

Performance Test Of Indirect Evaporative Cooler By Primary Air Flow Rate Variations

Bambang Yunianto^{1*}, Fredy B. Hasugia², Berkah Fajar T.K.¹, Nazarudin Sinaga¹

¹Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Prodi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

*E-mail: byunianto20@gmail.com

Abstrak. Evaporative cooling (EC) adalah pendingin yang bekerja dengan mengkontakkan arus udara dengan butir-butir air dari sprayer air ataupun media basah (cooling pad) sehingga terjadi pendinginan udara. Salah satu dari EC yang dapat menurunkan suhu dengan tanpa menaikkan kelembaban adalah indirect evaporative cooler (IEC). Pada alat ini terdapat dua aliran udara yaitu udara primer dan sekunder. Udara sekunder adalah udara yang didinginkan langsung dengan semburan air dan masuk kedalam penukar kalor untuk mendinginkan dinding-dinding penukar kalor. Sedangkan udara primer adalah udara yang dilewatkan penukar kalor dan tanpa terjadi kontak langsung dengan udara sekunder, sehingga diperoleh pendinginan tanpa kenaikan kelembaban. Tujuan dari pengujian ini yaitu mengetahui efektivitas IEC sebagai variasi debit udara primer. Pengambilan data diambil pada 3 variasi debit udara primer yang dinyatakan dengan bukaan katub. Untuk menjaga kondisi udara masuk relative konstan, maka dilakukan pengontrolan suhu dan kelembaban udara masuk. Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi debit udara yang dilakukan dengan mengatur bukaan katub saluran udara (bukaan 100%, 75 % dan 50%) mempunyai pengaruh terhadap efektifitas IEC. Dari pengujian pada bukaan saluran udara primer 50% , didapat efektifitas tertinggi sebesar 59 %.

Kata kunci: *Evaporative Cooling*, Temperatur, Kelembaban, laju aliran dan Efektifitas.

© 2019. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Salah satu cara untuk penyegaran udara ramah lingkungan yaitu dengan menggunakan sistem *evaporative cooler*. *Evaporative cooler* merupakan sebuah mesin pendingin yang menggunakan prinsip pendinginan *adiabatik* dengan membiarkan kontak langsung antara udara dengan uap air sehingga terjadi perpindahan panas dan perpindahan massa antara keduanya. [1]

Pada proses *evaporative cooling* ada 2 macam yaitu proses *direct evaporative cooling* (DEC) dan proses *indirect evaporative cooling* (IEC) Proses DEC (gambar 1) adalah proses pendinginan dimana udara lingkungan di tarik oleh *fan* yang dimasukkan melewati media basah (*cooling pad* atau semburan air). Didalam media basah tersebut, terjadi kontak langsung antara udara dan air yang menjadi kabut, sehingga terjadi penguapan dan pendinginan. Sedangkan proses IEC (gambar 2) merupakan pendinginan udara tanpa adanya kontak langsung antara udara dengan air yaitu melalui *heat exchanger* (HE) yang bertemperatur lebih rendah. Ditinjau dari efektifitas pendinginan, prestasi IEC lebih rendah dari pada DEC, namun menghasilkan udara yang lebih kering. Hal ini karena pada sistem IEC tidak terjadi adanya

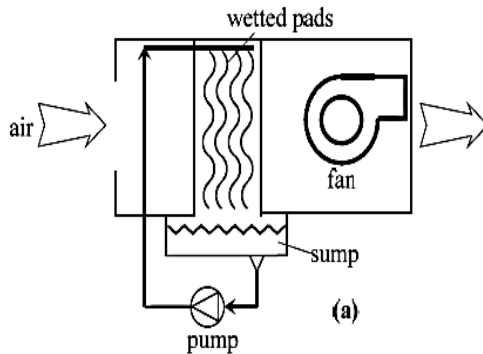
peningkatan kelembaban seperti pada system DEC, yang berarti kelembaban absolut udara masuk dan keluar adalah sama

Beberapa tempat di USA seperti Texas, Arizona dan Oregon memanfaatkan proses *Evaporative Cooling* untuk proses pengkondisian udara. Selain USA, *evaporative cooler* juga digunakan di Australia, New Mexico, Inggris, Irlandia dan daratan Eropa. Begitu juga di negara timur tengah yang mempunyai temperatur tinggi (hingga 45°C) dan kelembaban rendah (hingga RH 30%) seperti Iran. Pengoperasian sistem pendingin evaporasi ini jauh lebih hemat dari pada sistem pendingin kompresi uap yaitu mampu menghemat hingga 60% energi yang digunakan ditinjau dari penghematan biaya operasi mesin pendingin. Penggunaan sistem pendingin EC juga diterapkan di 500.000 bangunan di wilayah Mediterranean dan mampu mengurangi biaya setara 1084 GWh/tahun.[2].

Direct Evaporative Cooling (DEC)

Direct evaporative cooling (DEC) adalah yang paling populer dalam penggunaannya. Seperti pada gambar 1, udara luar dialirkan melewati cooling

pada yang dibasahi (*wetted pad*), dimana udara panas dan kering didinginkan dan dilembabkan oleh penguapan air [3]. Proses penguapan air



Gambar 1. Direct Evaporative Cooling (DEC). [3]

Adapun prestasi DEC, dinyatakan sebagai efisiensi atau efektifitas penjumlahan ϵ_{sat} , yang dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$\epsilon_{sat} = \frac{T_1 - T_2}{T_1 - T_w} \times 100\% \quad (1)$$

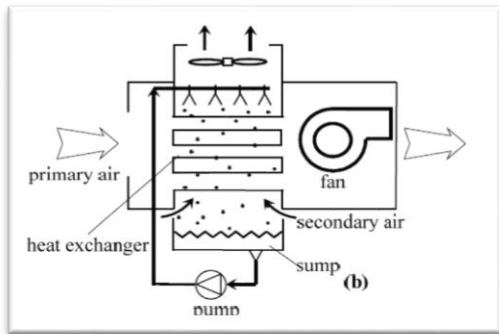
Dimana:

T_1 = temperature udara masuk DEC °C

T_2 = temperature udara keluar DEC °C

T_w = temperature bola basah udara masuk °C

Makin tinggi efektifitas penjumlahan, maka kelembaban udara makin tinggi diikuti dengan penurunan temperatur udara keluar yang tinggi pula. Temperatur terendah dan kelembaban tertinggi terjadi pada kondisi jenuh (RH 100%).



Gambar 2. Indirect Evaporative Cooling (IEC). [3]

Adapun efektifitas *indirect evaporative cooling* dinyatakan sebagai berikut :

$$\epsilon_{sat} = \frac{T_1 - T_2}{T_1 - T_w} \times 100\% \quad (2)$$

Dimana:

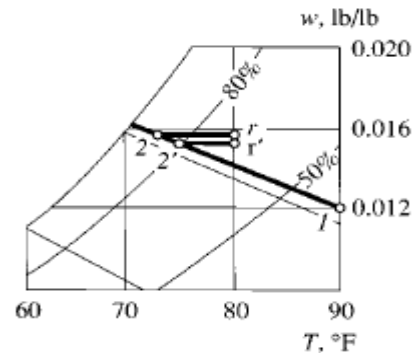
T_1 = temperature udara masuk IEC, °C

T_2 = temperature udara keluar IEC, °C

T_w = temperature bola basah udara masuk, °C

Prestasi IEC lebih rendah dari pada DEC, yaitu penurunan temperatur dan efektifitas yg lebih rendah, dimana efektifitas yang dapat dicapai 55 % hingga 61 % [6]. Namun IEC mempunyai

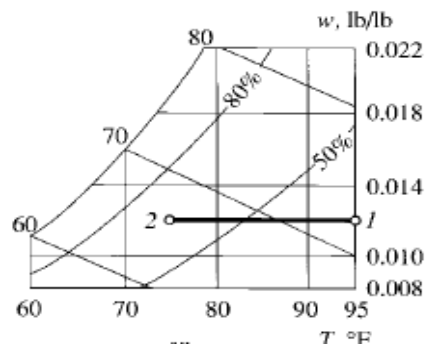
mengambil sebagian panas dari udara sehingga udara menjadi dingin dan kelembabannya meningkat.



Prestasi DEC dengan semburan air tergantung pada arah aliran udara dan semburan air. Arah aliran udara searah dengan arah semburan air menghasilkan penurunan temperatur hingga 5°C, sementara aliran lawan arah hingga 9°C dan efektifitas dapat mencapai 80 hingga 90 % [4,5].

Indirect Evaporative Cooling (IEC)

Dari gambar 2 ditunjukkan prinsip pengoperasian *indirect evaporative cooling* (IEC). Pada alat tidak terjadi perubahan kelembaban absolute, sehingga hanya terjadi penurunan temperatur saja.

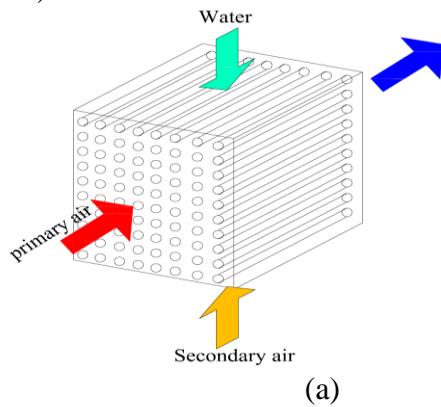


keunggulan pada kelembaban absolute yang konstan, tidak berubah sehingga sama dengan kelembaban absolute udara luar (gambar 2).

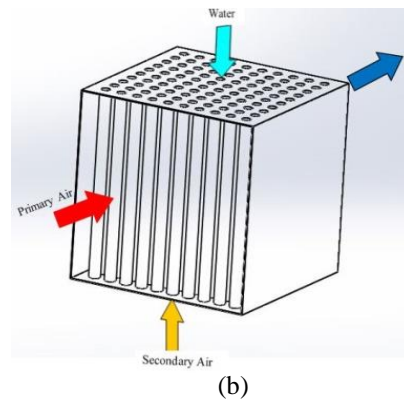
Alat Penukar Kalor (Heat Exchanger)

Komponen penting dari *indirect evaporative cooling* (IEC) adalah heat exchanger. Penggunaan *heat exchanger* (HE) tersebut untuk menghindari kontak langsung udara masuk (udara primer) dan air. Penurunan temperatur udara primer terjadi didalam HE ini, dimana udara primer yang panas dan udara sekunder yang dingin terjadi

perpindahan panas melewati dinding pemisah. Udara dingin (udara sekunder) dihasilkan dari kontak langsung dengan air yang disemburkan berlawanan arah dengan arah arus udara sekunder (gambar 2).



Pada gambar 3, dapat dilihat udara masuk (udara primer) dengan udara sekunder terjadi perpindahan panas dan pendinginan udara primer terjadi tanpa kontak langsung dengan air



Gambar 3. heat exchanger pada Indirect Evaporative Cooler. [3]

Prestasi EIC sangat dipengaruhi efektivitas penukar kalornya (HE). Dengan efektivitas HE yang tinggi, mengakibatkan adanya peningkatan perpindahan panas antara udara panas (udara primer) dan udara dingin (udara sekunder), sehingga temperatur udara primer keluar dari HE menjadi lebih rendah. Prestasi HE dinyatakan dengan efektivitas, ϵ [7].

Jika ($m_h c_h < m_c c_c$) maka efektifitas HE adalah ;

$$\epsilon_h = \frac{Q}{Q_{\max}} = \frac{(T_{h_{in}} - T_{h_{out}})}{(T_{h_{out}} - T_{c_{in}})} \times 100\% \quad (3)$$

dan jika ($m_c c_c < m_h c_h$) maka efektifitas HE adalah;

$$\epsilon_c = \frac{Q}{Q_{\max}}$$

$$= \frac{(T_{c_{out}} - T_{c_{in}})}{(T_{h_{out}} - T_{c_{in}})} \times 100\% \quad (4)$$

Dimana :

Q = perpindahan panas yang sebenarnya

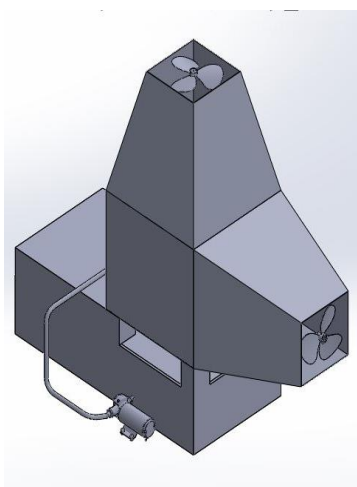
Q_{\max} = perpindahan panas maksimum

$m_h c_h$ = kapasitas panas fluda panas

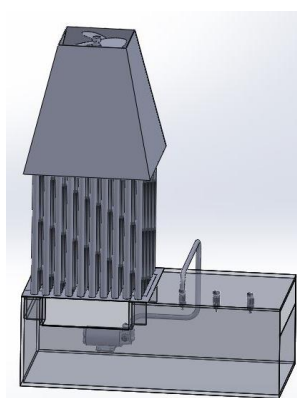
$m_c c_c$ = kapasitas panas fluda dingin

Metodologi Pengujian

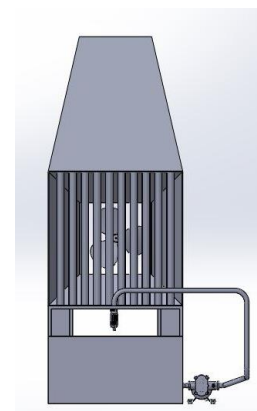
Alat uji *Indirect evaporative cooler* (IEC) ditunjukkan dengan gambar 4, dengan komponen – komponen utama terdiri dari penukar kalor (HE), pompa air, *water sprayer*, *fan* dan saluran udara.



(a)



(b)



(c)

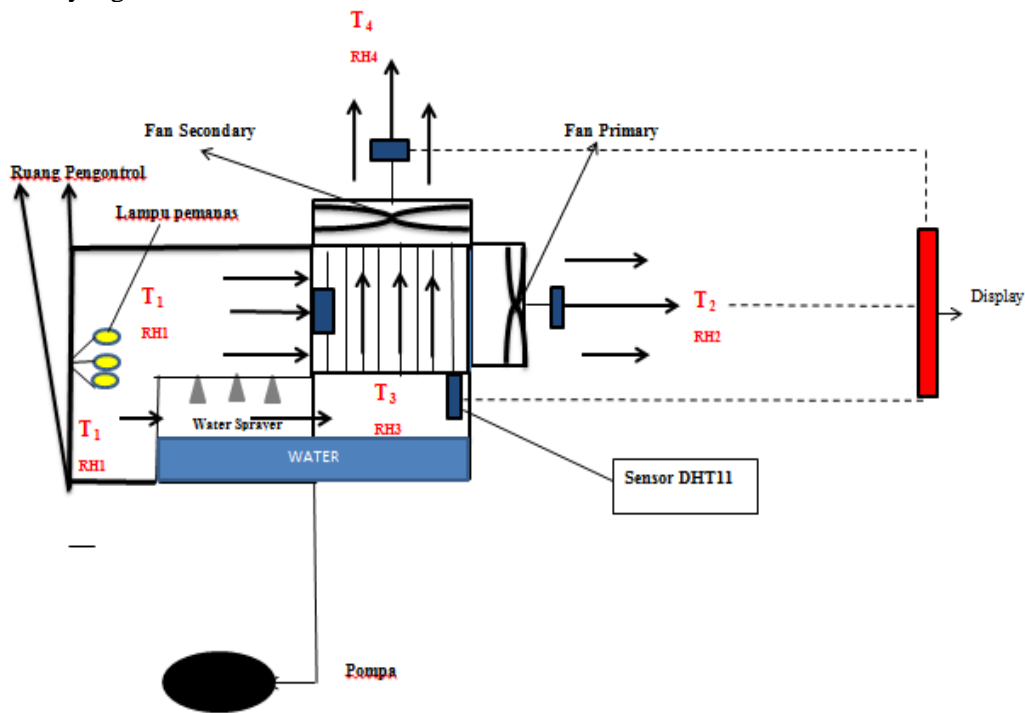
Gambar 4. Alat Indirect evapoorative cooler

Saluran pada IEC, digunakan sebagai tempat terjadinya kontak udara dan semburan air secara

langsung (DEC). Sedangkan alat penukar panas (HE) adalah jenis aliran silang yang terbuat dari

susunan tabung-tabung polos tanpa sirip dengan ukuran 50 x 50 cm dan diameter 2 cm dari bahan alumunium . Udara yang mengalir melalui DEC disebut sebagai udara sekunder, yang berfungsi sebagai pendingin dinding-dinding HE. Sedangkan udara primer adalah udara yang akan didinginkan oleh permukaan HE yang dingin tanpa kontak langsung dengan udara sekunder. Udara primer dan sekunder masing-masing digerakkan oleh sebuah fan terpisah. Sebuah pompa tekanan tinggi debit kecil (pompa RO) digunakan untuk menghasilkan kabut air ,yang kontak dengan udara sekunder agar diperoleh temperatur udara sekunder rendah. Alat ukur pada alat uji terdiri dari termometer dan higrometer yang dipasang pada saluran udara masuk dan keluar. Nosel sprayer penghasil kabut air berdiameter 0,2 mm, dengan tekanan pompa 120 Psia dan debit 1,2 l/menit. Data yang di ambil adalah data

temperatur, kelembaban dan kecepatan atau laju aliran udara. Kecepatan udara atau debit aliran udara diatur dengan merubah bukaaan katub disaluran keluar udara primer dengan merubah posisi bukaan katub 100 % , 75 % dan 50 % . Katub pengatur yang berupa sebuah papan yang dipasang di bagian sisi masuk udara primer. Setiap data diuji selama 120 menit untuk memastikan kondisi stedi. Udara masuk dikontrol pada suhu tetap 31 °C dan RH 50 % dengan pemanasan 3 lampu masing-masing 30 Watt. Adapun detil alat uji dan alat ukur terpasang , ditunjukkan dengan skema pada gambar 5.



Gambar 5. Skema pengujian *indirect evaporative cooler*

Hasil pengujian dan pembahasan.

Penurun temperatur dan kenaikan kelembaban (RH), pada udara sekunder dan primer dari hasil pengujian ditunjukkan pada tabel 1, 2 , 3 dan gambar 6, 7, 8 berikut:

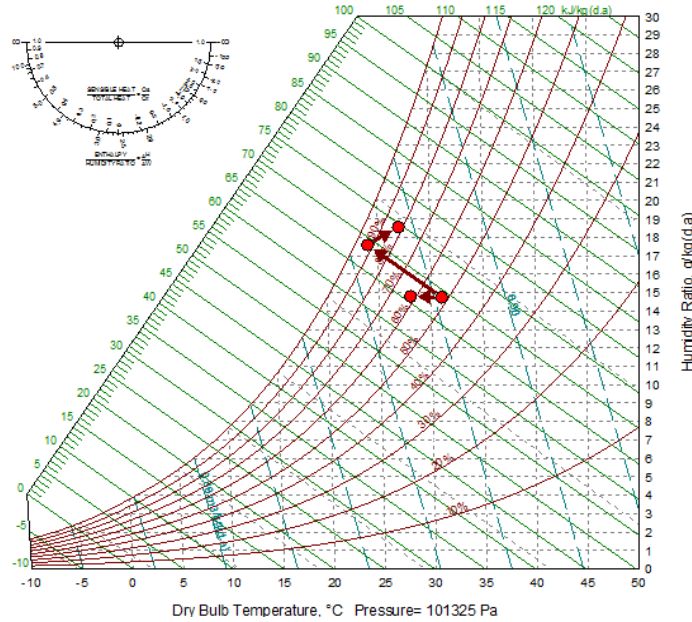
1. Pada bukaan 100%

Dari tabel 1. dan gambar 6 , pada proses 1-2 merupakan proses pendinginan udara primer

dalam IEC (*indirect evaporative cooling*) dan proses 1-3 merupakan proses pendinginan udara sekunder pada DEC (*direct evaporative cooling*). Pada DEC terjadi penurunan temperature hingga 7°C (T1 31°C , RH 52% menjadi T3 24°C , RH 93%) dan pendinginan pada IEC hingga 3 °C (T1 31 °C , RH 52% menjadi T3 28 °C , RH 62%).

Tabel 1. Temperatur , RH dan efektifitas pada bukaan 100 %

Waktu	sensor 1		sensor 2		sensor 3		sensor 4		Efektifitas %		
	RH(%)	T ₁ (°C)	RH(%)	T ₂ (°C)	RH(%)	T ₃ (°C)	RH(%)	T ₄ (°C)	DEC	IEC	HE
120	52	31	62	28	93	24	82	27	80	40	43



Gambar 6. Diagram psikometri temperatur dan kelembaban pada bukaan 100%

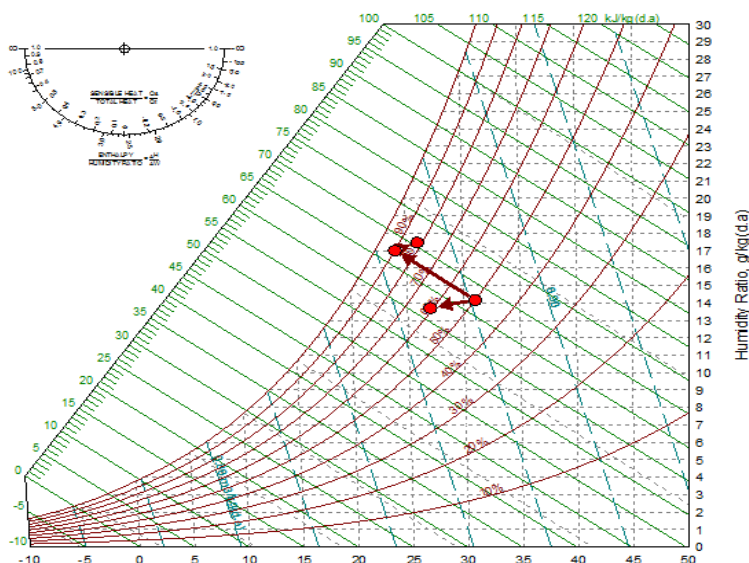
2. Pada bukaan 75%

Seperti pada bukaan katub 100 %, dari tabel 2 dan gambar 7, dapat diketahui bahwa pada bukaan 75 % , pada udara primer terjadi penurunan

temperature 4 °C (T1 31°C , RH 50% menjadi T2 27 °C dengan RH 61%). Sedangkan pada bukaan katub 100 % terjadi penurunan 3 °C

Tabel 2. Temperatur , RH dan efektifitas pada bukaan 75 %

Waktu	sensor 1		sensor 2		sensor 3		sensor 4		Efektifitas %		
	RH(%)	T ₁ (°C)	RH(%)	T ₂ (°C)	RH(%)	T ₃ (°C)	RH(%)	T ₄ (°C)	DEC	IEC	HE
120	50	31	61	27	90	24	82	26	82	50	58



Gambar 7. Diagram psikometri temperatur dan kelembaban pada bukaan 75%

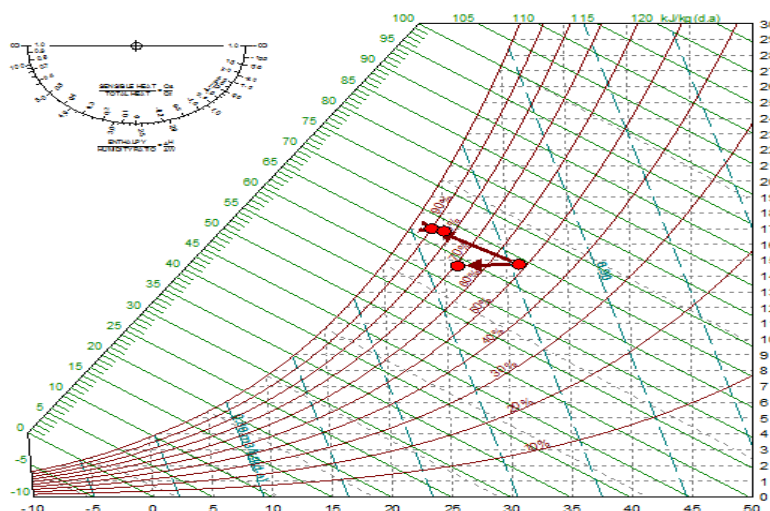
3. Pada bukaan 50%

Pada pengujian dengan debit udara paling kecil (bukaan katub 50 %), diperoleh penurunan temperatur keluaran udara primer yang paling tinggi yaitu 5 °C (T1 31 °C , RH 52 % menjadi T2 26 °C, RH 69 %) . Penurunan temperatur ini lebih besar dari pada aliran pada bukaan 75 %

dan 100 %, yang masing-masing dengan penurunan temperature 4 °C dan 3 °C. Hal ini disebabkan bahwa makin kecil debit udara masuk, maka kontak udara dengan dinding HE lebih lama. Atau dapat dikatakan bahwa by pass factor aliran udara dalam HE makin kecil.

Tabel 2. Temperatur , RH dan efektifitas pada bukaan 50 %

Waktu	Sensor 1		Sensor 2		Sensor 3		Sensor 4		Efektifitas %		
	RH(%)	T ₁ (°C)	RH(%)	T ₂ (°C)	RH(%)	T ₃ (°C)	RH(%)	T ₄ (°C)	DEC	IEC	HE
120	52	31	69	26	90	24	84	25	80	59	71



Gambar 8. Diagram psikometri temperatur dan kelembaban pada bukaan 50%

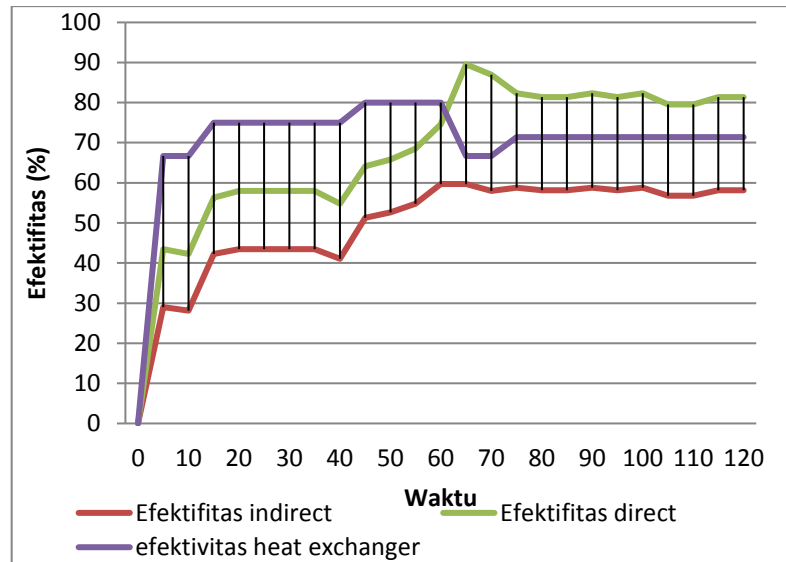
Efektifitas IEC

Grafik hubungan efektifitas terhadap waktu diambil pada data pengukuran penurunan temperature IEC tertinggi yaitu pada bukaan 50 %. Dari gambar 9 dapat dilihat efektifitas alat mencapai kondisi stedi pada menit ke 75. Ada tiga data pengujian yang masing-masing menyatakan efektifitas DEC, IEC dan HE. Efektifitas DEC, IEC dan HE berturut-turut diperoleh sebesar 80%, 59 % dan 71 %.

Dari Tabel 1, 2 dan 3 dapat diketahui bahwa penurunan debit aliran udara primer akan menurunkan temperatur keluar dari IEC. Penurunan ini sekaligus menyatakan bahwa efektifitas IEC akan meningkat dengan penurunan

debit aliran udara primer. Tentu saja bahwa peningkatan efektifitas ini dibatasi pada ketiga debit aliran tersebut diatas. Untuk penurunan debit masa diluar data tersebut tidak kami ketahui (belum kami lakukan pengujian).

Disamping dari debit aliran udara primer, prestasi DEC dan HE berpengaruh terhadap prestasi IEC. Dapat diketahui dari table 1, 2 , 3 dan gambar 6, 7 , 8, terlihat bahwa DEC belum mencapai efektifitas maximum (RH 100 %), sehingga temperature DEC juga belum mencapai yang terendah. Belum maximumnya efektifitas DEC akan mempengaruhi efektifitas HE nya, yang pada gilirannya diikuti efektifitas IEC.



Gambar 9. Grafik perbandingan efektifitas *indirect evaporative cooler*

Kesimpulan

Dari hasil eksperimen *indirect evaporative cooler* (IEC) dengan variasi bukaan katub atau debit aliran udara didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Perubahan bukaan katub pada IEC dapat menurunkan temperatur udara baik pada bukaan katub 100% sebesar 3 °C, untuk bukaan 75% menurunkan temperatur sebesar 4 °C, dan pada bukaan 50% menurunkan temperatur sebesar 5 °C.
2. Pada variasi bukaan 50% didapat efektifitas IEC sebesar 59 % yang merupakan efektifitas tertinggi. Sementara pada bukaan 75 % dan 100 % berturut-turut 50% dan 40 %.
3. Efektifitas IEC juga dipengaruhi oleh efektifitas direct evaporative cooler (DEC) dan heat exchanger (HE). Makin tinggi efektifitas DEC dan HE akan meningkatkan pula efektifitas IEC.

Daftar Pustaka

- [1] Delfani.S, Esmaelien.J and Karami. P.H, 2010. Energy saving potential of an indirect evaporative cooler as a pre-cooling unit for mechanical cooling systems in Iran 42, 2169-2176.
- [2] Jaber. S, Ajib. S, 2011. Evaporative Cooling as an Efficient System in Mediterranean region. Applied thermal engineering 31, 2590-2596
- [3] Wang, Sahn K., 2000, Handbook of Air Conditioning and Refrigeration. 2nd edition, McGraw-Hill Companies, Inc.
- [4] Kachhwaha.S.S, Dhar.P.L and Kale.S.R, 1998. Experimental studies and numerical simulation of evaporative cooling of air with a water spray: part I-Horizontal parallel flow. International journal of heat and mass transfer 41, 447-464
- [5] Kachhwaha .S.S, Dhar,P.L and Kale.S.R, 1998. Experimental studies and numerical simulation of evaporative cooling of air with a water spray: part II-Horizontal counter flow. International journal of heat and mass transfer 41, 465-474
- [6] Heidarinejad. G, Bozorgmehr. M, Delfani. S and Esmaelien .J, 2009. Experimental investigation of two stage indirect/direct evaporative cooling system in various climatic conditions. Building and Environment 44, 2073-2079
- [7] Incropera F.P, De Witt David, 1996. Fundamentals of Heat and Mass Transfer., 4th Edition, John Wiley & Son, New York.