tower* akan mempengaruhi besarnya nilai efektivitas. Pada kecepatan udara masuk 7.1 m/s mempunyai nilai efektivitas tertinggi dari variasi kecepatan udara lain. Kemudian, diikuti dengan efektivitas pada kecepatan udara 5 m/s dan 1.7 m/s. Efektivitas minimum terjadi pada kecepatan 1.7 m/s sebesar 0.68 pada komposisi filer 2:1. Selanjutnya, efektivitas tertinggi diperoleh ketika kecepatan udara pendingin 7.1 m/s sebesar 0.90 pada susunan *filler* penuh dengan menggunakan lapisan kain flanel.

Nilai efektivitas meningkat dengan meningkatkan kecepatan udara karena panas yang dibuang lebih besar dan hampir mendekati besar panas maksimum. Dapat diketahui bahwa keduanya mempunyai linearitas. Penggunaan filer dengan lapisan kain flanel pada susunan *filler* penuh dapat mencapai nilai efektivitas tertinggi karena struktur dan susunan dapat menampung lebih banyak air yang disemprotkan oleh nozel, sehingga hubungan antara air dengan udara pendingin masuk akan lebih luas dengan media *filler* yang memenuhi kolom.

Gambar 6 menunjukkan pengaruh kecepatan udara terhadap nilai NTU tanpa dilapisi kain flanel dan dengan dilapisi kain flanel. Variasi kecepatan udara masuk dan susunan filer mempengaruhi *Number of Transfer Unit* (NTU) dimana pada kecepatan udara masuk 7.1 m/s mempunyai nilai 2.78 pada filer tanpa kain flanel dan 4.19 dengan menggunakan lapisan kain flanel. Pada variasi dengan kecepatan udara 7.1 m/s ini mempunyai nilai NTU tertinggi dari semua variai. Kemudian, diikuti dengan nilai NTU pada kecepatan 5 m/s dan 1.7 m/s. NTU minimum terdapat pada variasi kecepatan udara pendingin 1.7 m/s yaitu 1.60 tanpa lapisan kain flanel dengan susunan 2:1 dan 2.22 dengan menggunakan lapisan kain flanel pada susunan zigzag. Terdapat korelasi dengan efektivitas dan rasio udara terhdapa nilai kapasitas efektif atau m*. Ketika kecepatan udara masuk meningkat, maka nilai m* juga meningkat. Diperoleh kenaikan nilai NTU dalam semua kondisi pada kecepatan yang sama ketika rasio densitas material pembungkus diperluas. Nilai NTU menandakan perpindahan panas dalam proses tersebut mempunyai performansi yang lebih baik.

KESIMPULAN

Beberapa pengujian lapangan dengan variabel yang berbeda telah dilakukan pada *cooling tower* tipe *induced draft* dengan penambahan kain flanel sebagai material pengisi. Dapat diketahui bahwa faktor yang mempengaruhi performansi *cooling tower* adalah kecepatan udara, temperatur outlet air, efektivitas dan NTU. Panas buang tertinggi yang terjadi pada *film filler* adalah 5.02 kW, efktivitas sebesar 0.9 dan besar nilai NTU adalah 4.19 pada kecepatan udara pendingin 7.1 m/s dengan variasi menggunakan susunan penuh pengisian flanel (*flannel fillings*).

DAFTAR PUSTAKA

[1] M.M. El-Wakil, Chapter 7, *Power Plant Technology*, McGraw-Hill Book Company, New York, St. Louis, San Francisco, 1985.
[2] N. Williamson, M. Behnia, S. Armfield, Comparison of a 2D asymmetric CFD model of a natural draft wet cooling tower and a 1D model, Int. J. Heat Mass Transfer. 51, 2008, pp.2227–2236.
[3] J.C. Kloppers, D.G. Kröger, *A critical investigation into the heat and mass transfer analysis of counter flow wet-cooling towers*, Int. J. Heat Mass Transf. 48, 2005, pp.765–777.
[4] H. Inazumi, S. Kageyama, *A successive graphical method of design of a cross-flow cooling tower*, Chem. Eng. Sci. 30, 1975, pp.717–721.
[5] A.A. Dreyer, P.J. Erens, *Modeling of cooling tower splash pack*, Exp. Therm. Fluid Sci. 7, 1993, pp.130.
[6] H.R. Goshayshi, J.F. Missenden, *Investigation of cooling tower packing in various arrangements*, Appl. Therm. Eng. 20, 2000, pp. 69–80.
[7] J. Susanto, *Karakteristik Menara Pendingin dengan Bahan Isian Ijuk*, Program Diploma Teknik Mesin, SV, UGM, Yogyakarta, 2010
[8] K. Elfira Niken dan S. Arrad Ghani, *Studi Eksperimen Pengaruh Rasio Kerapatan Bahan Isian Terhadap Performansi Menara Pendingin Tipe Forced Draft counter flow*, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, 2015.
[9] M. Lemouari, M. Boumaza, A. Kaabi, *Experimental analysis of heat and mass transfer phenomena in a direct contact evaporative cooling tower*, Energy Convers. Manag. 50, 2009, pp.1610–1617.
[10] F. Gharagheizi, R. Hayati, S. Fatemi, *Experimental study on the performance of mechanical cooling tower with two types of film packing*, Energy Convers. Manag. 48, 2007, pp.277–280.