

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

M6-002 Simulasi Pengaruh Parameter (T,V)

Udara Terhadap Laju Dehumidifikasi dengan CFD

Eflita Yohana, Denni Dharmawan

Department of Mechanical Engineering
Diponegoro University

Kampus Undip Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

Phone: +62-24-7460059, FAX: +62-24-7460058, E-mail: efnan2003@yahoo.com

ABSTRAK

Dehumidifikasi merupakan proses penurunan kelembaban udara. Proses ini terjadi di sistem dehumidifier, dimana kelembaban udara (uap air) diserap oleh media penyerap (sorbent) pada saat terjadi kontak dengan udara. Larutan lithium chloride (LiCl) – air (H₂O) dengan konsentrasi antara 28 – 40% digunakan sebagai media sorbent pada simulasi ini.

Pada saat terjadi kontak dengan udara, maka terjadi perpindahan massa uap air dari udara ke larutan akibat perbedaan tekanan parsial uap air. Proses ini mengakibatkan terjadinya penambahan kandungan H₂O di larutan yang menyebabkan penurunan konsentrasi Larutan LiCl. Regenerator digunakan untuk mengembalikan konsentrasi larutan LiCl agar dapat digunakan kembali pada dehumidifier.

Penelitian dengan simulasi software Komputasi Fluida Dinamik (CFD) ini, bertujuan untuk mengetahui pengaruh parameter seperti kecepatan dan temperatur dari udara maupun desiccant dengan berbagai konsentrasi, terhadap laju dehumidifikasi serta temperatur keluarnya. Dari proses simulasi, laju dehumidifikasi mengalami peningkatan seiring dengan kenaikan laju desiccant dan konsentrasi desiccant. Sedangkan temperatur mengalami peningkatan dengan semakin tingginya kecepatan udara dan kecepatan desiccant.

Kata kunci : komputasi, dehumidifier , liquid desiccant.

Nomenklatur		<i>Y</i>	Rasio kelembaban
<i>a</i>	Luas [m ²]		
<i>F</i>	Koefisien perpindahan massa		Greek letter
<i>G'</i>	Laju aliran massa gas	Δ	Selisih
<i>T</i>	Temperatur [°K]	ω	Rasio kelembaban
<i>v</i>	Kecepatan [m s ⁻¹]		
<i>L'</i>	Laju aliran massa cairan		<i>Subscripts</i>
<i>m</i>	Massa [kg]	<i>D</i>	Desiccant
<i>ṁ</i>	Laju aliran massa [kg s ⁻¹]	<i>k</i>	keluar
<i>N_v</i>	Laju aliran molar pada permukaan temu	<i>l</i>	cair
<i>p</i>	tekanan	<i>m</i>	masuk
<i>R</i>	Radius gelembung	<i>u,g</i>	udara
<i>X</i>	Konsentrasi desiccant [%]	<i>de</i>	dehumidifikasi

1. Pendahuluan

Kandungan kelembaban udara tinggi akan memberi dampak negatif bagi kualitas kesehatan manusia, sedangkan di bidang industri, kelembaban tinggi juga dapat mempercepat terjadinya korosi pada peralatan maupun mesin-mesin yang terbuat dari metal dan mempercepat pembusukan produk industri makanan.

Untuk mengatasi kelembaban udara tinggi di atas dapat diatasi dengan cara menurunkan kelembaban udara tersebut, atau disebut dehumidifikasi. Terdapat dua metode untuk menghilangkan atau mengurangi kelembaban dari udara, yaitu refrigerant dehumidifikasi, sorbent dehumidifikasi. Prinsip refrigeran dehumidifikasi yaitu dengan menurunkan temperatur udara sampai dengan titik embunnya. Udara didinginkan dengan mengontakkan pada koil pendingin dimana koil ini menggunakan sistem kompresi uap refrigeran. Namun sistem kompresi uap refrigeran ini boros energi dalam proses kompresi uap yang akan mempengaruhi kondisi global warming saat ini, protokol Kyoto tahun 1997 mengharuskan negara industri mengurangi buangan gas rumah kaca dan karbon dioksida penyebab global warming tersebut.

Prinsip sorbent dehumidifikasi ini melewatkkan udara lembab tersebut pada sebuah media penyerap kelembaban udara (sorbent). Sorbent dalam perkembangannya ada beberapa macam, antara lain absorbent dan adsorbent. Absorbent merupakan sorbent, dimana dalam proses penyerapan uap akan berubah secara fisik dan kimia, biasanya berbentuk cairan seperti Lithium chloride, Ethylene glycols. Sedangkan adsorbent merupakan sorbent yang tidak mengalami perubahan bentuk pada saat proses penyerapan dan biasanya berbentuk padat seperti silica gel, alumina aktif.

Selama proses penyerapan uap air, sorbent tersebut akan mencapai titik jenuh yaitu titik dimana sorbent akan mengalami penurunan kemampuan penyerapan uap air. Untuk dapat di gunakan kembali, sorbent harus di regenerasi ulang. Alat untuk meregenerasi di sebut regenerator. Untuk meregenerasi ulang sorbent, menghilangkan uap air di dalamnya, dapat dilakukan dengan pemanasan. Absorbent seperti silica gel harus di panaskan sampai temperatur 150 °C selama beberapa jam dan ini membutuhkan biaya mahal sedangkan Lithium chloride dapat diregenerasi ulang dengan temperatur rendah 60 °C dengan memanfaatkan panas matahari dan ini sangat ekonomis. Faktor biaya regenerasi sorbent yang murah ini mempengaruhi perkembangan alat dehumidifikasi, dimana liquid sorbent lebih diutamakan.

Proses penyerapan cairan dari udara ke absorbent atau larutan desiccant ini terjadi saat udara dan larutan bersinggungan. Proses ini bergantung pada perbedaan tekanan uap antara udara dan larutan. Sedangkan kesetimbangan tekanan uap dari larutan tergantung pada temperatur dan konsentrasi. Proses penyerapan uap air yang terkandung di dalam udara (dehumidifikasi) ini terjadi jika tekanan uap air parsial pada Lithium Chloride lebih rendah dari pada udara. Penurunan tekanan pada Lithium Chloride ini sejalan dengan kenaikan konsentrasi dan kenaikan tekanan parsial uap air sejalan dengan kenaikan temperaturnya. Sedangkan untuk udara, tekanan uap air partialnya akan naik sejalan dengan kenaikan temperatur udara keringnya dan kelembaban absolutnya.

Eflita Yohana.,[5] melakukan penelitian dan analisa teoritis sistem dehumidifikasi dengan liquid desiccant. Dengan paked tersusun acak proses absorpsi terjadi sejalan dengan terjadinya

perpindahan massa dan panas akibat kontak langsung. Dari penelitian tersebut didapatkan nilai koefisien perpindahan massa dan panas antara udara lembab dan larutan desiccant.

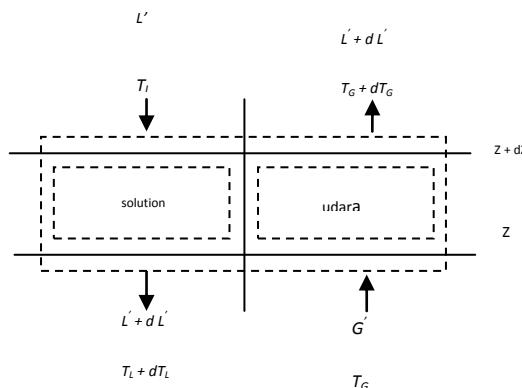
Yonggao Yin.,[7] melakukan penelitian pengaruh perubahan kelembaban dan temperatur udara, temperatur dan konsentrasi larutan desiccant terhadap laju dehumidifikasi dan regenerasi. Dari penelitiannya didapat kondisi kelembaban udara masuk yang tepat untuk efisiensi maksimal tower.

Penelitian dengan software CFD di harapkan dapat melihat karakteristik udara yang keluar akibat dari variasi kondisi masuk udara, selain itu dapat juga mempersingkat waktu dan biaya yang digunakan untuk mendesain sebuah package layer dehumidifier sesuai dengan kebutuhan.

2. Model matematika perpindahan massa

Model teoritis dari packed ini berdasarkan pada asumsi sebagai berikut :

1. Sistem bekerja pada kondisi adiabatis
2. Tahanan termal pada fase cair di abaikan
3. Perpindahan panas dan massa terjadi antara aliran udara dan larutan
4. Luasan permukaan temu udara dan larutan sama pada proses perpindahan panas maupun massa



Gambar 1. Diferensiasi bagian dari paked layer

Persamaan konservasi massa untuk air :

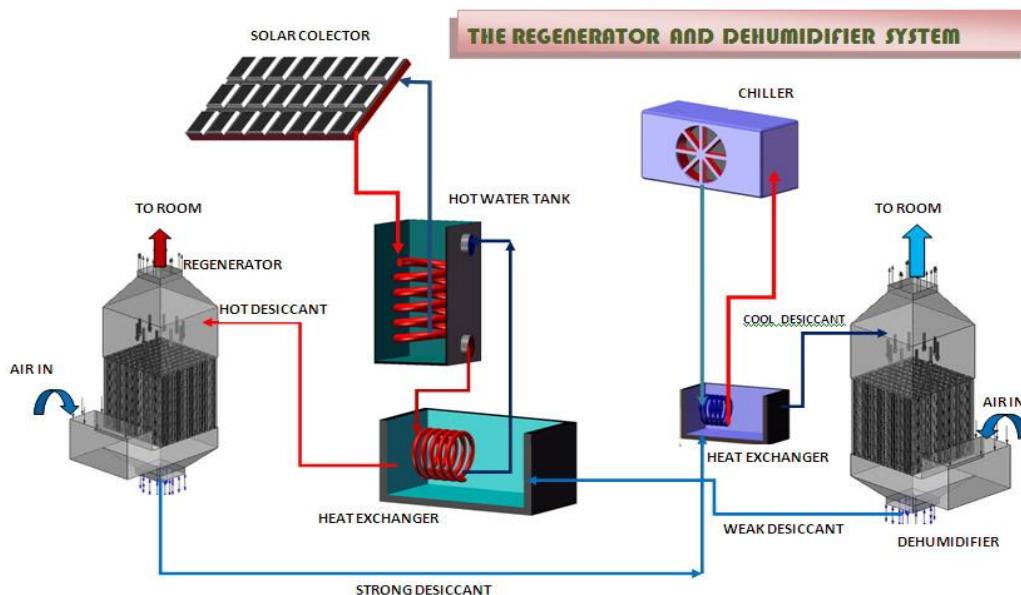
$$dL' = G' dY \quad (1)$$

Laju aliran molar pada permukaan temu :

$$N_V = F_G \ln \left[\frac{(1-Y_{M_i})}{(1-Y_M)} \right] \quad (2)$$

Rasio kelembaban :

$$Y_m = \frac{p_{vG}}{p_t} = \frac{Y}{(Y + \frac{M_v}{M_G})} \quad (3)$$



Gambar 2 Instalasi sistem dehumidifikasi dan regenerasi

sehingga :

$$N_V = F_G \ln \left[\frac{(1-p_{vL}/p_t)}{1-p_{vG}/p_t} \right] \quad (4)$$

Model komputasi ansys

Pada simulasi ANSYS ini digunakan model persamaan kavitas – kondensasi untuk memodelkan perpindahan massa yang terjadi akibat perbedaan tekanan uap parsial fluida udara dan larutan. Kecenderungan suatu aliran menjadi kavitas ditandai oleh bilangan kavitas yang digambarkan sebagai :

$$Ca = \frac{p - p_v}{\frac{1}{2} \rho U^2} \quad (5)$$

Pada model kavitas sederhana, perpindahan massa diatur sepenuhnya oleh efek mekanik, yang dinamakan perbedaan tekanan uap – cairan, dari pada efek panas. Pada ANSYS CFX, model *rayleigh - plesset* diimplementasikan untuk model perpindahan massa antar fasa. Persamaan *rayleigh - plesset* menyediakan dasar persamaan kontrol laju terjadinya uap dan kondensasi, yang digambarkan sebagai :

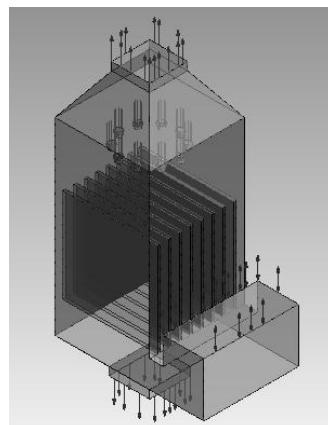
$$R_B \frac{d^2 R_B}{dt^2} + \frac{3}{2} \left(\frac{dR_B}{dt} \right)^2 + \frac{2\sigma}{\rho_f R_B} = \frac{p_v - p}{\rho_f} \quad (6)$$

3. Metodologi Penelitian

Seperti pada gambar 2, merupakan salah satu contoh sebuah rangkaian instalasi pengkondisian udara. Sebuah dehumidifier digunakan untuk menurunkan kelembaban dan regenerator untuk meregenerasi larutan desiccant. Pada proses dehumidifikasi, cooling tower / chiller, digunakan untuk mendinginkan larutan desiccant sebelum masuk alat. Dan blower pada sisi outlet dehumidifier digunakan untuk menghisap udara di dalam dehumidifier untuk di masukkan ke ruang yang akan dikondisikan.

Pada simulasi dengan *software CFD* ini, dehumidifier di rancang seperti pada gambar 3. Desiccant masuk dengan konsentrasi 28%, kecepatan masuk antara 2 m/s dan temperaturnya antara 278 K.

10 buah nossil digunakan untuk penyebaran larutan desiccant. Kemudian udara dengan kecepatan bervariasi antara 10 – 40 m/s dengan rasio kelembaban 16 gr/kg masuk ke dalam alat melalui sisi samping bawah dan keluar melalui sisi atas.



Gambar 3 Rancangan simulasi

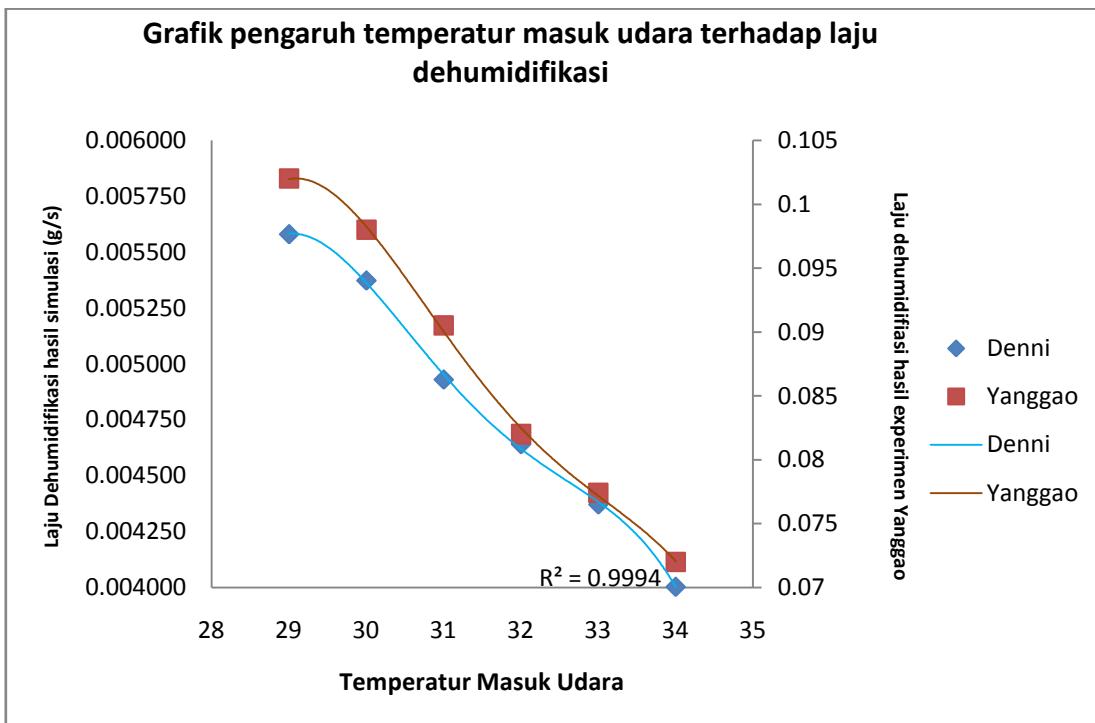
Untuk menghitung laju dehumidifikasi ini digunakan persamaan berikut :

$$m_{deh} = \dot{m} \cdot \Delta\omega \quad (7)$$

$$m_{deh} = v \cdot a \cdot \rho \cdot (\omega_{in} - \omega_{out}) \quad (8)$$

4. Validasi

Pada tahap validasi ini, digunakan hasil eksperimen Yanggao “*Experimental study on dehumidifier and regenerator of liquid dessicant cooling air conditioning system*” sebagai pembanding hasil simulasi.



Gambar 4. Grafik hasil perbandingan simulasi dan eksperimen Yanggao

Tabel 1 merupakan tabel data perbandingan hasil antara eksperimen dan simulasi, dengan nilai *error* dari tiap variasi temperatur udara. Dari nilai tersebut didapat besar perbedaan nilai laju dehumidifikasi antara simulasi dengan eksperimen sebesar 5,75%

Tabel 1
Perbandingan laju dehumidifikasi

Temperatur Masuk udara	Laju Dehumidifikasi simulasi	Laju dehumidifikasi Percobaan Yanggao	Error
29	0,005580	0,102	7,00%
30	0,005373	0,098	6,80%
31	0,004930	0,0905	7,40%
32	0,004640	0,082	3,80%
33	0,004371	0,0774	4,00%
34	0,004002	0,072	5,50%

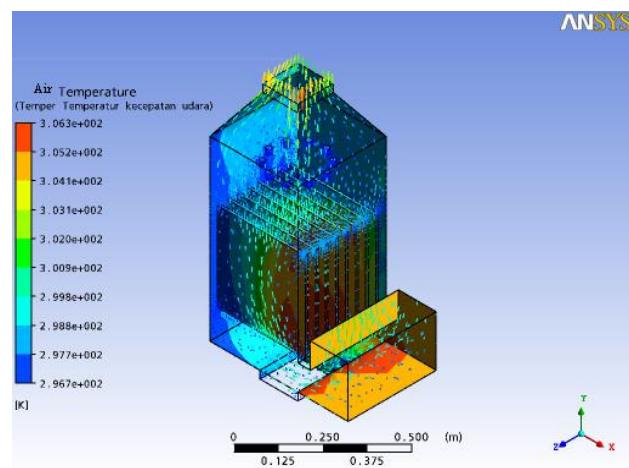
err. Rata-rata = 5,75%

5. Hasil dan Pembahasan

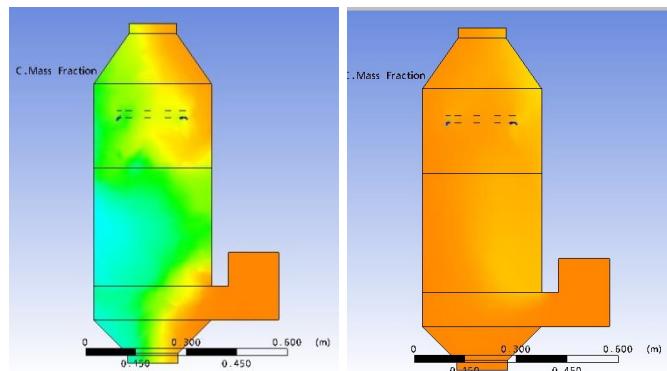
Dari simulasi ini dapat ditampilkan hasilnya berupa grafik, gambar plane maupun vektor kecepatan dari masing – masing komponen fluida. Dari gambar ini dapat diketahui perubahan laju dehumidifikasi dari tiap perubahan kondisi masuk baik udara maupun *desiccant*.

• Variasi kecepatan udara

Gambar 7 menunjukkan kenaikan kecepatan udara menyebabkan kenaikan laju dehumidifikasi namun terjadi penurunan $\Delta\omega$, yang berarti penurunan efektifitas alat. Penurunan ini disebabkan waktu kontak udara dengan



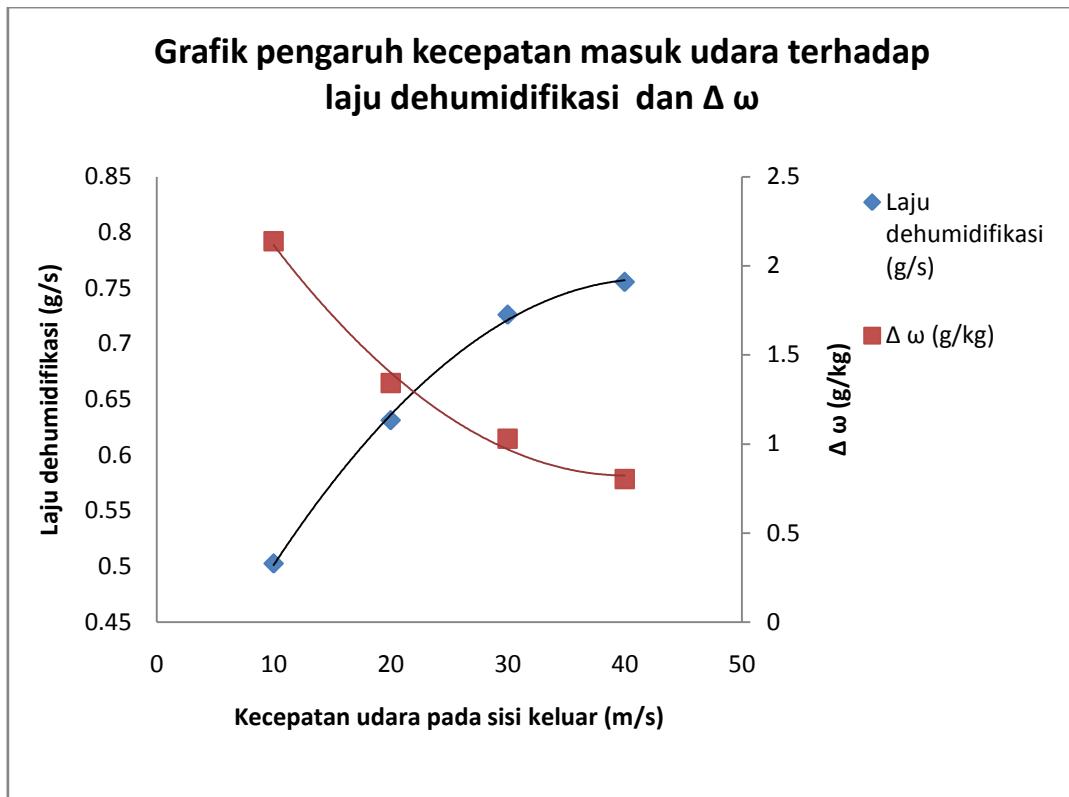
Gambar 5. Kontur temperatur dehumidiifer dan arah aliran udara dengan temperatur 32°C dan *lithium chloride* 25°C konsentrasi 40%



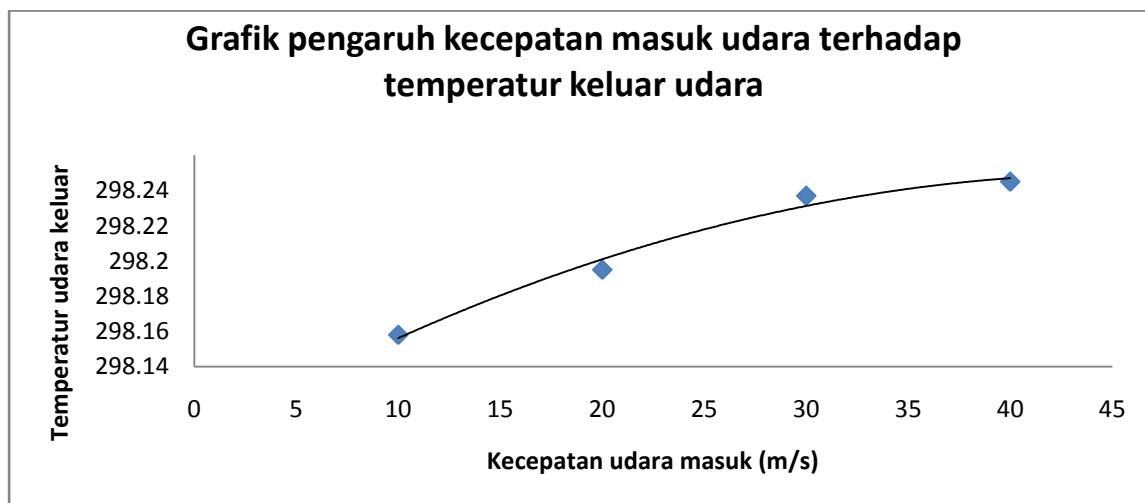
Gambar 6. perbedaan plane distribusi kelembaban kecepatan udara 20 dan 50 m/s pada konsentrasi desiccant 30%

desiccant semakin pendek, sehingga penyerapan uap air pada udara sangat sedikit.

Sedangkan temperatur keluar udara mengalami peningkatan, seperti pada gambar 6, karena panas yang harus di serap oleh larutan *desiccant* semakin banyak seiring peningkatan kecepatan udara, sedangkan laju *desiccant* tetap.



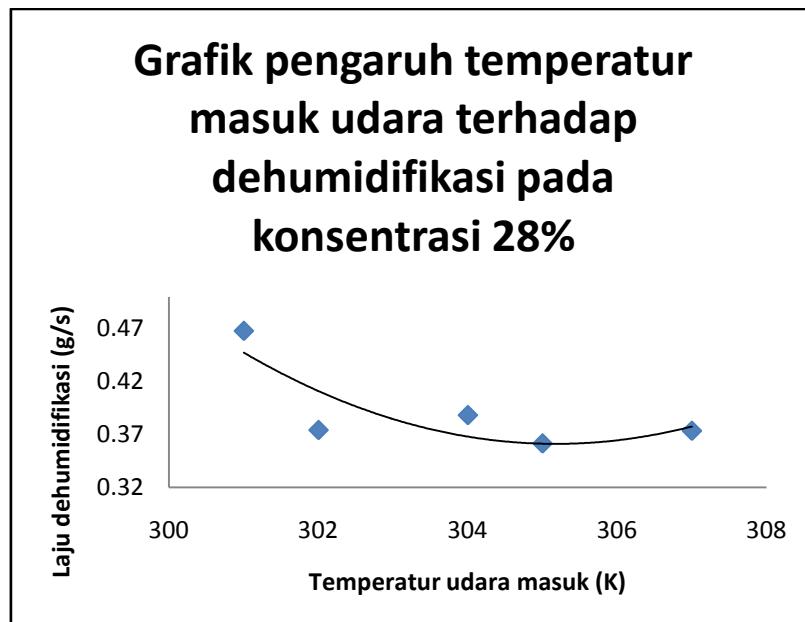
Gambar 7 Grafik pengaruh kecepatan masuk udara pada laju dehumidifikasi



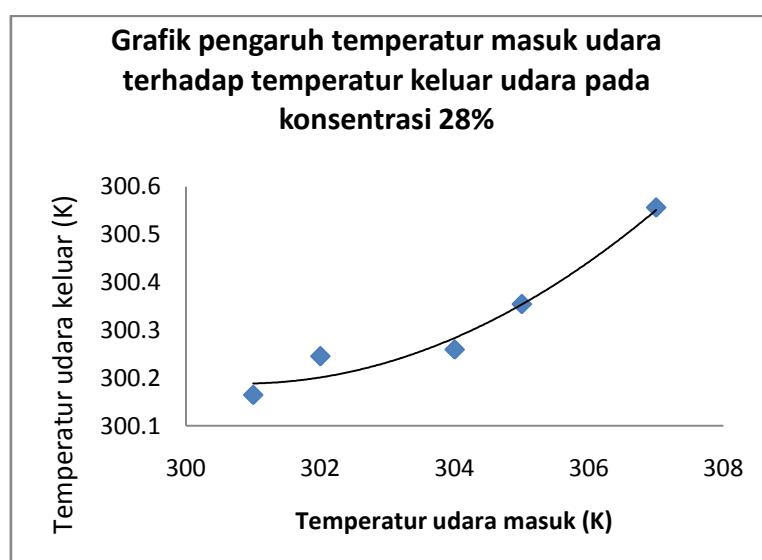
Gambar 8. Grafik temperatur outlet udara

- **Variasi temperatur masuk udara**

Pada gambar 9 terlihat pengaruh dari temperatur masuk udara. Dimana semakin meningkat temperatur, semakin menurun laju dehumidifikasinya. Penurunan ini disebabkan oleh peningkatan temperatur udara yang menyebabkan temperatur *desiccant* juga mengalami kenaikan. Seiring dengan peningkatan temperatur *desiccant*, maka tekanan uap parsial *desiccant* juga meningkat sehingga beda tekanan uap antara udara dan desiccant semakin kecil mengakibatkan perpindahan massanya juga kecil. Selain itu efek kenaikan temperatur masuk udara juga berpengaruh pada temperatur keluarnya, dimana terjadi peningkatan.



Gambar 9. Grafik pengaruh temperatur masuk udara terhadap dehumidifikasi



Gambar 10. Grafik temperatur keluar udara

5. Kesimpulan

Dapat dilihat dari pembahasan sebelumnya, kenaikan dari kecepatan udara akan meningkatkan laju dehumidifikasi secara signifikan. Pada variasi kecepatan udara terjadi kenaikan laju dehumidifikasi sebesar 50,3 % , Penurunan terjadi pada saat temperatur udara mengalami kenaikan. Pada variasi kenaikan temperatur terjadi penurunan laju dehumidifikasi sebesar 20,21 %.

Dari hasil tersebut di dapatkan hubungan parameter masuk udara pada alat dehumidifier terhadap hasil keluarannya, sehingga dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam perancangan sebuah alat dehumidifier.

Daftar pustaka

1. ANSYS - CFX, *ANSYS CFX-Solver Modeling*, ANSYS Inc, 2006
2. ANSYS - CFX, *ANSYS CFX – Pre User’s Guide*, ANSYS Inc, 2006
3. ANSYS - CFX, *ANSYS CFX-Solver Theory Guide*, ANSYS Inc, 2006
4. Holman, J. P. Alih bahasa Jasjfi, E. Ir. MSc. *Perpindahan Kalor*. Penerbit Erlangga. Jakarta. 1988
5. Eflita Yohana, Ji Won, Choi, Kwan Hwa, and Kim, Jong Ryeol., *Prediction of Heat and Mass Transfer Coefficient in Regenerating and Dehumidifying Process at Packed Layer With a Using Solar Desiccant Cooling System*, Proceedings of International Conference on Fluid and Thermal Energy Conversion (2006) 0854-9346.
6. Treybal, Robert E.. *Mass Transfer Operations Third Edition*. Delmar Publishers Inc. New York. 1991
7. Yonggao Yin, Xiaosong Zhang, and Zhenqian Chen, *Experimental Studies on Dehumidifier and Regenerator of a Liquid Desiccant Cooling Air Conditioning System*, ScientDirect, (2005) 0306-1323