

PENGUJIAN *DIRECT EVAPORATIVE COOLING* POSISI VERTIKAL DENGAN ALIRAN BERLAWANAN ARAH

*Ruben¹, Bambang Yunianto²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: rubenjanapitupulu@gmail.com, b_yunianto@undip.ac.id

Abstrak

Direct evaporative cooling (DEC) merupakan sebuah mesin pendingin yang menggunakan media pendinginan air. Prinsipnya adalah mengontakkan air langsung ke udara dengan tujuan menurunkan temperatur dan menambah kelembaban. Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan temperatur, kelembaban relatif dan efisiensi yang dihasilkan dari alat DEC ini. Sedangkan parameter seperti temperatur dan kelembaban relatif masuk divariasikan pada ruang pengkondisian udara. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa perubahan temperatur keluar berkisar antara 5-11°C dan kelembaban relatif yang dihasilkan berkisar antara 75-82%. Sementara efektifitas yang dicapai berkisar antara 30-100%. Pengujian ini dilakukan pada tiga variasi debit semburan yang menunjukkan bahwa variasi debit semburan yang kecil tidak menunjukkan perbedaan besar pada hasil pengujian.

Kata kunci: *direct evaporative cooling*, efektifitas, kelembaban relatif, pendinginan.

Abstract

Direct evaporative cooling (DEC) is a cooler machine that uses water cooling media. The principle is contacting water directly into air with the aim of lowering the temperature and increasing the humidity. This experiment aims to get the temperature, relative humidity and resulting efficiency which get from this DEC. Whereas parameters such as temperature and relative humidity inlet varied in air conditioning chamber. This experimental results showed that the exit temperature change ranged between 5-11°C and the resulting relative humidity ranged between 75-82%. While effectiveness achieved range between 30-100%. This experimental done in three variations of the discharge sprayer which showed that a small variation of the discharge sprayer showed no major differences in result experimental.

Keywords: *direct evaporative cooling*, effectiveness, relative humidity, cooling

1. Pendahuluan

Evaporative cooler merupakan sebuah mesin pendingin yang menggunakan prinsip *evaporative cooling* yaitu pendinginan dengan media air. *Evaporative cooling* adalah salah satu alat pendingin tertua yang dipakai manusia [1].

Spray air banyak digunakan secara khusus pada perangkat umum teknik, seperti kontrol debu, pemadam kebakaran, pendingin reaktor nuklir, *sprayer* pengering, *scrubbing* udara dan *evaporative cooling*. Pada kondisi panas dan kering, seperti musim panas (kemarau) di India dan belahan dunia lainnya, *evaporative cooling* dari udara merupakan sebuah langkah yang tepat dan hemat energi untuk menghasilkan suasana lingkungan yang nyaman. Selain untuk pendingin udara, alat ini juga berguna untuk mengurangi debu karena partikel air yang dikeluarkan berbentuk butiran kecil sehingga memudahkan mengikat debu berukuran kecil di udara sehingga jatuh ke permukaan [2].

Dalam beberapa tipe pembersih udara, air bertekanan dialirkan melalui nosel dengan desain sedemikian rupa, dimana air yang keluar dari nosel berupa butiran yang halus berbentuk kerucut berongga yang bergerak jatuh dengan kecepatan yang berbeda. Setelah melewati udara sebagian besar akan jatuh ke lantai dan sebagian lagi akan bercampur dengan udara. Air yang jatuh ini menyebabkan perpindahan panas dan massa karena penguapan dan beberapa pendinginan sensibel [2].

Refrigerasi dan pengkondisian udara adalah dua hal yang mempunyai ruang lingkup berbeda tapi saling berkaitan satu sama lain. Pengkondisian udara sendiri mempunyai definisi sebagai proses perlakuan terhadap udara untuk mengatur suhu, kelembaban, kebersihan, dan pendistribusiannya secara serentak guna mencapai kondisi nyaman yang dibutuhkan oleh penghuni yang berada didalamnya. Dengan kata lain, pengkondisian udara juga mencakup perihal usaha pemanasan, seperti pengaturan kecepatan, radiasi termal, dan kualitas udara termasuk penyisihan partikel dan uap pengotor [3].

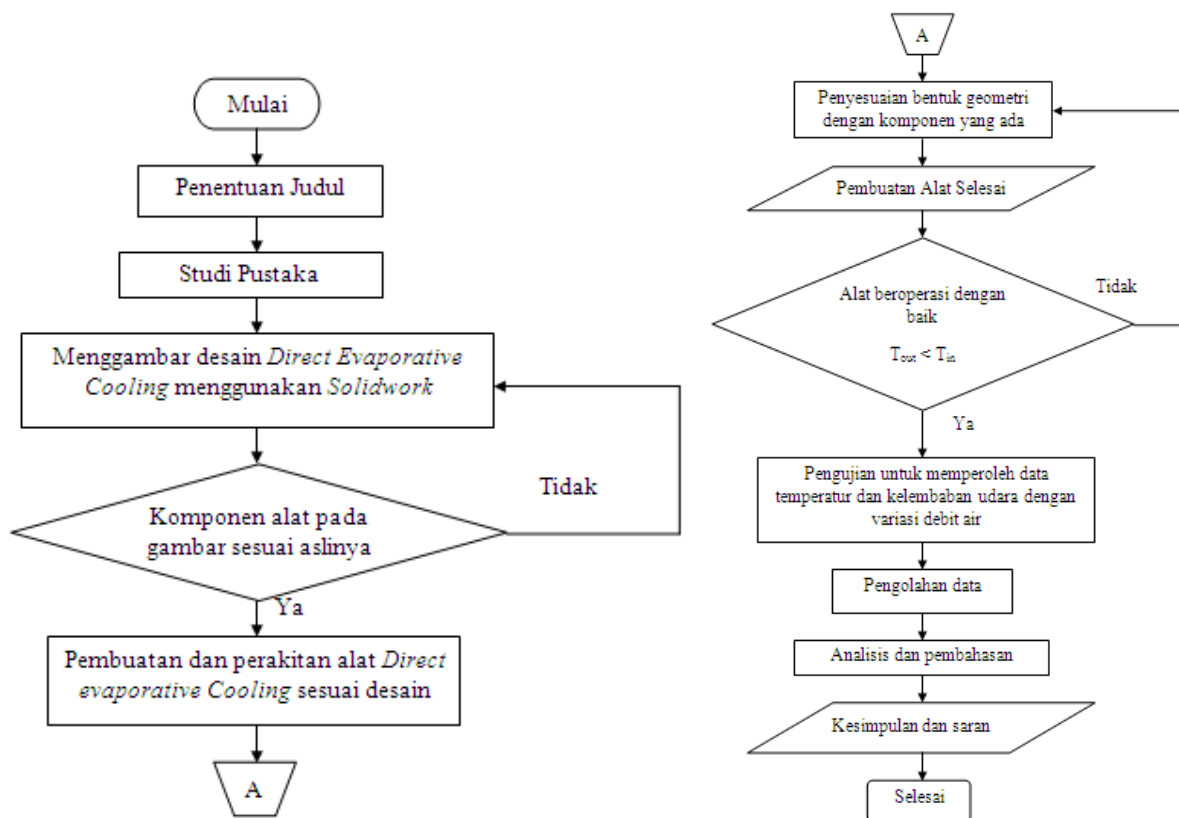
Pada penelitian yang dilakukan oleh Chenguang Shen dan Agwu Nnanna didapatkan sebuah kesimpulan bahwa ada pengaruh antara temperatur udara masuk dengan hasil yang dapat dicapai pada keluar alat *direct evaporative cooling*. Semakin tinggi temperatur udara yang masuk maka akan efisiensi yang dicapai akan semakin tinggi [4].

Pada penelitian yang dilakukan oleh S.S. Kachhwaha, P.L. Dhar dan S.R. Kale menyimpulkan bahwa temperatur udara kering meningkat seiring dengan meningkatnya tekanan yang diberikan pada nosel. Alat yang dipakai memiliki prinsip yang sama yaitu *counter flow* akan tetapi alat ini bekerja secara horizontal, bukan vertikal seperti yang sedang dibahas pada pengujian kali ini [5].

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai temperatur dan kelembaban udara keluaran dari *direct evaporative cooling* dengan posisi vertikal pada aliran berlawanan arah. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk mencari nilai efektifitas dari alat *direct evaporative cooling* posisi vertikal dengan aliran yang berlawanan arah.

2. Metode Penelitian

Metode penelitian adalah langkah-langkah yang digunakan dalam kegiatan penelitian sebagai berikut:

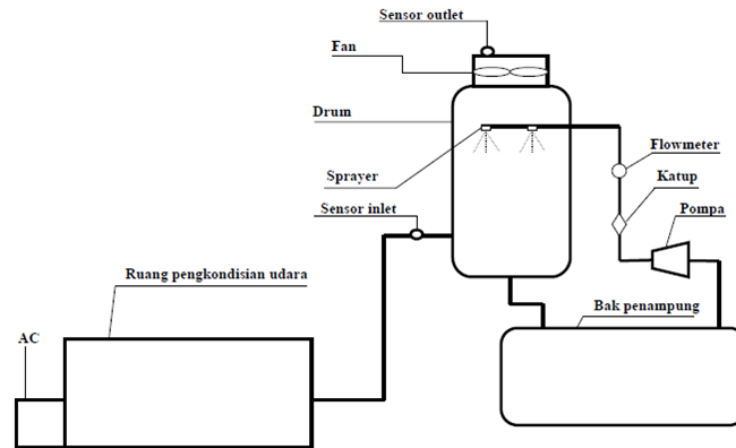


Gambar 1. Diagram alir penelitian

Dimulai dari dilakukan penentuan judul untuk menentukan topik berdasarkan permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini. Kemudian studi pustaka yaitu studi pemahaman mengenai penelitian yang telah dilakukan sebelumnya untuk mempelajari hal-hal yang perlu diperhatikan dalam melakukan sebuah eksperimen. Lalu menggambar desain dengan menggunakan *software Solidwork*, hal ini untuk memudahkan pembuatan alat dan analisa. Komponen sesuai dengan desain, komponen alat yang dipakai memiliki dimensi yang sama dengan gambar. Pembuatan dan perakitan, menggabungkan semua komponen sesuai dengan desain gambar menjadi alat *evaporative cooler*. Penyesuaian bentuk geometri dengan komponen, dalam perakitan komponen menjadi alat membutuhkan penyesuaian bentuk agar sesuai dengan desain. Pengoperasian alat, dilakukan uji coba alat agar mengetahui alat beroperasi dengan baik atau tidak. Parameter yang dipakai yaitu temperatur masuk lebih tinggi dibandingkan temperatur keluar, dan RH masuk lebih rendah dibandingkan RH keluar. Kemudian pengujian dan pengambilan data, melakukan pengujian dan pengambilan data sesuai dengan variasi eksperimen. Lalu masuk ke pengolahan data, hasil eksperimen berupa data kemudian diolah menjadi grafik, gambar dan tabel. Analisis dan pembahasan dengan melakukan analisa dari hasil olahan data dengan mengacu pada referensi dan dasar teori yang dipakai. Pada tahap akhir kesimpulan dan saran, mengambil kesimpulan dari hasil pengolahan data dan analisa. Memberikan saran dari hasil penelitian untuk digunakan pada penelitian selanjutnya.

Penelitian dilakukan selama tiga hari pada tanggal 8, 9 Febuari dan 5 Maret 2015 di ruang B302 Kampus Teknik Mesin Fakultas Diponegoro Semarang. Sedangkan untuk gambar skematik alat *direct evaporative cooling* sendiri terdiri

dari cooling tower dan ruang pengkondisian udara. Terlihat pada Gambar 2, air pada bak penampung akan ditarik oleh pompa melewati katup bukaan dan kemudian keluar melalui kedua nosel *sprayer* yang berada di dalam drum. Air yang tidak menguap akan jatuh ke sisi dasar drum yang telah diberi lubang dan dihubungkan dengan pipa agar air tersebut dapat kembali ke bak penampungan. Sedangkan udara masuk dengan dikondisikan oleh AC (*Air Conditioner*) melewati ruang pengkondisian udara dengan RH dan temperatur yang dikondisikan. Lalu melewati pipa udara yang kemudian dipecah menjadi dua arah sebelum masuk ke drum agar distribusi penyebaran udara merata didalam drum. Lalu udara ditarik keatas (keluar drum) dengan menggunakan *fan*. Pengujian dilakukan pada tiga macam temperatur masuk yaitu 30°C, 35°C dan 40°C, sedangkan untuk kelembaban relatif diatur pada 40-45%, 45-50% dan 55-60%. Temperatur air yang tercatat senilai 27°C dan kecepatan *fan* 4 m/s.



Gambar 2. Diagram skematik alat *direct evaporative cooling*

Sesuai dengan tujuan penelitian, yaitu mencari nilai efektifitas dari alat *direct evaporative cooling* ini dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\%Eff_{adiab} = \frac{DB\ on - DB\ off}{DB\ on - WB\ on} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

DB on = Temperatur bola kering udara masuk (°C)

DB off = Temperatur bola kering udara keluar (°C)

WB on = Temperatur bola basah masuk (°C)

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil dari pengujian berupa temperatur keluar, RH keluar dan efisiensi pendinginan ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 1. Hasil pengujian pada bukaan 1/3

Temp in	Temp Out			RH Out			η		
	RH 40-45	RH 45-50	RH 55-60	RH 40-45	RH 45-50	RH 55-60	RH 40-45	RH 45-50	RH 55-60
30	27	26	27	77	78	75	30	44.4	50
35	27	28	28	77	80	81	72.7	70	87.5
40	30	29	31	79	80	81	83.3	100	100

Tabel 2. Hasil pengujian pada bukaan 2/3

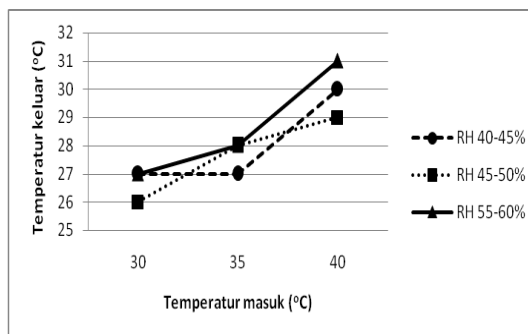
Temp in	Temp Out			RH Out			η		
	RH 40-45	RH 45-50	RH 55-60	RH 40-45	RH 45-50	RH 55-60	RH 40-45	RH 45-50	RH 55-60
30	26	26	27	77	78	77	40	44.4	50
35	27	28	28	78	80	81	72.7	70	87.5
40	29	29	31	80	81	82	83.3	100	100

Tabel 3. Hasil pengujian pada bukaan penuh

Temp in	Temp Out			RH Out			η		
	RH 40-45	RH 45-50	RH 55-60	RH 40-45	RH 45-50	RH 55-60	RH 40-45	RH 45-50	RH 55-60
30	26	25	26	79	79	78	40	55.5	66.7
35	27	27	28	79	81	81	72.7	80	87.5
40	29	29	31	80	81	82	83.3	100	100

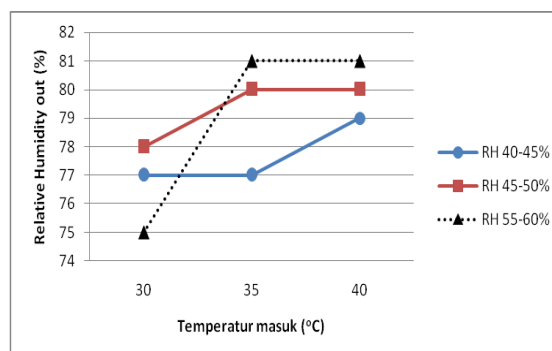
Bila semua hasil pengujian dibandingkan dalam sebuah grafik hasil, maka akan terlihat perbedaan selisih nilai dari temperatur keluar, kelembaban relatif dan efisiensi yang dicapai.

3.1 Analisa Grafik Bukaan 1/3



Gambar 3. Temperatur keluar terhadap temperatur masuk pada bukaan 1/3

Pada Gambar 3 menunjukkan perubahan temperatur keluar terhadap temperatur masuk yang dapat dicapai pada tiap suhu dan RH untuk bukaan $\frac{1}{3}$. Pada gambar dapat dilihat bahwa suhu terendah yang dapat dicapai adalah 26°C, terjadi pada pengujian untuk suhu 30°C pada kelembaban relatif 45-50%. Sedangkan pada temperatur masuk yang sama di kedua kelembaban lainnya hanya mencapai temperatur 27°C. Untuk penurunan temperatur terbesar sendiri terjadi pada temperatur 40°C pada kelembaban relatif 45-50% yaitu 11°C. Pada tiap-tiap hasil ini rata-rata terjadi perubahan yang berbeda yang dapat dicapai, selain faktor temperatur masuk, hal ini juga dipengaruhi pada tingkat kelembaban relatif masuknya. Pada kondisi seperti ini, temperatur yang dapat dicapai paling rendah adalah temperatur bola basahnya dan ini berbeda tergantung dari temperatur masuk dan kelembaban relatif masuknya.

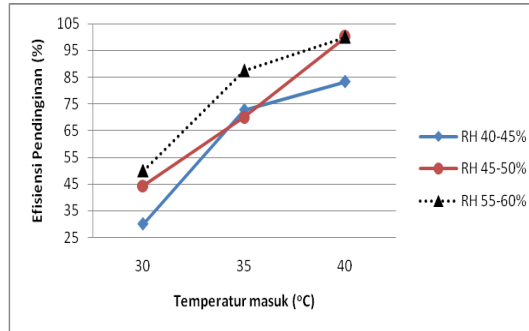


Gambar 4. Grafik perubahan kelembaban relatif keluar terhadap temperatur masuk bukaan $\frac{1}{3}$

Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa rata-rata semakin tinggi temperatur dan kelembaban relatif masuk akan dicapai kelembaban yang tinggi pula. Terlihat pada temperatur 30°C dan 35°C pada kelembaban relatif masuk 55-60%, selisih kelembaban relatif yang dicapai sangat berbeda jauh, pada suhu 30°C hanya naik sebanyak kira-kira 15-20%, sedangkan pada temperatur 35°C naik sebanyak 21-26% dari kelembaban relatif masuk. Akan tetapi, ada sebagian yang tidak naik untuk kelembaban relatif keluarannya, pada temperatur 35°C dan 40°C untuk kelembaban relatif masuk 45-50% dan 55-60%, kelembaban relatif keluarannya sama yaitu 80% untuk kelembaban relatif masuk 45-50% dan 81% untuk kelembaban relatif masuk 55-60%. Dan juga pada temperatur 30°C dan 35°C untuk kelembaban relatif masuk 40-45% memiliki kelembaban relatif keluar yang sama yaitu 77%.

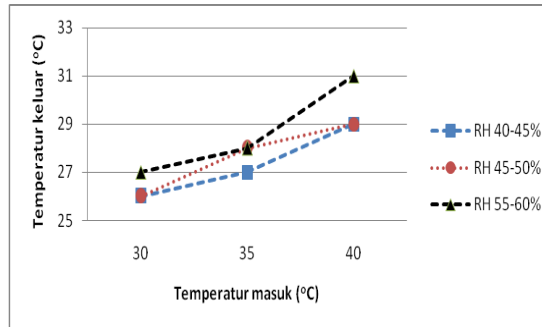
Pada grafik Gambar 5 menunjukkan hubungan efisiensi pendinginan terhadap temperatur masuk untuk bukaan katup $\frac{1}{3}$. Terlihat bahwa terjadi peningkatan efisiensi berbanding lurus dengan peningkatan temperatur masuk. Efisiensi tertinggi terjadi pada temperatur 40°C dengan kelembaban relatif 45-50% dan 55-60% dengan efisiensi 100%. Hal ini

terjadi karena temperatur keluar yang dihasilkan pada pengujian tersebut sama dengan temperatur bola basah. Sedangkan untuk efisiensi terendah yang dihasilkan, terjadi pada pengujian dengan temperatur masuk 30°C dengan kelembaban relatif 40-45% sebesar 30%. Sama halnya pada kelembaban 45-50% dan 56-60% pada temperatur yang sama masing-masing hanya menghasilkan efisiensi pendinginan berturut-turut sebesar 44.4% dan 50%. Secara menyeluruh dapat terlihat bahwa efisiensi 30°C sangat berbeda jauh dengan efisiensi 35°C, ini dikarenakan faktor penurunan temperatur keluar yang terjadi pada pengujian 30°C di semua kelembaban hanya mampu menurunkan 3–4°C, sedangkan pada suhu 35°C mampu menurunkan suhu 7–8°C.



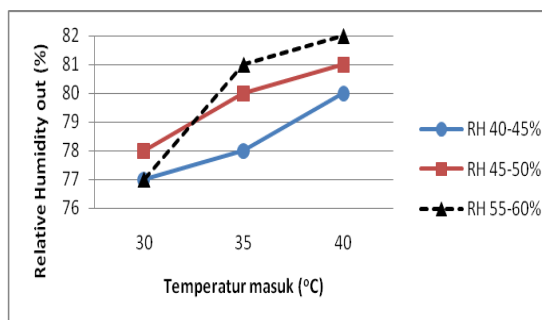
Gambar 5. Efisiensi pendinginan terhadap temperatur masuk pada bukaan 1/3

3.2 Analisa Grafik Bukaan 2/3



Gambar 6. Grafik perubahan temperatur keluar terhadap temperatur masuk pada bukaan katup 2/3

Pada Gambar 6 menunjukkan perubahan temperatur keluar terhadap temperatur masuk yang dapat dicapai pada tiap suhu dan RH untuk bukaan 2/3. Pada gambar dapat dilihat bahwa suhu terendah yang dapat dicapai adalah 26°C, terjadi pada pengujian untuk suhu 30°C pada kelembaban relatif 40-45% dan 45-50%. Sedangkan pada temperatur masuk yang sama pada kelembaban relatif masuk 55-60% hanya mencapai 27°C. Untuk penurunan temperatur terbesar sendiri terjadi pada temperatur 40°C pada kelembaban relatif 40-45% dan 45-50% yaitu 11°C. Sedangkan pada temperatur masuk yang sama pada kelembaban relatif 55-60% hanya mencapai temperatur keluaran 31°C. Pada tiap-tiap hasil ini rata-rata terjadi perubahan yang berbeda yang dapat dicapai, selain faktor temperatur masuk, hal ini juga dipengaruhi pada tingkat kelembaban relatif masuknya. Pada kondisi seperti ini, temperatur yang dapat dicapai paling rendah adalah temperatur bola basah dan ini berbeda tergantung dari temperatur masuk dan kelembaban masuknya.

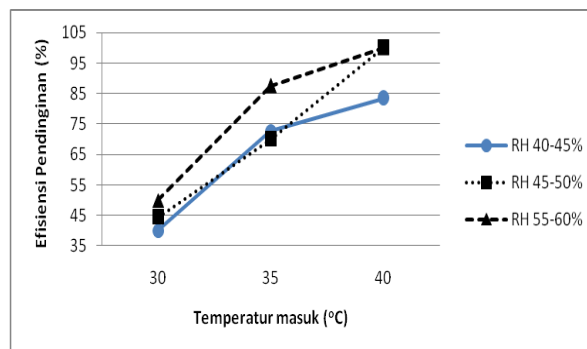


Gambar 7. RH keluar terhadap temperatur masuk pada bukaan 2/3

Pada Gambar 7 dapat dilihat bahwa perubahan kelembaban yang dapat dicapai selalu naik pada tiap variasi temperatur. Pada kasus ini, temperatur 40 untuk kelembaban relatif masuk 55-60% mencapai kelembaban tertinggi yaitu sebanyak 82%. Sedangkan kelembaban relatif yang paling rendah dicapai pada saat temperatur masuk 30 untuk

kelembaban relatif masuk 40-45% dan 55-60% dengan nilai yang sama yaitu kelembaban 77%. Akan tetapi untuk peningkatan tertinggi kelembaban terjadi pada temperatur masuk 30°C pada kelembaban relatif 40-45% yaitu naik sebesar 32-37%. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa daya serap air pada kondisi udara yang kering akan lebih tinggi daripada kondisi udara yang memiliki tingkat kelembaban yang tinggi.

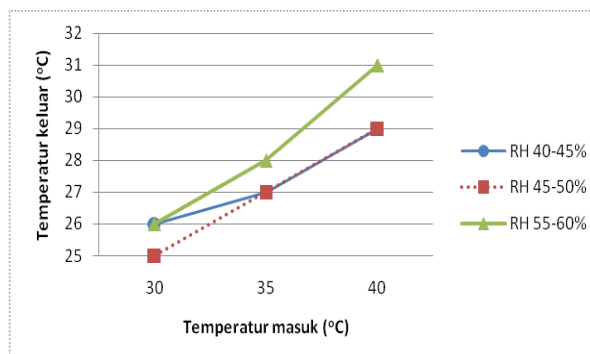
Pada grafik Gambar 8 menunjukkan hubungan efisiensi pendinginan terhadap temperatur masuk bukaan $\frac{2}{3}$. Terlihat bahwa terjadi peningkatan efisiensi yang berbanding lurus dengan peningkatan temperatur masuk dan kelembaban relatif masuk. Terjadi pada temperatur 40°C dengan kelembaban relatif 45-50% dan 55-60% dengan efisiensi 100%. Hal ini terjadi karena temperatur keluar yang dihasilkan pada pengujian tersebut sama dengan temperatur bola basahnya. Sedangkan untuk efisiensi terendah yang dihasilkan, terjadi pada pengujian dengan temperatur masuk 30°C dengan kelembaban relatif 40-45% sebesar 40%. Sama halnya pada kelembaban 45-50% dan 56-60% pada temperatur yang sama masing-masing hanya menghasilkan efisiensi pendinginan berturut-turut sebesar 44.4% dan 50%. Secara menyeluruh dapat terlihat bahwa efisiensi pada temperatur masuk 30°C berbeda cukup jauh dengan temperatur masuk 35°C, yang paling signifikan terlihat pada kelembaban relatif 55-60% yakni selisih sebesar 37.5%. Pada temperatur masuk 35°C, untuk kelembaban relatif 40-45% memiliki efisiensi pendinginan lebih tinggi dibanding kelembaban 55-60% yakni selisih sebesar 2.7%, hal ini juga berlaku untuk bukaan $\frac{2}{3}$.



Gambar 8. Efisiensi pendinginan terhadap temperatur masuk pada bukaan $\frac{2}{3}$

3.3 Analisa Grafik Bukaan Penuh

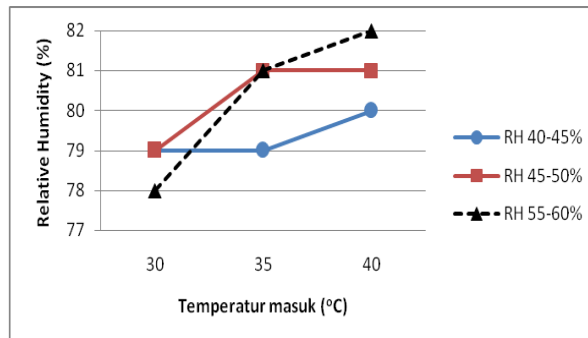
Pada Gambar 9 menunjukkan penurunan temperatur yang dapat dicapai pada tiap variasi di bukaan penuh. Terlihat pada grafik, temperatur terendah yang dapat dicapai adalah 25°C, ini adalah temperatur terendah yang dapat dicapai dari semua variasi pengujian alat *direct evaporative cooling* ini, terjadi pada temperatur masuk 30°C dengan kelembaban relatif masuk 45-50%. Sedangkan pada temperatur masuk yang sama dengan kelembaban relatif lainnya hanya mencapai temperatur keluar 26°C. Sedangkan pada temperatur 35°C dan 40°C untuk kelembaban relatif masuk 40-45% dan 45-50% memiliki nilai temperatur yang sama yaitu 27°C untuk temperatur masuk 35°C dan 29°C untuk temperatur masuk 40°C. Jika dilihat dari hasil pengujian untuk bukaan $\frac{1}{3}$ dan $\frac{2}{3}$, hasilnya memang tidak jauh berbeda. Hal ini bisa disebabkan selisih kelembaban relatif yang kecil, menyebabkan kondisi kering udara masuknya tidak jauh berbeda dibanding kondisi udara dengan kelembaban 55-60% yang terbilang lebih lembab. Sedangkan pada kelembaban relatif masuk 55-60% mencapai temperatur keluar 28°C untuk temperatur masuk 35°C dan 31°C untuk temperatur masuk 40°C.



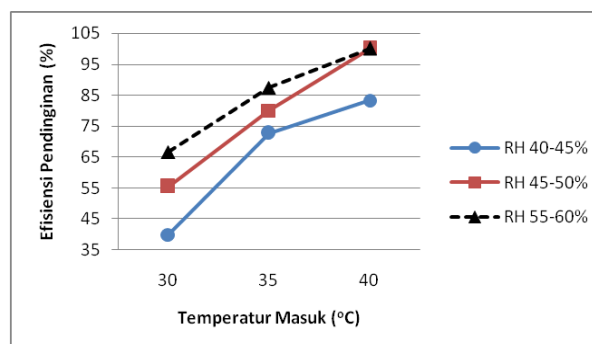
Gambar 9. Grafik perubahan temperatur keluar terhadap temperatur masuk pada bukaan katup penuh

Pada Gambar 10 menunjukkan hasil kelembaban relatif keluaran dari tiap-tiap variasi dibukaan penuh. Terlihat pada temperatur masuk 30°C mencapai kelembaban relatif keluaran terendah yaitu 78% untuk kelembaban relatif masuk 55-60%, sedangkan untuk kelembaban relatif masuk 40-45% dan 45-50% memiliki nilai yang sama yaitu mencapai 79%. Pada temperatur 30°C dan 35°C untuk kelembaban masuk 40-45% tidak ada perbedaan selisih kelembaban, yaitu pada 79%. Sedangkan pada temperatur 35°C untuk kelembaban relatif masuk 45-50% dan 55-60% memiliki nilai kelembaban keluaran yang sama yaitu 81%. Kelembaban relatif keluar tertinggi terjadi pada temperatur 40°C untuk

kelembaban relatif masuk 55-60% yaitu sebesar 82%. Sedangkan untuk temperatur yang sama pada kelembaban relatif masuk 40-45% dan 45-50% masing-masing mencapai 80% dan 81%. Dalam kasus ini dapat dilihat bahwa kenaikan kelembaban relatif tertinggi terjadi pada temperatur masuk 30°C untuk kelembaban relatif masuk 40-45% yaitu naik sebesar 33%-38%.



Gambar 10. Grafik perubahan kelembaban relatif masuk terhadap temperatur masuk pada bukaan katup penuh



Gambar 11. Efisiensi pendinginan terhadap temperatur masuk pada bukaan penuh

Pada grafik Gambar 11 menunjukkan hubungan efisiensi pendinginan terhadap temperatur masuk. Terlihat bahwa terjadi peningkatan efisiensi yang berbanding lurus dengan peningkatan temperatur masuk dan kelembaban relatif masuk. Pada temperatur 40°C dengan kelembaban relatif 45-50% dan 55-60% dengan efisiensi 100%. Hal ini terjadi karena temperatur keluar yang dihasilkan pada pengujian tersebut sama dengan temperatur bola basahnya. Sedangkan untuk efisiensi terendah yang dihasilkan, terjadi pada pengujian dengan temperatur masuk 30°C dengan kelembaban relatif 40-45% sebesar 40%. Sama halnya pada kelembaban 45-50% dan 56-60% pada temperatur yang sama masing-masing hanya menghasilkan efisiensi pendinginan berturut-turut sebesar 55% dan 66.7%. Hal ini menunjukkan bahwa alat ini dapat bekerja lebih baik dalam menurunkan suhu pada temperatur yang tinggi dalam kasus ini terjadi pada temperatur diatas 35°C dengan kelembaban 45-60%.

4. Kesimpulan

Dari hasil pengujian alat *direct evaporative cooling* dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu pengujian *direct evaporative cooling* dapat menurunkan temperatur masuk 5-11°C, semakin tinggi temperatur masuk maka semakin besar suhu yang dapat diturunkan. Untuk kelembaban relatif yang dapat dicapai dari alat *direct evaporative cooling* berkisar antara 75-82%. Semakin tinggi kelembaban relatif masuk pada satu temperatur maka kelembaban relatif keluar cenderung naik. Dalam hal efektifitas, semakin tinggi temperatur masuk maka efisiensi *direct evaporative cooling* semakin tinggi. Selain itu dapat disimpulkan juga bahwa variasi debit kecil tidak menunjukkan pengaruh besar pada perbedaan hasil yang dicapai, mulai dari temperatur, kelembaban maupun efisiensi yang tidak jauh berbeda pada kondisi yang sama untuk tiap bukaan.

5. Daftar Pustaka

- [1] Harris, N.C, 1983, "Modern Air Conditioning Practice", 3rd edition, McGraw-Hill Companies, Inc.
- [2] Kachhwaha, S.S, dkk., 1998, "Experimental studies and numerical simulation of evaporative cooling of air with a water spray - I. Horizontal parallel flow". Jurnal perpindahan panas. Vol. 41, No. 2, pp. 447-464.
- [3] Stoecker, W.F., Jones, J.W., 1989, "Refrigerasi dan Pengkondisian Udara, edisi ke-2", Alih bahasa Ir. Supratman Hara, Jakarta : Erlangga.
- [4] Sheng, C., Nnanna, A.G.A., 2012, "Emperical Correlation of Cooling Efficiency and Transport Phenomena of Direct Evaporative Cooler", Applied Thermal Engineering 4 (2012) 48-55.

- [5] Kachwahha, S.S., Dhar, P.L., Kale, S.R., 1998, “*Experimental studies and numerical simulation of evaporative cooling of air with a water spray - II. Horizontal counter flow*”. Jurnal perpindahan panas. Vol. 41, No. 2, pp. 465-474.