

PENGARUH TEMPERATUR CaCl_2 TERHADAP EFISIENSI *THERMAL* DARI *LIQUID DESICCANT DEHUMIDIFICATION SYSTEM*

Slamet Wahyudi, Nurkholis Hamidi dan Figur Kamajaya
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia
E-mail : slamet_w72@yahoo.co.id

ABSTRAK

Pengondisian udara pada tempat-tempat yang memiliki keadaan udara yang panas dan lembab, amatlah dibutuhkan. Hal ini dilakukan mengingat faktor kenyamanan yang dirasakan oleh penghuninya. Pada perkembangan berikutnya pengaturan kelembaban bukan hanya dipakai untuk kenyamanan belaka namun juga dipakai dalam berbagai proses seperti pengeringan. Sasaran utama yang hendak dicapai dalam pengondisian udara adalah penurunan kelembaban, kelembaban relatif berkisar 40%-70%. *Desiccant Dehumidification System (DDS)* adalah alternatif yang layak dipakai saat ini. Proses dehumidifikasi merupakan suatu proses penurunan kadar air dalam udara. Sedangkan *desiccant* adalah suatu zat yang dapat menyerap uap air yang terdapat dalam udara (higroskopis). Untuk meningkatkan proses dehumidifikasi, bisa dengan berbagai cara, salah satunya adalah dengan memvariasikan kecepatan udara inlet dan temperatur *desiccant* yang disemprotkan ke dalam sistem. Dalam penelitian ini digunakan metode eksperimental. Pada penelitian ini digunakan *wiper washer assy* sebagai alat bantu untuk memompakan *desiccant* dari penampung yang akan disemprotkan melalui *spray nozzle*. Variasi kecepatan udara inlet yang digunakan sebesar 1,439 m/s; 1,554 m/s; 1,661 m/s; 1,857 m/s dan 1,948 m/s. Sedangkan variasi temperatur *desiccant* yang disemprotkan ditentukan sebesar 40 °C, 50 °C dan 60 °C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar kecepatan udara inlet dan temperatur *desiccant* yang disemprotkan maka *transfer* energinya semakin tinggi karena uap air yang diikat *desiccant* semakin banyak. Dari peningkatan *transfer* energi maka akan diiringi peningkatan efisiensi *thermal* dari sistem. *Transfer* energi tertinggi yaitu 1,654 kJ/s didapatkan pada kecepatan udara inlet sebesar 1,948 m/s dan temperatur *desiccant* 60 °C. Sedangkan efisiensi *thermal* terbesar yaitu 92,3 % didapatkan pada kecepatan udara inlet sebesar 1,948 m/s dan temperatur *desiccant* 60 °C.

Kata kunci : temperatur *desiccant*, dehumidifikasi, *transfer* energi, efisiensi *thermal*

PENDAHULUAN

Latar belakang

Pengondisian udara pada tempat-tempat yang memiliki keadaan udara yang panas dan lembab, amatlah dibutuhkan. Hal ini dilakukan mengingat faktor kenyamanan yang dirasakan oleh penghuninya. Proses pengondisian udara dapat diartikan sebagai proses perlakuan terhadap kondisi suatu udara untuk mengatur suhu, kelembaban dan proses pendistribusiannya sehingga dicapai kondisi nyaman yang dibutuhkan oleh penghuni yang berada di dalam suatu ruangan. Pada perkembangan berikutnya pengaturan kelembaban bukan hanya dipakai untuk kenyamanan belaka namun juga dipakai dalam berbagai proses seperti pengeringan.

Sasaran utama yang hendak dicapai dalam pengondisian udara adalah penurunan kelembaban, kelembaban relatif berkisar 40%-70%. Udara dengan kelembaban tinggi, kuantitas uap airnya dalam udara sangat tinggi dan berpotensi menyebabkan korosi. Selain itu, udara yang lembab juga menyebabkan bakteri tumbuh subur sehingga dapat merusak kesehatan.

Peralatan yang telah dikembangkan untuk tujuan penurunan kelembaban secara konvensional adalah memakai koil pendingin. Namun dengan penurunan kelembaban secara konvensional memiliki beberapa kekurangan yaitu terjadi pengumpulan air kondensasi yang dapat menimbulkan masalah lain seperti pertumbuhan bakteri, energi yang dipakai juga sangat



besar jika menggunakan sistem pendinginan konvensional.

Pertimbangan-pertimbangan yang harus dimiliki oleh alat pengondisi udara adalah hemat energi, tujuan pengondisian udara terpenuhi dan yang paling penting adalah ramah lingkungan. Oleh sebab itu, perlu dicari solusi yang lebih baik sebagai alternatif untuk sistem penurunan kelembaban yang selain hemat energi juga ramah lingkungan.

Desiccant Dehumidification System (DDS) adalah alternatif yang layak dipakai saat ini. *Desiccant* adalah suatu zat yang dapat menyerap uap air yang terdapat dalam udara (higroskopis). Ada dua jenis *DDS*, yaitu *liquid* dan *solid DDS*. *DDS* banyak digunakan karena lebih ekonomis dan mampu menghasilkan kapasitas udara yang besar. Contoh dari *liquid desiccant* antara lain LiCl, LiBr, dan CaCl₂.

Liquid DDS bekerja dengan sistem percampuran dan pertukaran kalor kontak langsung (*direct contact heating principles*), dimana udara dengan temperatur ruangan disinggungkan secara langsung dengan *desiccant*. Karena kalor berpindah pada fluida yang mengalir, maka pada sistem terjadi perpindahan kalor secara konveksi.

Beberapa parameter yang mempengaruhi pengondisian udara antara lain konsentrasi *desiccant*, temperatur *desiccant*, kelembaban udara masuk dan laju aliran udara (Fumo, 2000). Pada penelitian ini, kelembaban udara diturunkan dengan menyempatkan *desiccant* menuju aliran udara. Alat yang digunakan adalah *wind tunnel* yang berfungsi untuk mengalirkan udara dari lingkungan menuju sistem dan *spray nozzle* untuk menyempatkan *desiccant* sebagai penurun kelembaban udara. Proses penurunan kelembaban terjadi akibat adanya *transfer* massa (berupa uap air) dari udara ke *desiccant*. Perpindahan massa tersebut juga diikuti dengan *transfer* kalor. Semakin besar *transfer* kalor yang dihasilkan, maka efisiensi *thermal* juga akan semakin meningkat.

Oleh karena perpindahan kalor mengalir dari temperatur tinggi ke rendah maka temperatur *desiccant* dikondisikan lebih tinggi daripada temperatur udara masuk. Pada temperatur *desiccant* yang berbeda akan menghasilkan *transfer* kalor yang berbeda pula. Oleh karena itu, perlu diteliti pengaruh temperatur *desiccant* yang disempatkan ke dalam sistem terhadap *transfer*

kalor yang dihasilkan sehingga dapat diperoleh efisiensi *thermal* yang optimal.

TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian Sebelumnya

Nelson Fumo dan Yogi Goswami (2000) melakukan penelitian eksperimental mengenai pengondisian udara dengan sistem *desiccant* menggunakan *Lithium Chloride* (LiCl) cair. Sistem dehumidifikasi menggunakan *liquid desiccant* ini memiliki lebih banyak keuntungan daripada sistem dehumidifikasi menggunakan *solid desiccant*. Pada sistem dehumidifikasi menggunakan *liquid desiccant*, kontak antara *liquid desiccant* dan udara akan menghasilkan *transfer* massa dan kalor yang baik. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui performansi sistem dehumidifikasi menggunakan *Lithium Chloride* (LiCl) cair sebagai *liquid desiccant*. Kesimpulan dari penelitian ini adalah terdapat beberapa parameter yang mempengaruhi performansi dehumidifikasi secara signifikan, yaitu laju aliran udara, rasio kelembaban, temperatur *desiccant* dan konsentrasi *desiccant*. Proses dehumidifikasi dinyatakan dengan besarnya laju kondensasi. Laju kondensasi akan meningkat seiring meningkatnya laju aliran udara. Semakin tinggi laju aliran udara maka *transfer* massa akan semakin meningkat sehingga rasio kelembaban juga akan semakin besar.

Dehumidifier

Dehumidifier digunakan untuk menurunkan kelembaban udara melalui proses dehumidifikasi. Proses dehumidifikasi merupakan suatu proses penurunan kadar air dalam udara. Ditinjau dari cara kerjanya, terdapat beberapa jenis *dehumidifier*, antara lain : *Heat Pump Dehumidifier*, *Chemical Adsorbent Dehumidifier* dan *Dehumidifying Ventilators*

Desiccant cair

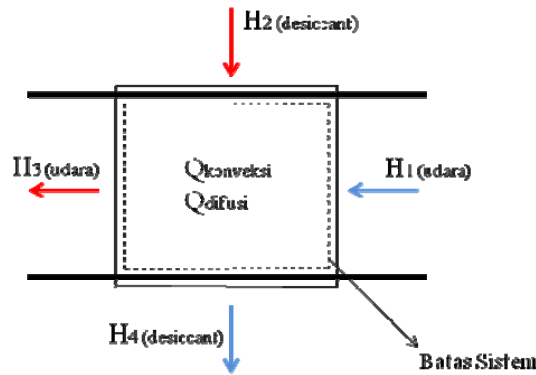
Desiccant cair yang biasa digunakan adalah larutan LiCl (*Lithium Chloride*), LiBr (*Lithium Bromide*), CaCl₂ (*Calcium Chloride*) atau TEG (*Triethylene Glycol*). *Desiccant* memiliki tekanan parsial



uap air yang lebih rendah daripada udara proses sehingga mampu menyerap uap air dari udara proses. Dalam penelitian ini, *desiccant* yang digunakan adalah larutan CaCl_2 50% dengan basis massa. Artinya bahwa dalam 1 kg larutan *desiccant* terdapat 0,5 kg CaCl_2 . Cara pembuatannya adalah dengan melarutkan tiap 0,5 kg CaCl_2 *anhydrous* dengan pelarut berupa air sebanyak 0,5 kg.

Kesetimbangan Kalor pada Sistem

Udara dengan temperatur ruangan dialirkan ke dalam sistem dengan menggunakan blower yang kemudian disinggung dengan partikel *desiccant* yang memiliki temperatur lebih tinggi daripada temperatur udara. Udara bersinggungan dengan partikel *desiccant* secara langsung sehingga timbul proses *transfer* kalor antara kedua zat tersebut. Gambar 1 menunjukkan kesetimbangan kalor yang terjadi di dalam *dehumidifier*.



Gambar 1 : Kesetimbangan kalor pada *Dehumidifier*

Keterangan :

H_1 : Laju kalor udara yang masuk ke dalam sistem [watt]

H_2 : Laju kalor *desiccant* yang masuk ke dalam sistem [watt]

H_3 : Laju kalor udara yang keluar dari sistem ($H_1 - Q_{diff} + Q_{conv}$) [watt]

H_4 : Laju kalor *desiccant* yang ditampung ($H_2 + Q_{diff} - Q_{conv}$) [watt]

Perpindahan panas total pada *dehumidifier* terdiri dari dua komponen perpindahan panas, yaitu :

a. Perpindahan Kalor Difusi (q_d) terjadi antara udara dengan *desiccant*, dimana udara bercampur dengan partikel *desiccant*. Pada proses ini terjadi perubahan fasa dimana partikel *desiccant* menyerap uap air sehingga terjadi penurunan kelembaban udara akibat pengurangan massa uap air dari udara.

b. Perpindahan Kalor Konveksi (q_c) terjadi pada media yang bergerak dimana udara dan *desiccant* temperaturnya berbeda dan saling bersinggungan. Pada

penelitian ini, proses konveksi terjadi dari *desiccant* ke udara. Besarnya nilai kalor yang berpindah tergantung pada beda temperatur fluida yang bersinggungan (ΔT), koefisien konveksi (h) dan luas permukaan perpindahan kalor (A). Sedangkan nilai koefisien konveksi dipengaruhi oleh bilangan *Nusselt*, *Reynold* dan koefisien konduksi.

Persamaan kesetimbangan energi dalam *dehumidifier* (1) adalah :

$$H_1 + H_2 = H_3 + H_4$$

$$\dot{m}_1 \left(C_p T_1 + \omega_1 h_{g1} \right) + \frac{\dot{m}_2 \cdot T_2}{2} (C_{p_d} + C_{p_w}) =$$

$$\dot{m}_3 \left(C_p T_3 + \omega_3 h_{g3} \right) + \frac{\dot{m}_4 \cdot T_4}{2} (C_{p_d} + C_{p_w}) \quad (1)$$

Nilai *transfer* energi dihitung dengan persamaan (2) :

$$\Delta H = H_1 - H_3 = H_2 - H_4 \quad (2)$$



Efisiensi Thermal

Efisiensi *thermal* (3) pada *liquid desiccant dehumidification system (DDS)* menunjukkan perbandingan antara besarnya kalor yang berguna untuk menyerap uap air dengan kalor *desiccant* yang disemprotkan ke dalam sistem, yaitu

$$\eta_{th} = \frac{\Delta H}{H_2} \cdot 100\% \quad (3)$$

METODOLOGI PENELITIAN

Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan adalah dengan menggunakan metode eksperimental (*true experimental research*)

Variabel Penelitian

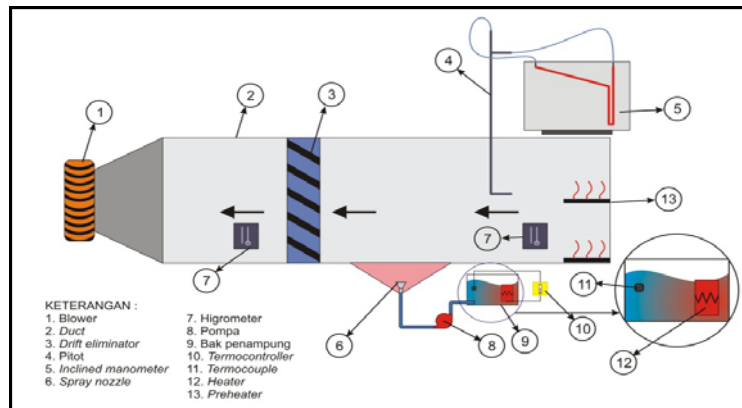
Adapun variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain :

1. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi kecepatan udara *inlet* sebesar 1,439; 1,554; 1,661; 1,857 dan 1,948 m/s.
2. Variabel terikat : *Transfer* energi dan Efisiensi *thermal*
3. Variabel terkontrol dalam penelitian ini adalah temperatur *desiccant* : 40; 50 dan 60 °C.

Alat-alat Penelitian

1. *Wind tunnel*; 2. *Drift Eliminator*; 3. Sensor dan peralatan pendukung lainnya (*Thermocouple, Digital Multimeter, Thermo Controller*); 4. *Inclined Manometer*; 5. Pompa; 6. *Spray Nozzle*; 7. Gelas ukur; 8. *Heater*; 9. *Preheater*; 10. Adaptor

Instalasi Penelitian



Gambar 2 : Instalasi Penelitian

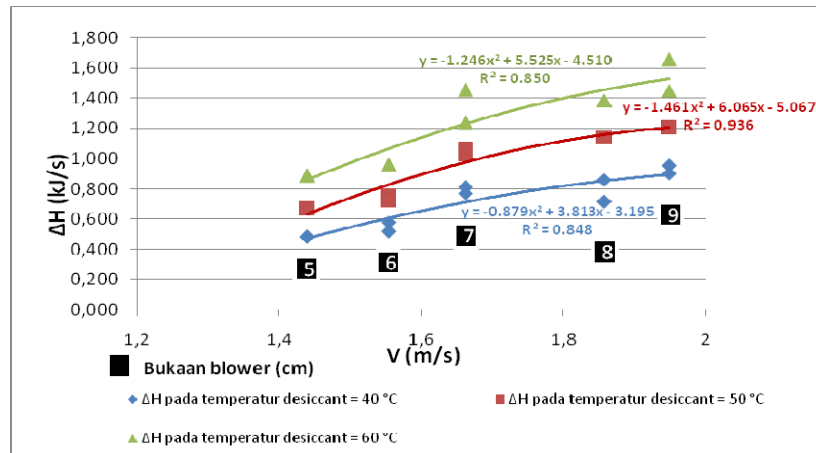
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hubungan antara Kecepatan Udara Inlet (V) terhadap Transfer Energi (ΔH)

Hubungan antara kecepatan udara inlet (V) terhadap *transfer* energi tersaji dalam grafik pada gambar 3. Sumbu absis pada grafik di atas menyatakan kecepatan udara inlet, sedangkan sumbu ordinat menyatakan *transfer* energi. Dari gambar di atas dapat diketahui bahwa nilai *transfer* energi yang terjadi pada sistem semakin besar dengan bertambahnya

kecepatan udara inlet. Hal ini disebabkan karena entalpi total pada sisi outlet lebih kecil daripada sisi inlet akibat kehilangan energi saat udara melewati semprotan *desiccant*. Dengan menurunnya entalpi total pada sisi outlet maka akan memperbesar *transfer* energi yang terjadi. Hal ini sesuai dengan rumus *transfer* energi (ΔH) yaitu : $\Delta H = H_1 - H_3$
Dimana, *transfer* energi merupakan hasil pengurangan antara entalpi total sisi masuk (H_1) dengan entalpi total sisi keluar (H_3).





Gambar 3 : Grafik Hubungan antara Kecepatan Udara Inlet (V) terhadap Transfer Energi (ΔH)

Entalpi total pada suatu sisi dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu temperatur udara campuran (T), kelembaban absolut (ω) dan entalpi uap (h_g) yang terkandung didalam udara. Entalpi total pada sisi keluar akan menurun seiring dengan penurunan ketiga faktor tersebut (T_3 , ω_3 , h_{g3}). Semakin besar bukaan blower, maka kecepatan udara yang masuk (V) ke dalam sistem akan semakin cepat, sehingga massa udara yang mengalir ke dalam sistem semakin besar, akibatnya proses *transfer* energi akan semakin tinggi karena entalpi total pada sisi outlet turun.

Penurunan nilai entalpi pada sisi keluar disebabkan karena semakin banyak massa uap air yang diserap oleh *desiccant* seiring bukaan blower yang semakin besar. Sehingga kelembaban absolut (ω_3) dan nilai entalpi uap air (h_{g3}) pada sisi keluar menjadi semakin kecil.

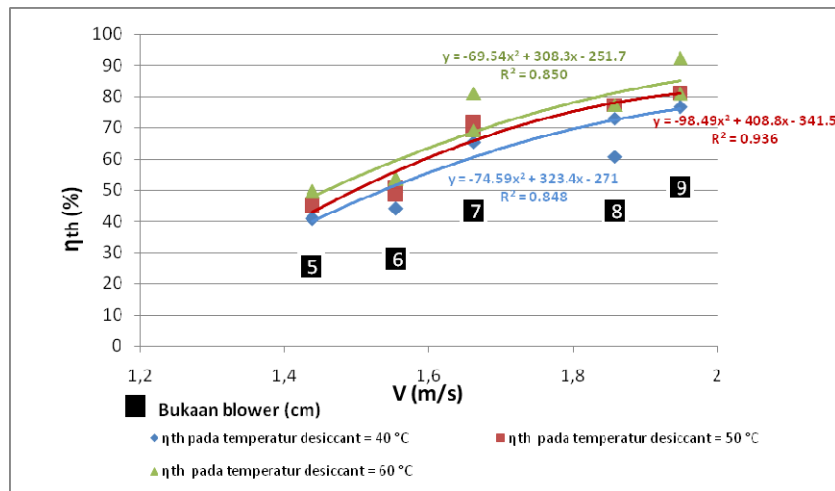
Pada gambar 3 juga dapat kita lihat bahwa nilai *transfer* energi tertinggi terjadi pada temperatur *desiccant* 60 °C ($\Delta H = 1,654$ kJ/s pada $V = 1,948$ m/s),

kemudian diikuti dengan *transfer* energi pada temperatur *desiccant* 50 °C ($\Delta H = 1,202$ kJ/s pada $V = 1,948$ m/s) dan 40°C ($\Delta H = 0,952$ kJ/s pada $V = 1,9481$ m/s). Pada masing-masing grafik, semakin besar bukaan blower maka proses *transfer* energi juga akan semakin tinggi. Hal ini disebabkan oleh kecepatan udara inlet yang semakin besar, sehingga massa udara yang masuk ke dalam sistem akan semakin banyak, dimana laju massa alir udara berbanding lurus dengan entalpi total.

Dari hasil pengujian, didapatkan bahwa pada temperatur *desiccant* 60 °C dan 50 °C nilai *transfer* energi yang diperoleh lebih besar dibandingkan dengan temperatur *desiccant* 40°C. Hal ini dikarenakan semakin besar temperatur *desiccant* maka akan memperbesar beda temperatur antara udara masuk dengan *desiccant* yang disemprotkan ke dalam sistem sehingga proses perpindahan kalor konveksi akan semakin besar. Selain itu, massa uap air pada udara yang diikat oleh *desiccant* juga semakin besar.

Hubungan antara Kecepatan Udara Inlet (V) terhadap Efisiensi Thermal (η_{th})





Gambar 4 : Grafik Hubungan antara Kecepatan Udara Inlet (V) terhadap Efisiensi *Thermal* (η_{th})

Hubungan antara kecepatan udara inlet (V) terhadap efisiensi *thermal* tersaji dalam grafik pada gambar 4. Dari gambar 4 dapat diketahui bahwa pada bukaan blower dari bukaan kecil hingga besar, efisiensi *thermal* pada sistem cenderung meningkat untuk masing-masing variabel kontrol. Peningkatan ini terjadi karena semakin besar bukaan blower, maka kecepatan udara yang masuk ke dalam sistem akan semakin tinggi akibatnya laju massa alir udara yang masuk ke dalam sistem akan semakin meningkat. Dengan peningkatan laju massa alir udara inlet, maka uap air yang dibawa oleh udara akan semakin meningkat pula. Dengan peningkatan massa uap air maka massa uap air yang diikat oleh *desiccant* akan semakin besar, akibatnya udara pada sisi keluar akan memiliki kelembaban absolut yang lebih rendah dibandingkan dengan kelembaban absolut pada sisi masuk karena kelembaban absolut merupakan perbandingan antara massa uap dengan massa udara kering. Jumlah massa udara kering pada sisi masuk dan keluar bernilai sama, dengan massa uap yang semakin rendah maka akan terjadi penurunan kelembaban absolut udara.

Nilai dari kelembaban absolut ini akan mempengaruhi nilai *transfer* energi yang dihasilkan. Semakin besar selisih kelembaban absolut antar sisi inlet

dan outlet maka *transfer* energi yang dihasilkan akan semakin besar.

Transfer energi berbanding lurus dengan nilai efisiensi *thermal*. Hal ini sesuai dengan rumus dimana nilai efisiensi *thermal* merupakan perbandingan antara nilai *transfer* energi dengan energi dari *desiccant* yang digunakan untuk mengikat uap air dalam udara. Semakin tinggi *transfer* energi yang dihasilkan maka nilai efisiensi *thermal* juga semakin besar.

Nilai efisiensi *thermal* juga dipengaruhi oleh peningkatan temperatur *desiccant* yang disempatkan. Semakin besar temperatur *desiccant* maka efisiensi *thermal* akan semakin meningkat. Sesuai dengan rumus di atas bahwa dengan bertambahnya temperatur *desiccant* maka nilai H_2 dan ΔH akan semakin tinggi, dimana nilai H_2 berbanding lurus dengan nilai ΔH . Dengan demikian, meningkatnya nilai H_2 akan menyebabkan efisiensi *thermal* yang dihasilkan semakin tinggi. Hal ini juga sesuai seperti yang digambarkan pada grafik di atas bahwa nilai efisiensi *thermal* akan semakin besar seiring meningkatnya temperatur *desiccant*.

KESIMPULAN DAN SARAN



Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa dengan bertambahnya kecepatan udara inlet dan temperatur *desiccant* yang disemprotkan ke dalam sistem maka proses *transfer* energi dan efisiensi *thermal* yang dihasilkan semakin meningkat.

Saran

Untuk memperoleh *transfer* energi dan efisiensi *thermal* pada *Liquid Desiccant Dehumidification System* yang lebih baik, perlu dilakukan beberapa hal sebagai berikut :

1. Dilakukan penelitian tentang distribusi *droplet desiccant* yang mempengaruhi luasan kontak antara uap air pada udara dengan *desiccant*.
2. Penggunaan proses regenerasi terhadap *desiccant* agar konsentrasinya kembali ke kondisi semula dan dapat digunakan kembali sehingga akan menghemat biaya penggunaan *desiccant*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Cengel, Yunus A, *Heat Transfer A Practical Approach*; 2nd edition; McGraw-Hill Companies Inc, New York, 1998.
- [2] Cengel, Yunus A. dan Robert H. Turner, *Fundamentals of Thermal-Fluid Sciences*; McGraw-Hill Companies Inc, New York, 1994
- [3] El-Wakil, M.M, *Instalasi Pembangkit Daya*; Alih bahasa: Ir. E. Jasjfi M.Sc.; Erlangga, Jakarta, 1992
- [4] Fumo, N., Goswami, D.Y, *Study of An Aqueous Lithium Chloride Desiccant System Part I: Air Dehumidification*; Journal of Solar Energy, Venezuela, 2000.
- [5] Stoecker, W.F, *Refrigerasi dan Pengondisian Udara*, Alih bahasa: Ir. Supratman Hara; Erlangga, Jakarta, 1992.



