

**PENGARUH VARIASI TEMPERATUR LiBr TERHADAP  
UNJUK KERJA DARI  
LIQUID DESICCANT DEHUMIDIFICATION SYSTEM**

**SKRIPSI**

**KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

**RIZAL ADRIANSYAH PUTRA**

**NIM. 0710620046-62**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**MALANG**

**2011**

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**PENGARUH VARIASI TEMPERATUR LiBr TERHADAP  
UNJUK KERJA DARI  
*LIQUID DESICCANT DEHUMIDIFICATION SYSTEM***

**SKRIPSI**

**KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

**RIZAL ADRIANSYAH PUTRA**

**NIM. 0710620046-62**

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

**Dr. Ir. Achmad As'ad Sonief, MT.**

NIP. 19591128 198710 1 001

**Ir. Ari Wahjudi, MT**

NIP. 19680324 199412 1 001

## LEMBAR PENGESAHAN

### PENGARUH VARIASI TEMPERATUR LiBr TERHADAP UNJUK KERJA DARI *LIQUID DESICCANT DEHUMIDIFICATION SYSTEM*

Disusun oleh :

**RIZAL ADRIANSYAH PUTRA**  
**NIM. 0710620046-62**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada  
tanggal 14 Nopember 2011

#### DOSEN PENGUJI

Penguji Skripsi I

Penguji Skripsi II

**Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT**  
**NIP. 19720903 199702 1 001**

**Dr.Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng**  
**NIP. 19740121 199903 1 001**

Penguji Komprehensif

**Ir. Hastono Wijaya, MT**  
**NIP. 19601204 198601 1 002**

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin

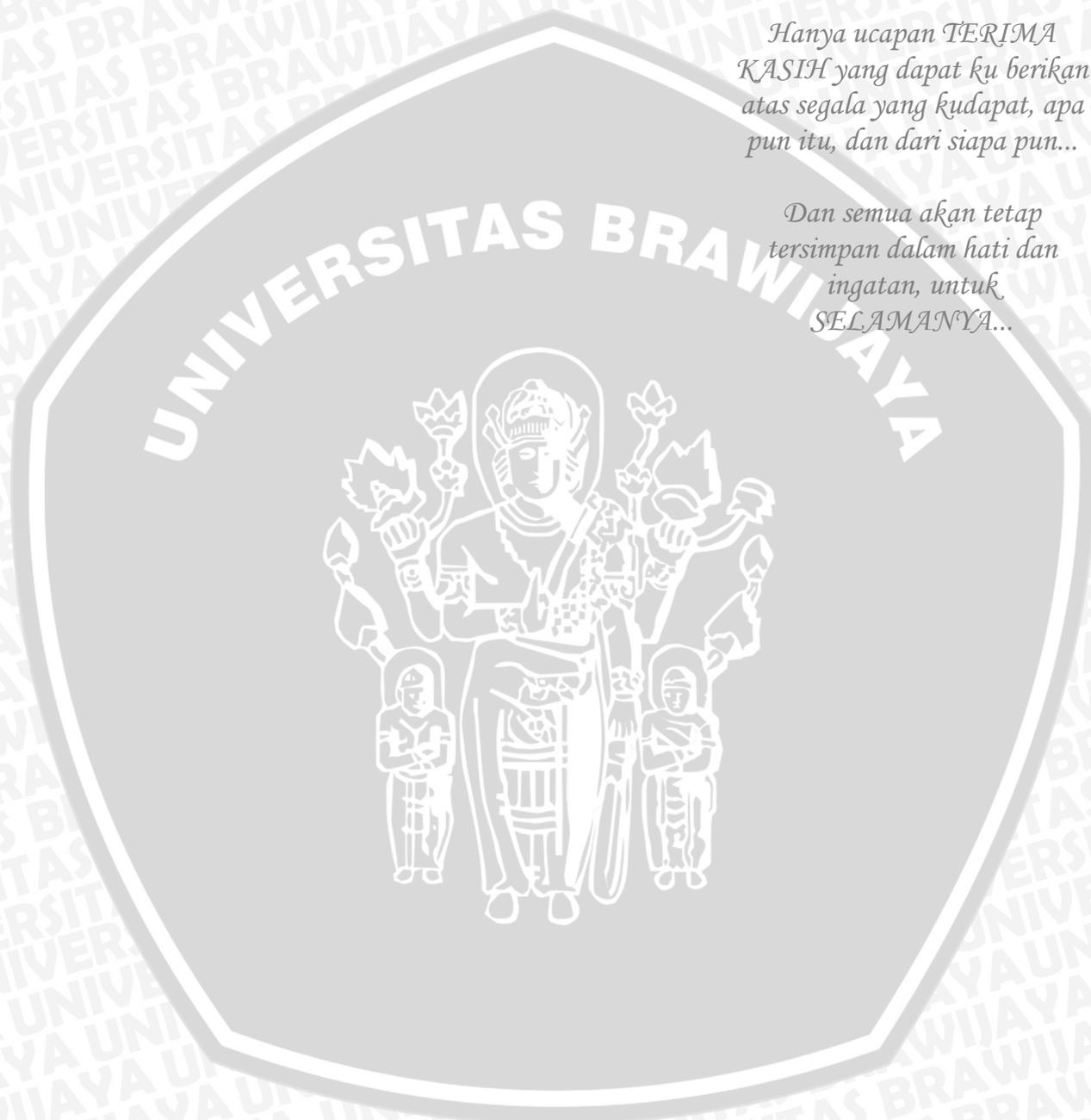
**Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT.**  
**NIP. 19720903 199702 1 001**

*Teruntuk semua orang yang  
sangat berjasa dalam hidupku...*

*Tak akan cukup berjuta kata  
terangkai untuk  
mengungkapkan isi hati yang  
terdalam...*

*Hanya ucapan TERIMA  
KASIH yang dapat ku berikan  
atas segala yang kudapat, apa  
pun itu, dan dari siapa pun...*

*Dan semua akan tetap  
tersimpan dalam hati dan  
ingatan, untuk  
SELAMANYA...*



*Rizal Adriansyah Putra*

## RINGKASAN

**Rizal Adriansyah Putra**, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Nopember 2011, *Pengaruh Variasi Temperatur LiBr Terhadap Unjuk Kerja Dari Liquid Desiccant Dehumidification System*, Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Achmad As'ad Sonief, MT. dan Ir. Ari Wahjudi, MT.

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. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh dari temperatur LiBr terhadap unjuk kerja dari system yang terdiri dari *transfer* massa, *transfer* energi dan efisiensi *Desiccant Dehumidification System*.

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 m/s; 1,5 m/s; 2 m/s; 2,5 m/s dan 3 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* massa dan *transfer* energinya semakin tinggi karena uap air yang diikat *desiccant* semakin banyak. Dari peningkatan *transfer* energi maka akan diiringi peningkatan efisiensi dari sistem. *Transfer* massa tertinggi yaitu  $7,08 \times 10^{-4}$  kg/s didapatkan pada kecepatan udara inlet sebesar 3 m/s dan temperatur *desiccant* 60 °C. *Transfer* energi tertinggi yaitu 1,995 kJ/s didapatkan pada kecepatan udara inlet sebesar 3 m/s dan temperatur *desiccant* 60 °C. Sedangkan efisiensi *DDS* terbesar yaitu 21,86 % didapatkan pada kecepatan udara inlet sebesar 2,5 m/s dan temperatur *desiccant* 60 °C.

**Kata kunci** : LiBr, temperatur *desiccant*, dehumidifikasi, *transfer* massa, *transfer* energi, efisiensi

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayahNya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik dan benar. Sholawat dan salam semoga selalu diberikan kepada Nabi besar Muhammad SAW yang telah menyempurnakan peradaban manusia dengan Islam.

Penyusunan dan penyelesaian skripsi ini tidak lepas dari keterlibatan dan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan kali ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan kepada :

1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
2. Bapak Dr.Eng. Anindito Purnowidodo, ST., M.Eng, selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
3. Bapak Dr. Ir. Achmad As'ad Sonief, MT., selaku Dosen Pembimbing I, yang telah memberikan kritik dan saran yang bermanfaat dalam penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Ir. Ari Wahjudi, MT., selaku Dosen Pembimbing II, yang telah memberikan kritik dan saran yang bermanfaat dalam penyusunan skripsi ini.
5. Bapak Ir. I Made Gunadiarta, MT., selaku Ketua Kelompok Dasar Keahlian Konversi Energi, yang meluangkan banyak waktu untuk bimbingan.
6. Ayahanda Ir. Asliansyah MH dan Ibunda Yuwantari AG selaku kedua orang tua penulis, Kak Rizky, Mbak Ocha dan semua keluarga di Malang dan Jakarta yang telah memberikan dukungan moril dan motivasi yang sangat berarti sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik.
7. Teman-teman asisten Laboratorium Mesin-mesin Fluida yang kreatif dan selalu ada untuk tempat diskusi.
8. Teman-teman EXTREME M'07 yang sangat kompak dan banyak membantu dalam semua kegiatan perkuliahan, seminar dan lain-lain.
9. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Akhir kata, penulis mengharapkan skripsi ini dapat memberikan manfaat yang positif pada pembaca. Semoga memunculkan ide-ide baru, saran dan kritik yang membangun untuk ke depannya.

Malang, Oktober 2011

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
RINGKASAN	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
<b>BAB I</b> PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
<b>BAB II</b> TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Sebelumnya	4
2.2 <i>Dehumidifier</i>	4
2.3 <i>Desiccant Dehumidification System (DDS)</i>	7
2.4 <i>Desiccant Cair</i>	8
2.5 <i>Psychrometric</i> dan <i>Diagram Psychrometric</i>	8
2.6 Perpindahan Panas dan Massa pada <i>Liquid Desiccant Dehumidification System</i>	12
2.6.1 Proses Difusi	12
2.6.2 Difusi Fluida yang Memiliki Beda Konsentrasi dan Kecepatan Besar	12
2.6.3 Keseimbangan Kalor pada Sistem	14
2.6.4 Transfer Massa pada <i>Desiccant Dehumidification System</i>	19
2.6.5 Transfer Energi pada <i>Desiccant Dehumidification System</i>	19
2.6.4 Efisiensi <i>Desiccant Dehumidification System</i>	20
2.7 Kerangka Berpikir	21

	2.8	Hipotesis	21
<b>BAB III</b>		<b>METODOLOGI PENELITIAN</b>	
	3.1	Metode Penelitian	22
	3.2	Variabel Penelitian	22
	3.3	Alat-alat Penelitian	23
	3.4	Instalasi Penelitian	26
	3.5	Prosedur Penelitian	27
	3.6	Tempat Penelitian	27
	3.7	Rancangan Penelitian	27
	3.8	Diagram Alir Penelitian	28
<b>BAB IV</b>		<b>DATA DAN PEMBAHASAN</b>	
	4.1	Analisa Data	29
	4.1.1	Data Hasil Pengujian	29
	4.1.2	Contoh Perhitungan	30
	4.1.3	Hasil Pengolahan Data	32
	4.2	Pembahasan Grafik	34
	4.2.1	Pembahasan Grafik Hubungan antara Kecepatan Udara <i>Inlet</i> ( $v$ ) terhadap <i>Transfer</i> Massa ( $\Delta m$ )	34
	4.2.2	Pembahasan Grafik Hubungan antara Kecepatan Udara <i>Inlet</i> ( $v$ ) terhadap <i>Transfer</i> Energi ( $\Delta H$ )	36
	4.2.3	Pembahasan Grafik Hubungan antara Kecepatan Udara <i>Inlet</i> ( $v$ ) terhadap Efisiensi <i>Desiccant Dehumidification System</i> ( $\eta_{DDS}$ )	39
<b>BAB V</b>		<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
	5.1	Kesimpulan	42
	5.2	Saran	43
		<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
		<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Sifat-sifat larutan LiBr	8
Tabel 4.1	Hasil pengambilan data yang diperoleh pada $T_{desiccant\ inlet} = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$	29
Tabel 4.2	Hasil pengambilan data yang diperoleh pada $T_{desiccant\ inlet} = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$	29
Tabel 4.3	Hasil pengambilan data yang diperoleh pada $T_{desiccant\ inlet} = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$	30
Tabel 4.4	Hasil pengolahan data untuk <i>transfer</i> massa, $\Delta\dot{m}$ (kg/s)	32
Tabel 4.5	Hasil pengolahan data untuk <i>transfer</i> energi, $\Delta H$ (kJ/s)	33
Tabel 4.6	Hasil pengolahan data untuk efisiensi <i>DDS</i> , $\eta_{DDS}$ (%)	33



## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	<i>Heat Pump Dehumidifier</i>	5
Gambar 2.2	<i>Chemical Adsorbent Dehumidifier</i>	6
Gambar 2.3	<i>Dehumidifying Ventilators</i>	7
Gambar 2.4	Diagram <i>Psychrometric</i>	9
Gambar 2.5	Gambar proses difusi dengan fluida yang memiliki beda konsentrasi dan kecepatan yang besar.	13
Gambar 2.6	Keseimbangan kalor pada <i>Dehumidifier</i>	14
Gambar 3.1	<i>Wind Tunnel</i>	23
Gambar 3.2	Gelas Ukur	25
Gambar 3.3	<i>Heater</i>	25
Gambar 3.4	Adaptor	26
Gambar 3.5	Instalasi Penelitian	26
Gambar 3.6	Diagram Alir Penelitian	28
Gambar 4.1	Grafik Hubungan antara Kecepatan Udara Inlet ( $v$ ) terhadap <i>Transfer Massa</i> ( $\Delta \dot{m}$ )	34
Gambar 4.2	Grafik Hubungan antara Kecepatan Udara Inlet ( $v$ ) terhadap <i>Transfer Energi</i> ( $\Delta H$ )	37
Gambar 4.3	Grafik Hubungan antara Kecepatan Udara Inlet ( $v$ ) terhadap Efisiensi <i>DDS</i> ( $\eta_{DDS}$ )	39

## DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1	Data pengujian dan hasil pengolahan data pada temperatur <i>desiccant</i> 40 °C
Lampiran 2	Data pengujian dan hasil pengolahan data pada temperatur <i>desiccant</i> 50 °C
Lampiran 3	Data pengujian dan hasil pengolahan data pada temperatur <i>desiccant</i> 60 °C
Lampiran 4	Tabel Sifat-sifat Larutan LiBr
Lampiran 5	Diagram <i>Psychrometric</i>
Lampiran 6	Tabel A-1 : Sifat-sifat cairan dan uap jenuh
Lampiran 7	Tabel A-2 : Sifat-sifat termodinamika udara jenuh pada tekanan atmosfer 101,325 kPa



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 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 *coil* 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* adalah alternatif yang layak dipakai saat ini. *Desiccant* adalah suatu zat yang memiliki sifat higroskopis yaitu dapat menyerap uap air yang terdapat dalam udara. Terdapat dua jenis *desiccant dehumidification system*, yaitu *liquid desiccant dehumidification system* dan *solid desiccant dehumidification system*. *Liquid desiccant dehumidification system* banyak digunakan karena lebih ekonomis dan mampu menghasilkan kapasitas udara yang besar. Contoh dari *liquid desiccant* antara lain LiCl, LiBr, dan CaCl<sub>2</sub>.

*Liquid desiccant dehumidification system* 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.

Pada penelitian ini, kelembaban udara diturunkan dengan menyemprotkan *desiccant* menuju aliran udara. Alat yang digunakan adalah *wind tunnel* yang berfungsi untuk mengalirkan udara dari lingkungan menuju sistem dan *spray nozzle* untuk menyemprotkan *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 unjuk kerja juga akan semakin meningkat.

Fumo (2000) dalam penelitiannya mengambil kesimpulan bahwa parameter yang mempengaruhi pengondisian udara adalah konsentrasi *desiccant*, temperatur *desiccant*, kelembaban udara masuk dan debit udara. Oleh karena perpindahan kalor mengalir dari temperatur tinggi ke rendah, maka pada penelitian ini temperatur *desiccant* dikondisikan lebih tinggi daripada temperatur udara masuk dan diperbesar pada setiap pengambilan data untuk mencapai perpindahan kalor dan efisiensi sistem yang optimal.

Pada *liquid desiccant dehumidification system* ini, akan terjadi penurunan konsentrasi *desiccant* akibat pemakaian pengondisian udara yang dalam hal ini adalah penyerapan uap air. Untuk itu perlu dilakukan regenerasi terhadap *desiccant* agar konsentrasinya kembali ke kondisi semula dan dapat digunakan kembali sehingga akan menghemat biaya penggunaan *liquid desiccant*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, dapat diambil rumusan masalah yang diteliti yaitu “bagaimana pengaruh variasi temperatur LiBr terhadap unjuk kerja dari *liquid desiccant dehumidification system*?”

## 1.3 Batasan Masalah

Untuk lebih memfokuskan masalah, maka dalam penelitian ini digunakan beberapa batasan sebagai berikut :

1. Fluida kerja adalah larutan 50% LiBr sebagai *liquid desiccant*.
2. Temperatur *liquid desiccant* divariasikan sebesar 40°C; 50°C dan 60°C.
3. Kecepatan aliran udara dalam *wind tunnel* divariasikan sebesar 1m/s; 1,5m/s; 2m/s; 2,5m/s dan 3m/s.

4. Temperatur udara *inlet* selama pengujian konstan.
5. Unjuk kerja meliputi transfer massa; transfer energi dan efisiensi thermal *DDS*.
6. Kondisi dianggap *steady state*.
7. Cara distribusi *liquid desiccant* menggunakan *spray nozzle*.
8. Debit *liquid desiccant* selama pengujian adalah konstan.

#### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui:

- Nilai transfer massa tertinggi dari *Liquid Desiccant Dehumidification System*
  - Nilai transfer energi tertinggi dari *Liquid Desiccant Dehumidification System*
  - Nilai efisiensi tertinggi dari *Liquid Desiccant Dehumidification System*
- berdasarkan variabel-variabel yang ditetapkan dalam penelitian ini.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat sebagai berikut :

1. Mampu mengaplikasikan teori yang telah didapat selama perkuliahan tentang perpindahan panas.
2. Sumbangan pemikiran dunia industri dalam mendesain *dehumidifier* untuk mendapatkan unjuk kerja yang besar dengan temperatur yang optimal.
3. Menambah wawasan serta dasar penelitian selanjutnya mengenai *dehumidification system* khususnya menggunakan *liquid desiccant*.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Fumo dan 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 unjuk kerja sistem dehumidifikasi menggunakan *Lithium Chloride* (LiCl) cair sebagai *liquid desiccant*. Kesimpulan dari penelitian ini adalah terdapat beberapa parameter yang mempengaruhi unjuk kerja 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. Untuk meningkatkan proses dehumidifikasi maka penelitian dalam skripsi ini menggunakan variasi temperatur *desiccant*.

#### 2.2 Dehumidifier

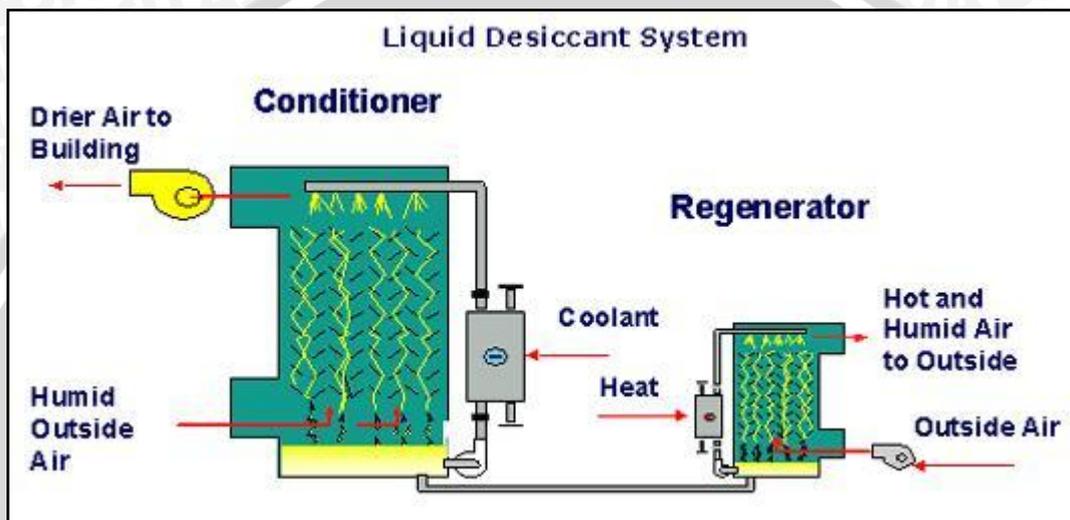
*Dehumidifier* merupakan suatu pengondisi udara yang berfungsi mengurangi tingkat kelembaban pada udara, biasanya karena alasan kesehatan, seperti udara lembab dapat menyebabkan jamur tumbuh di dalam rumah yang mana memiliki berbagai resiko kesehatan. *Dehumidifier* juga digunakan untuk menjaga tingkat kelembaban tertentu dalam ruang industri ([www.en.wikipedia.org/wiki/Dehumidifier](http://www.en.wikipedia.org/wiki/Dehumidifier)).

*Dehumidifier* digunakan untuk menurunkan kelembaban udara melalui proses dehumidifikasi. Proses dehumidifikasi merupakan suatu proses penurunan kadar air dalam udara. Proses dehumidifikasi ini dikendalikan oleh perbedaan tekanan uap air antara permukaan *desiccant* dan udara. Bila tekanan uap air pada udara lebih tinggi daripada tekanan uap air pada permukaan *desiccant*, maka uap air akan mengalir dari udara ke permukaan *desiccant*. Sedangkan, bila tekanan uap air pada udara lebih rendah daripada tekanan uap air pada permukaan *desiccant*, maka uap air akan mengalir dari



## 2. *Chemical Adsorbent Dehumidifier*

Jenis ini dirancang untuk iklim panas dan lembab. *Chemical Adsorbent Dehumidifier (CAD)* (Gambar 2.2) menyerap uap air dari udara menggunakan *desiccant*, yaitu sebuah zat pengering seperti *silica gel*. *Dehumidifier* ini membutuhkan lebih banyak energi dibanding *HPD*. Namun biayanya lebih efektif jika menggunakan gas alam untuk penukaran panas dan jika gas alam tersedia saat musim panas ([www.discount-air-fan.wowshopper.com/html-pages/how-does-dehumidifier-work.htm](http://www.discount-air-fan.wowshopper.com/html-pages/how-does-dehumidifier-work.htm)). *Dehumidifier* yang digunakan dalam penelitian ini merupakan salah satu dari jenis ini.

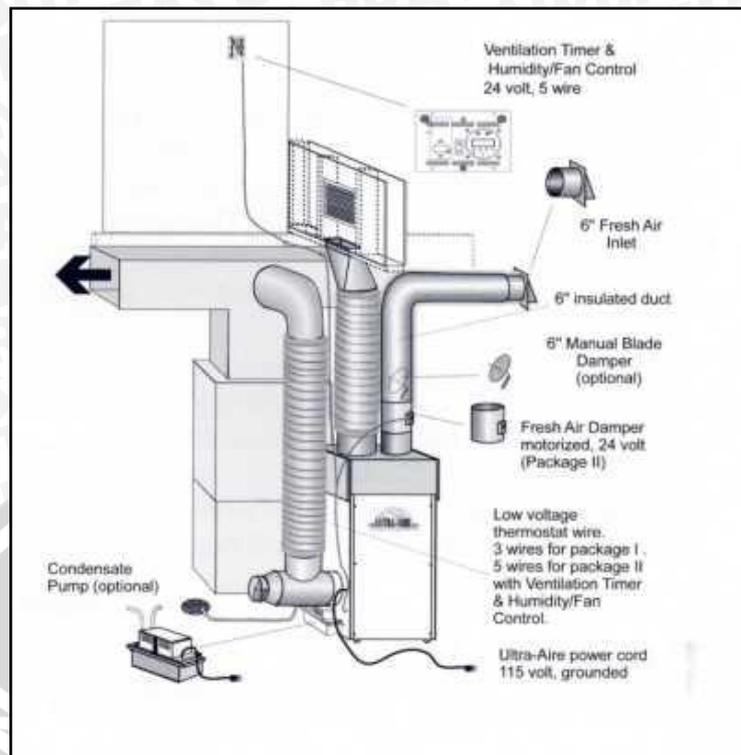


Gambar 2.2 : *Chemical Adsorbent Dehumidifier*

Sumber : [www.eere.energy.gov/industry-distributedenergy-images.jpg](http://www.eere.energy.gov/industry-distributedenergy-images.jpg)

## 3. *Dehumidifying Ventilators*

Alat ini (Gambar 2.3) memiliki sebuah *sensor-controller* dan kipas. *Sensor-controller* dapat diatur ketika kelembaban mencapai tingkat pengaturan. Sebuah *dehumidifying ventilators* sangat efektif jika sumber kelembaban berada di ruang bawah tanah. *Dehumidifier* ini tidak dapat mengondisikan panas secara sempurna, hanya menggunakan energi listrik lebih rendah daripada *HPD*. *Dehumidifier* ini tidak cocok di cuaca panas dan lembab karena lebih banyak membawa udara luar ke dalam rumah. Lebih cocok digunakan saat cuaca dingin ([www.discount-air-fan.wowshopper.com/html-pages/how-does-dehumidifier-work.htm](http://www.discount-air-fan.wowshopper.com/html-pages/how-does-dehumidifier-work.htm)).



Gambar 2.3 : *Dehumidifying Ventilators*

Sumber : [www.chicagolandunique.com/santafe.html](http://www.chicagolandunique.com/santafe.html)

### 2.3 *Desiccant Dehumidification System (DDS)*

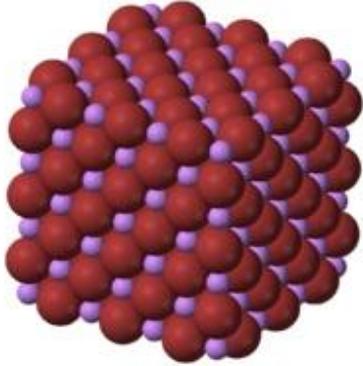
*Desiccant Dehumidification System (DDS)* merupakan suatu sistem penurunan kelembaban udara yang menggunakan *desiccant* sebagai media penyerap uap air dalam udara. *Desiccant* adalah suatu zat yang dapat menyerap uap air yang terdapat dalam udara (higroskopis). Material *desiccant* memiliki afinitas yang tinggi untuk menyerap uap air ([www.en.wikipedia.org/wiki/Dehumidifier](http://www.en.wikipedia.org/wiki/Dehumidifier)).

Terdapat dua jenis *DDS*, yaitu *solid* dan *liquid DDS*. Pada kedua jenis sistem ini, masing-masing *desiccant* yang digunakan memiliki persamaan, yaitu tekanan uap airnya merupakan fungsi temperatur dan kandungan embun (uap air). Namun, perbedaan antara *solid desiccant* dan *liquid desiccant* adalah reaksi pengembunannya. *Solid desiccant* seperti *silica gel* kebanyakan menyerap uap air tanpa reaksi kimia. Sedangkan *liquid desiccant* biasanya menyerap uap air melalui reaksi kimia maupun perubahan fisik ([www.masstech.org/renewableenergy/public\\_policy/DG/resources/2005-DG-MD-Nayak-2957.pdf](http://www.masstech.org/renewableenergy/public_policy/DG/resources/2005-DG-MD-Nayak-2957.pdf)). *Liquid DDS* lebih banyak digunakan karena *desiccant* yang digunakan lebih mudah didapat, harganya lebih ekonomis dan mampu menghasilkan kapasitas udara yang besar dibanding dengan *Solid DDS*.

## 2.4 Desiccant Cair

*Desiccant* adalah zat higroskopis yang dapat mengondisikan atau mempertahankan kondisi kering pada udara sekitar dengan wadah yang tertutup. *Desiccant* cair yang biasa digunakan adalah larutan LiCl (*Lithium Chloride*), LiBr (*Lithium Bromide*), CaCl<sub>2</sub> (*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 LiBr 50% dengan basis massa. Artinya bahwa dalam 1 kg larutan *desiccant* terdapat 0,5 kg LiBr. Cara pembuatannya adalah dengan melarutkan tiap 0,5 kg LiBr *anhydrous* dengan pelarut berupa air sebanyak 0,5 kg. Adapun sifat-sifat beberapa larutan LiBr dijelaskan pada Tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2.1 : Tabel sifat-sifat larutan LiBr.

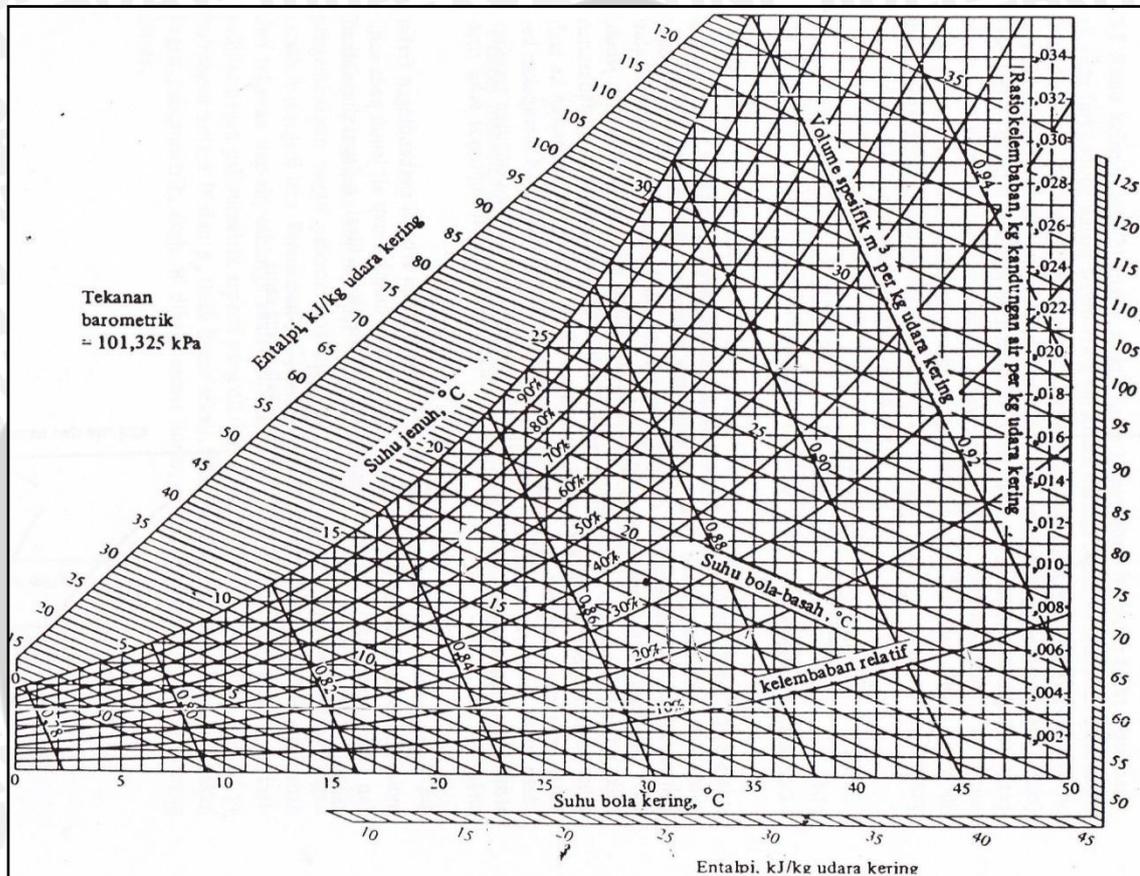
Lithium bromide		Properties	
		Molecular formula	LiBr
		Molar mass	86.845(3) g/mol
		Appearance	White solid
		Density	3.464 g/cm <sup>3</sup>
		Melting point	552 °C
		Boiling point	1265 °C
		Solubility in water	145 g/100 mL (4 °C) 254 g/100 mL (90 °C)
		Solubility	soluble in methanol, ethanol, ether slightly soluble in pyridine
		IUPAC name	[hide] Lithium bromide
		Identifiers	
CAS number	7550-35-8 ✓	<b>Thermochemistry</b> Std enthalpy of formation Δ <sub>f</sub> H <sup>o</sup> <sub>298</sub>	
PubChem	82050		
EC number	231-439-8		
RTECS number	OJ5755000		

Sumber : [www.wikipedia.com/Lithium\\_bromide](http://www.wikipedia.com/Lithium_bromide)

## 2.5 Psychrometric dan Diagram Psychrometric

*Psychrometric* adalah ilmu yang mempelajari sistem yang terdiri dari campuran udara kering dan uap air, udara dan air serta udara jenuh. Ilmu ini banyak diterapkan pada analisa dan desain pada alat-alat pengondisian udara, proses-proses yang berhubungan dengan kandungan uap di udara, menara pendingin (*cooling tower*) serta proses pemanasan dan pendinginan udara demikian juga pada *dehumidification system*.

Diagram *Psychrometric* (Gambar 2.4) menggambarkan beberapa sifat penting dari udara kering hingga udara lembab, baik harga entalpi, kelembaban dan volume spesifik dari suatu sampel udara dengan jalan mengukur temperatur bola basah dan temperatur bola kering suatu ruangan, kemudian dengan diagram ini kita dapat menentukan harga parameter-parameter dari udara.



Gambar 2.4 : Diagram *Psychrometric*

Sumber : [www.fao.org/docrep/S1250E/S1250EEW.GIF](http://www.fao.org/docrep/S1250E/S1250EEW.GIF)

Berikut ini parameter-parameter udara yang terdapat pada diagram *Psychrometric* :

a. Udara Jenuh (*Saturated Air*)

Adalah udara yang tidak dapat lagi menerima uap air pada temperatur yang diberikan. Penurunan pada temperatur tersebut akan menghasilkan kondensasi. Peningkatan pada temperatur ini akan membuatnya menjadi tak jenuh lagi sehingga akan dapat menerima uap air lagi. Dalam udara jenuh, tekanan parsial uap air adalah sama dengan tekanan jenuh  $P_{sat}$  (didapat dari tabel uap) pada temperatur udara.

b. Kelembaban Relatif (*Relative Humidity*)

Kelembaban relatif sama dengan tekanan parsial dari uap air dalam udara ( $P_v$ ), dibagi dengan tekanan parsial dari uap air yang akan menjenuhkan udara pada temperatur tersebut,  $P_{sat}$ . Sehingga kelembaban relatif,  $\Phi$ , dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\Phi = P_v/P_{sat} \quad (\text{El-Wakil, 1992 : 284}) \quad (2-1)$$

c. Kelembaban Absolut (*Absolute Humidity* atau *Humidity Ratio*)

Kelembaban absolut atau rasio kelembaban adalah perbandingan massa uap air dengan massa udara kering dalam udara atmosfer, atau dapat pula didefinisikan sebagai massa uap air yang terkandung dalam setiap kilogram udara kering. Sehingga dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\omega = m_v/m_a \quad (\text{El- Wakil, 1992 : 266}) \quad (2-2)$$

Karena uap air dan udara dapat dianggap sebagai gas ideal (Stoecker, 1992 : 41), maka :

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{P_v V / R_v T}{P_a V / R_a T} \\ \omega &= \frac{P_v R_a}{(P - P_v) R_v} \end{aligned} \quad (2-3)$$

dengan harga  $R_a = 287 \text{ (J/Kg K)}$ , maka diperoleh :

$$\omega = \frac{0,622P}{(p-p_v)} \quad (\text{Kulshrestha, 1989 : 422}) \quad (2-4)$$

dimana :

$\omega$  = kelembaban absolut ( $\text{kg}_{\text{uap air}}/\text{kg}_{\text{udara kering}}$ )

$V$  = volume campuran udara uap ( $\text{m}^3$ )

$P$  = tekanan atmosfer =  $P_a + P_v$  (Pa)

$P_a$  = tekanan parsial udara kering (Pa)

$P_v$  = tekanan parsial uap air dalam keadaan jenuh (Pa)

$T$  = temperatur mutlak campuran udara uap (K)

$R_v$  = tetapan gas untuk uap air (J/Kg K)

$R_a$  = tetapan gas untuk udara kering (J/Kg K)

d. Temperatur Bola Kering (*Dry-Bulb Temperatur*)

Temperatur bola kering adalah temperatur dari udara sebagaimana yang biasanya diukur dan digunakan. Temperatur ini merupakan temperatur yang diukur dengan sebuah termometer raksa, termokopel, dan lain-lain.

e. Temperatur Bola Basah (*Wet-Bulb Temperatur*)

Secara teori temperatur udara jenuh dapat diukur dengan alat penjenh adiabatik, yaitu suatu alat yang mengalirkan udara melewati percikan air. Air tersebut didaurkan secara terus-menerus hingga mencapai kesetimbangan dan diberi penyekat agar tidak ada kalor yang masuk maupun ke luar. Karena hal ini sulit sekali dilakukan, maka digunakan alat pengukur temperatur bola basah yang lebih sederhana. Temperatur bola basah adalah temperatur yang ditunjukkan oleh termometer dimana pada bagian bolanya dilengkapi dengan sumbu yang selalu basah. Temperatur yang diperoleh merupakan pendekatan dari temperatur udara jenuh yang diukur dengan alat penjenh adiabatik. Selama udara yang ada di sekitarnya belum jenuh, maka temperatur yang ditunjukkan selalu di bawah temperatur bola keringnya. Hal ini terjadi karena apabila udara tidak jenuh dan sumbu yang digunakan selalu basah, maka tekanan parsial uap air di sekitar sumbu bola basah akan lebih besar dari pada tekanan parsial di atmosfer, sehingga terjadilah penguapan.

Penguapan akan terjadi pada temperatur konstan atau apabila ada tambahan kalor dari luar. Karena tidak ada kalor yang ditambahkan maka untuk mengubah fase menjadi uap, air pada sumbu akan melepas sebagian kalor yang dimilikinya sehingga akan menurunkan temperaturnya. Temperatur bola basah akan sama dengan temperatur bola kering apabila udara sudah mencapai kondisi jenuh.

f. Titik Embun (*Dew Point*)

Titik embun (*Dew Point*) terjadi dimana temperatur uap air yang diberikan dari udara mulai mengembun.

g. Entalpi

Entalpi dapat didefinisikan sebagai besarnya energi untuk setiap satu satuan massa. Sedangkan penjumlahan dari entalpi udara kering dan entalpi uap air merupakan entalpi campuran antara udara kering dan uap air. Dimana entalpi campuran dirumuskan sebagai berikut :

$$h = C_p T_c + \omega h_g \quad (\text{Stoecker, 1992 : 42}) \quad (2-5)$$

Keterangan :

$h$  = entalpi campuran antara udara kering dengan uap air (J/kg)

$C_p$  = kapasitas spesifik udara kering pada tekanan konstan = 1,0 kJ/kg<sub>udara kering</sub> K

$T_c$  = Suhu campuran antara udara dan uap (°C)

$\omega$  = kelembaban absolut (kg<sub>uap air</sub>/kg<sub>udara kering</sub>)

$h_g$  = entalpi uap (J/kg<sub>uap</sub>)

## 2.6 Perpindahan Panas dan Massa pada *Liquid Desiccant Dehumidification System*

### 2.6.1 Proses Difusi

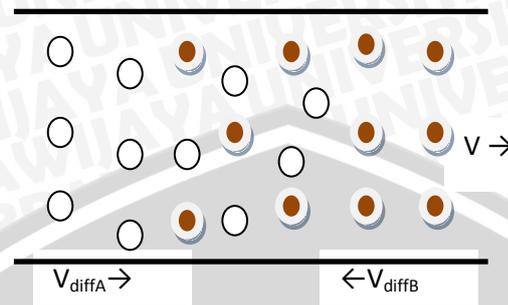
Bila udara kering pada temperatur konstan dijenuhkan oleh air pada temperatur yang sama pada alat perpindahan kalor kontak langsung (*direct contact heat transfer*), uap air memasuki udara dengan membawa kalor latennya untuk penguapan. Kelembaban campuran udara-uap air meningkat selama penjenuhan. Hal ini terjadi karena selama proses penjenuhan, terjadi proses penguapan dimana penguapan timbul karena tekanan uap air yang keluar dari cairan adalah lebih besar dibandingkan tekanan uap parsial air yang berada dalam udara tidak jenuh. Ketika tekanan parsial uap air dalam udara sama dengan cairan, udara menjadi jenuh dan penguapan berhenti. Temperatur penguapan air dapat dijaga konstan selama proses penjenuhan udara jika terdapat suplai panas pada air yang digunakan untuk mengganti panas yang hilang sebagai panas laten penguapan. Dari uraian di atas dapat diketahui bahwa perpindahan kalor selama penjenuhan dapat terjadi meskipun tanpa ada perbedaan temperatur.

Pergerakan material (massa) antara dua fase karena perbedaan tekanan uap (konsentrasi) disebut difusi, dan dapat digambarkan dengan *transfer* material dari satu fase ke fase lain atau keduanya. Fenomena ini disebut perpindahan massa (untuk memisahkannya dengan konsep perpindahan panas). Pada sebuah sistem dengan fase tidak homogen, maka akan memungkinkan terjadinya difusi sendiri (*self-diffusion*) sampai fase mendekati homogen.

### 2.6.2 Difusi Fluida yang Memiliki Beda Konsentrasi dan Kecepatan Besar

Pada sistem ini (Gambar 2.5), terjadi proses difusi molekul dan konveksi. Kecepatan masing-masing zat sama dengan jumlah antara kecepatan pergerakan volume dan kecepatan difusi. Kecepatan aliran dan kecepatan difusi dapat searah atau

berlawanan arah tergantung pada gradien konsentrasi. Kecepatan difusi akan bernilai negatif ketika aliran volume pada arah  $x$  positif dan gradien konsentrasi bernilai positif.



Gambar 2.5 : Gambar proses difusi dengan fluida yang memiliki beda konsentrasi dan kecepatan yang besar.

Sumber : Cengel, 1998 : 651

Pada sistem tersebut berlaku :

$$\rho_A \neq \text{const}$$

$$\rho_B \neq \text{const}$$

$$\rho = \frac{m_A + m_B}{v} = \text{const}$$

$$\dot{m}_A = \rho_A V_{diffA} A$$

$$\dot{m}_B = \rho_B V_{diffB} A$$

$$\dot{m} = \rho VA = \dot{m}_A + \dot{m}_B$$

$$V_A = V + V_{diffA}$$

$$V_B = V + V_{diffB}$$

(Cengel; 1998:651) (2-6)

Keterangan:

● = fluida A

○ = fluida B

$\rho_A$  = massa jenis fluida A ( $\text{kg/m}^3$ )

$\rho_B$  = massa jenis fluida B ( $\text{kg/m}^3$ )

$\rho$  = massa jenis fluida campuran ( $\text{kg/m}^3$ )

$\dot{m}_A$  = laju massa alir fluida A ( $\text{kg/s}$ )

$m_B$  = laju massa alir fluida B (kg/s)

$m$  = laju massa alir campuran antara fluida A dan fluida B (kg/s)

$V_{\text{diff A}}$  = kecepatan fluida A (m/s)

$V_{\text{diff B}}$  = kecepatan fluida B (m/s)

$V$  = kecepatan rata-rata campuran fluida (m/s)

$v$  = volume campuran antara udara dengan uap air (m<sup>3</sup>)

Kecepatan rata-rata fluida dapat diketahui nilainya dengan menggunakan rumus :

$$V = \frac{\rho_A V_A + \rho_B V_B}{\rho_m}$$

$$V = \frac{\rho_A}{\rho_m} V_A + \frac{\rho_B}{\rho_m} V_B$$

$$V = w_A V_A + w_B V_B$$

(Cengel, 1998: 651)(2-7)

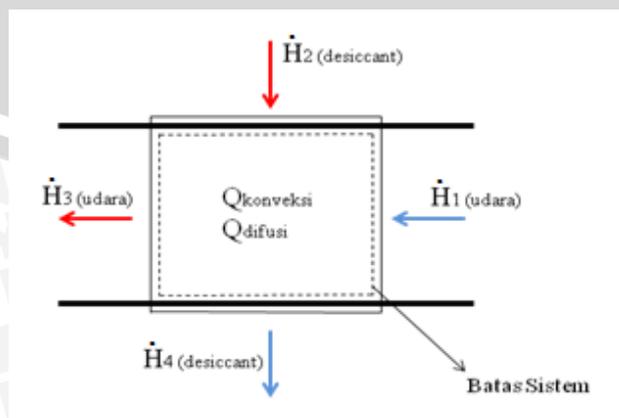
Keterangan :

$w_A$  = fraksi massa fluida A

$w_B$  = fraksi massa fluida B

### 2.6.3 Keseimbangan Kalor pada Sistem

Udara dengan temperatur ruangan dialirkan ke dalam sistem dengan menggunakan blower yang kemudian disinggunkan 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 2.6 menunjukkan keseimbangan kalor yang terjadi di dalam *dehumidifier*.



Gambar 2.6 : Keseimbangan kalor pada *Dehumidifier*

Keterangan :

$\dot{H}_1$  : Laju kalor udara yang masuk ke dalam sistem [kJ/s]

$\dot{H}_2$  : Laju kalor *desiccant* yang masuk ke dalam sistem [kJ/s]

$\dot{H}_3$  : Laju kalor udara yang keluar dari sistem ( $H_1 - Q_{\text{diff}} + Q_{\text{conv}}$ ) [kJ/s]

$\dot{H}_4$  : Laju kalor *desiccant* yang ditampung ( $H_2 + Q_{\text{diff}} - Q_{\text{conv}}$ ) [kJ/s]

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

a. Perpindahan Kalor Difusi ( $q_d$ )

Perpindahan kalor ini 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 ( $q_c$ )

Perpindahan kalor konveksi 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 ( $\Delta T$ ), koefisien konveksi ( $h$ ) dan luas permukaan perpindahan kalor ( $A$ ). Sedangkan nilai koefisien konveksi dipengaruhi oleh bilangan *Nusselt*, *Reynold* dan koefisien konduksi.

Semakin besar kecepatan udara maka bilangan *Reynold* akan semakin meningkat karena kecepatan udara berbanding lurus dengan bilangan *Reynold*, dimana dapat dirumuskan :

$$Re = \frac{Vd_H}{\nu} \quad (\text{Holman, 1984 : 174}) \quad (2-8)$$

Hubungan antara bilangan *Nusselt*, bilangan *Reynold* dan koefisien konveksi adalah sebagai berikut:

$$Nu = C Re^m Pr^n \quad (\text{Holman, 1984 : 230}) \quad (2-9)$$

$$Nu = \frac{hd_H}{k} \quad (\text{Holman, 1984 : 212}) \quad (2-10)$$

Dengan demikian dapat kita simpulkan, seiring dengan kenaikan kecepatan udara maka bilangan *Reynold*, bilangan *Nusselt* dan koefisien konveksi akan semakin besar,

akibatnya perpindahan kalor akibat proses konveksipun akan semakin meningkat. Hal tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$q = h.A.\Delta T \quad (\text{Holman, 1984 : 229}) \quad (2-11)$$

dimana :

Re = bilangan *Reynold*

v = kecepatan udara (m/s)

d<sub>H</sub> = diameter hidrolik

C<sub>m,n</sub> = konstanta

Pr = bilangan *Prandlt*

h = koefisien perpindahan panas konveksi (W/m<sup>2</sup> K)

k = koefisien konduksi (W/m.K)

Nu = bilangan *Nusselt*

ΔT = beda temperatur (K)

q = laju perpindahan kalor konveksi (J/s)

Udara tidak hanya terdiri dari udara kering saja, tetapi juga mengandung uap air sehingga untuk menghitung entalpinya digunakan persamaan :

$$h = C_p T_C + \omega h_g \quad (\text{Stoecker, 1992 : 42}) \quad (2-12)$$

Nilai laju energi kalor udara masuk (gambar 2.6) dihitung dengan rumus :

$$\dot{H}_1 = \dot{m}_{a1} (C_p T_1 + \omega_1 h_{g1}) \quad (2-13)$$

Keterangan :

$\dot{m}_{a1}$  = laju massa alir udara kering yang masuk ke dalam sistem (kg/s)

T<sub>1</sub> = temperatur udara *inlet* (°C)

ω<sub>1</sub> = kelembaban absolut udara *inlet* (kg<sub>uap air</sub>/kg<sub>udara kering</sub>)

h<sub>g1</sub> = entalpi uap udara *inlet* (J/kg)

Nilai laju energi kalor udara keluar (gambar 2.6) dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\dot{H}_3 = \dot{m}_{a3} (C_p T_3 + \omega_3 h_{g3}) \quad (2-14)$$

dimana :

$m_{a3}$  = laju massa alir udara kering yang keluar dari sistem (kg/s)

$T_3$  = temperatur udara keluar ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\omega_3$  = kelembaban absolut udara keluar ( $\text{kg}_{\text{uap air}}/\text{kg}_{\text{udara kering}}$ )

$h_{g3}$  = entalpi uap udara keluar (J/kg)

Laju massa alir udara kering yang masuk ke dalam sistem besarnya sama dengan laju massa alir udara kering yang keluar dari sistem, sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$m_{a1} = m_{a3} = m_a \quad (2-15)$$

$m_a$  merupakan laju massa alir udara kering, dimana nilainya dapat dihitung dengan rumus :

$$\omega = \frac{m_v}{m_a} \quad (\text{Stoecker, 1992 : 41}) \quad (2-16)$$

$$\omega \times m_a = m_v \quad (2-17)$$

$$m = \rho \times v \times A \quad (\text{Cengel, 1994 : 98}) \quad (2-18)$$

Dari persamaan (2-16) dan (2-18) akan diperoleh :

$$m = m_a + m_v$$

$$m = m_a + (\omega \times m_a)$$

$$m = (1 + \omega) \times m_a$$

$$m_a = \frac{m}{(1 + \omega)} \quad (2-19)$$

Keterangan :

$\omega$  = kelembaban absolut campuran udara dan uap air ( $\text{kg}_{\text{uap air}}/\text{kg}_{\text{udara kering}}$ )

$m$  = laju massa alir campuran udara dan uap air (kg/s)

$m_a$  = laju massa alir udara kering (kg/s)

$m_v$  = laju massa alir uap air (kg/s)

$v$  = kecepatan campuran udara dan uap air (m/s)

$\rho$  = m assa jenis campuran udara dan uap air (kg/m<sup>3</sup>)

Nilai  $H_2$  dan  $H_4$  pada gambar 2.6 masing-masing dihitung dengan rumus :

$$\dot{H}_2 = \dot{m}_2 \times h_2 \quad (2-20)$$

*Desiccant* yang digunakan adalah larutan 50 % LiBr maka energi yang dikandung adalah energi dari *desiccant* dan energi dari air, sehingga :

$$\begin{aligned} \dot{H}_2 &= \dot{H}_d + \dot{H}_w \\ \dot{H}_2 &= \dot{m}_2 . T_2 (Cp_d + Cp_w) \end{aligned} \quad (2-21)$$

Keterangan :

$\dot{H}_d$  = energi kalor yang dikandung *desiccant* (kJ/s)

$\dot{H}_w$  = energi kalor yang dikandung air (kJ/s)

$\dot{m}_2$  = laju massa alir *desiccant* yang masuk ke dalam sistem (kg/s)

$T_2$  = temperatur *desiccant inlet* (°C)

$Cp_d$  = kalor spesifik *desiccant*

$Cp_w$  = kalor spesifik air = 4,19 kJ/kg. K

$$\dot{H}_4 = \dot{m}_4 \times h_4 \quad (2-22)$$

$$\dot{H}_4 = \dot{H}_d + \dot{H}_w$$

$$\dot{H}_4 = \dot{m}_4 . T_4 (Cp_d + Cp_w) \quad (2-23)$$

Keterangan :

$\dot{m}_4$  = laju massa alir *desiccant* yang keluar dari sistem (kg/s)

$T_4$  = temperatur *desiccant outlet* (°C)

Laju massa alir *desiccant* masing-masing dihitung dari perkalian antara massa jenis *desiccant* dengan debitnya atau secara matematis dapat ditulis :

$$\dot{m}_2 = \rho_{desiccant} \times \dot{Q}_2$$

$$\dot{m}_4 = \rho_{desiccant} \times \dot{Q}_4 \quad (2-24)$$

Sedangkan nilai kalor spesifik *desiccant* dapat dilihat pada tabel properti larutan LiBr (Tabel 2.1) yang tergantung dengan besarnya temperatur dan konsentrasi larutan (%) masing-masing kondisi.

#### 2.6.4 Transfer massa pada *Desiccant Dehumidification System*

Transfer massa adalah gerakan perpindahan suatu zat dalam ukuran massa dari satu lokasi ke lokasi lain, biasanya berupa aliran, fase, fraksi, komponen, atau yang lain. Transfer massa terjadi dalam banyak proses, seperti penyerapan, penguapan, adsorpsi, pengeringan, curah hujan, filtrasi membran, dan distilasi. Perpindahan massa digunakan oleh disiplin ilmu yang berbeda untuk proses yang berbeda dan mekanisme. Ungkapan ini secara umum digunakan dalam rekayasa untuk proses fisik yang melibatkan difusif dan konvektif transportasi spesies kimia dalam sistem fisik. ([http://en.wikipedia.org/wiki/Mass\\_transfer](http://en.wikipedia.org/wiki/Mass_transfer)).

Di dalam *Liquid Desiccant Dehumidification System* sendiri, yang dimaksud dengan transfer massa adalah perpindahan massa uap air yang terkandung dalam udara lingkungan menuju *desiccant* yang disemprotkan ke dalam sistem. Sifat higroskopis *desiccant* menyebabkan zat tersebut memiliki kemampuan untuk mengikat/menyerap uap air, dan hal tersebut memungkinkan terjadinya perpindahan uap air dari udara lingkungan ke *desiccant*.

Nilai *transfer* massa dihitung dengan melihat perubahan nilai massa alir, baik udara *inlet* maupun *desiccant* selama proses berlangsung. Mengacu pada gambar 2.6 di atas, maka persamaan nilai transfer massa dapat ditulis:

$$\Delta \dot{m} = \dot{m}_{a1} - \dot{m}_{a3} = \dot{m}_{a2} - \dot{m}_{a4} \quad (2-25)$$

#### 2.6.5 Transfer Energi pada *Desiccant Dehumidification System*

Transfer energi atau perpindahan panas adalah disiplin rekayasa termal yang menyangkut generasi, penggunaan, konversi, dan pertukaran energi panas dan panas antara sistem fisik. Perpindahan panas diklasifikasikan menjadi berbagai mekanisme, seperti konduksi panas, konveksi, radiasi termal, dan transfer energi oleh perubahan fasa. Insinyur juga mempertimbangkan transfer massa berbeda secara kimia, baik dingin atau panas, untuk mencapai perpindahan panas. Sementara mekanisme ini memiliki karakteristik yang berbeda, mereka sering terjadi secara bersamaan dalam sistem yang sama. Konduksi panas, juga disebut difusi, adalah pertukaran mikroskopis langsung energi kinetik dari partikel melalui batas antara dua sistem. Ketika sebuah objek yang

berbeda berada pada suhu dari yang lain tubuh atau sekitarnya, panas mengalir sehingga tubuh dan sekitarnya mencapai suhu yang sama, pada saat mana mereka berada dalam kesetimbangan termal. Perpindahan panas seperti selalu terjadi spontan dari daerah suhu tinggi ke suhu yang lebih rendah wilayah, seperti yang dipersyaratkan oleh hukum kedua termodinamika .

Pada *Liquid Desiccant Dehumidification System*, transfer energi terjadi karena perbedaan nilai energi panas yang dimiliki oleh udara *inlet* dengan *desiccant*. Ditinjau dari besarnya nilai laju energi udara *inlet* yang lebih tinggi dibanding laju energi *desiccant*, maka terjadi perpindahan energi dari udara ke *desiccant*.

Mengacu pada gambar 2.6, nilai *transfer* energi dihitung dengan persamaan :

$$\Delta \dot{H} = \dot{H}_1 - \dot{H}_3 = \dot{H}_2 - \dot{H}_4 \quad (2-26)$$

### 2.6.6 Efisiensi *Desiccant Dehumidification System*

Efisiensi merupakan salah satu parameter kinerja dalam sebuah sistem. Efisiensi bisa berarti efek yang bermanfaat dibandingkan dengan pengorbanan yang dilakukan, namun bisa juga berarti kinerja aktual yang bisa dilakukan sebuah sistem dibandingkan dengan kinerja maksimal dari sistem tersebut.

*Desiccant dehumidification system* merupakan sistem yang dipergunakan untuk mengurangi kelembaban udara dalam sebuah ruangan. Oleh karena itu, salah satu parameter kinerja dari *desiccant dehumidification system* adalah banyaknya uap air yang mampu diserap dari udara pada ruangan tersebut. Dengan demikian efisiensi *desiccant dehumidification system* adalah perbandingan antara banyaknya uap air aktual yang diserap dengan banyaknya uap air maksimal yang mampu diserap pada ruangan tersebut.

$$\eta_{DDS} = \frac{\omega_1 - \omega_3}{\omega_1} \cdot 100\%$$

$$\eta_{DDS} = \frac{\Delta \omega}{\omega_1} \cdot 100\% \quad (2-27)$$

Dengan kata lain, semakin tinggi nilai efisiensi *desiccant dehumidification system*, maka semakin banyak kadar uap air dalam udara yang dapat di serap oleh *desiccant* saat udara tersebut melalui sistem, sehingga penurunan kadar uap air aktual pada udara yang melalui sistem juga semakin tinggi.

## 2.7 Kerangka Berpikir

Pada *liquid desiccant dehumidification system*, karakteristik *desiccant* yang digunakan sangat mempengaruhi kinerja sistem. Agar kerja penurunan kelembaban dapat berjalan optimal, diperlukan *desiccant* yang memiliki kemampuan yang tinggi dalam menyerap uap air dalam udara. Selain itu, kondisi sistem juga akan mempengaruhi hasil kinerja, dimana hal itu meliputi temperatur udara, temperatur *desiccant*, kondisi aliran, kecepatan alir udara.

Salah satu faktor pengkondisian udara yang mempengaruhi kinerja sistem yaitu temperatur *desiccant*, dimana semakin tinggi temperaturnya, maka semakin besar juga perbedaan temperatur yang terjadi dibanding temperatur udara sekitar. Hal ini mengakibatkan semakin tinggi perpindahan kalor yang terjadi dari *desiccant* menuju udara. Dengan meningkatnya perpindahan kalor, nilai transfer energi yang terjadi juga mengalami peningkatan. Selain itu, massa uap air dalam udara yang diserap oleh *desiccant* juga semakin tinggi seiring peningkatan transfer energi dan transfer massa yang terjadi antara *desiccant* dan udara yang melalui sistem. Semakin tinggi transfer energi yang terjadi mengakibatkan efisiensi *thermal* dari *liquid desiccant dehumidification system* juga akan semakin meningkat.

Sistem dehumidifikasi menggunakan *liquid desiccant* ini memiliki lebih banyak keuntungan daripada sistem dehumidifikasi menggunakan *solid desiccant* (Fumo & Goswami, 2000). Pada sistem dehumidifikasi menggunakan *liquid desiccant*, kontak antara *liquid desiccant* dan udara akan menghasilkan *transfer* massa dan kalor yang baik. Beberapa parameter yang mempengaruhi unjuk kerja dehumidifikasi secara signifikan, yaitu laju aliran udara, rasio kelembaban, temperatur *desiccant* dan konsentrasi *desiccant*.

## 2.8 Hipotesis

Semakin tinggi temperatur *liquid desiccant* (LiBr) yang masuk ke dalam sistem menyebabkan kalor *liquid desiccant* yang dipindahkan dan jumlah massa uap air yang diserap akan semakin besar, sehingga proses *transfer* energy dan *transfer* massa serta efisiensi *Desiccant Dehumidification System (DDS)* akan semakin meningkat.

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan adalah dengan menggunakan metode eksperimental (*true experimental research*) yang secara langsung digunakan ke obyek yang akan diteliti. Obyek tersebut akan diambil datanya pada tahapan-tahapan tertentu yang akan menghasilkan beberapa data yang bisa dibandingkan dan akan menunjukkan suatu pola perbandingan tertentu yang bisa dihubungkan.

#### 3.2 Variabel Penelitian

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

1. Variabel bebas (*independent variable*)

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya kita tentukan dan tidak dipengaruhi oleh variabel lain, berfungsi sebagai sebab dalam penelitian. Adapun yang merupakan variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi kecepatan udara *inlet* sebesar 1 m/s; 1,5 m/s; 2 m/s; 2,5 m/s dan 3 m/s.

2. Variabel terikat (*dependent variable*)

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya tergantung dari variabel bebas dan besarnya dapat diketahui setelah penelitian dilakukan. Adapun variabel terikat dalam penelitian ini yaitu :

1. *Transfer energi*
2. *Transfer massa*
3. Efisiensi *DDS*

3. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol pada penelitian ini nilainya dikonstantakan selama penelitian dilakukan. Variabel yang dikontrol dalam penelitian ini adalah temperatur *desiccant*, divariasikan masing-masing sebesar 40 °C; 50 °C dan 60 °C.

### 3.3 Alat-alat Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari :

#### 1. *Wind tunnel*

*Wind tunnel* merupakan suatu alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan aliran udara yang mengalir di dalamnya.



Gambar 3.1 : *Wind Tunnel*

#### 2. *Drift Eliminator*

*Drift eliminator* digunakan untuk mencegah hanyutnya *droplet- droplet desiccant* atau air dalam aliran udara proses yang meninggalkan sistem. *Drift eliminator* berbentuk bilah-bilah persegi panjang yang disusun miring secara vertikal. *Drift eliminator* terbuat dari bahan *polypropylene*.

#### 3. Sensor dan peralatan pendukung lainnya.

##### 1. *Thermocouple*

*Thermocouple* ini digunakan untuk mengukur temperatur udara masuk dan temperatur udara keluar sistem. Dalam hal ini, *thermocouple* digunakan untuk mengubah suatu besaran fisis yang berupa suhu menjadi bentuk listrik berupa tegangan.

##### 2. Peralatan pendukung

###### 1. *Digital Multimeter*

Alat ini berfungsi untuk mengubah data *analog* dari *termocouple* menjadi temperatur dengan tampilan *digital*.

###### 2. *Thermocontroller*

Fungsi dari alat ini adalah memutus arus listrik yang mengalir pada *heater* secara otomatis ketika temperatur *desiccant* mencapai 40 °C; 50 °C dan 60 °C pada setiap pengambilan data serta menghidupkannya kembali

ketika temperatur *desiccant* di bawah 40 °C; 50 °C dan 60 °C. Toleransi dari pengaturan temperatur ini adalah  $\pm 0,5$  °C.

#### 4. Pompa

Pompa yang digunakan dalam penelitian ini adalah *wiper washer assy* mobil yang digunakan untuk memompa *desiccant* menuju *spray nozzle*. Adapun spesifikasi pompa tersebut adalah sebagai berikut :

1. No. Part : MZS38017
2. Merk : G
3. Daya : 0,175 kW
4. Kapasitas : 25 ml/menit

#### 5. Spray Nozzle

*Spray nozzle* merupakan suatu alat yang berfungsi untuk mengubah energi tekanan fluida masuk *spray nozzle* menjadi energi kecepatan fluida keluar *spray nozzle*. Partikel dari fluida (*desiccant*) dipecah menjadi butiran yang jauh lebih kecil dan halus.

#### 6. Gelas ukur

Gelas ukur ini (Gambar 3.2) berfungsi untuk mengetahui debit *desiccant* yang disemprotkan ke dalam sistem. Debit dihitung dengan membagi volume *desiccant* yang terkumpul pada gelas ukur dengan waktu selama proses pengumpulan *desiccant* tersebut. Secara matematis dapat ditunjukkan dengan rumus :

$$\dot{Q} = \frac{V}{t}$$

Dimana :

$\dot{Q}$  = debit *desiccant* (m<sup>3</sup>/detik)

$V$  = volume *desiccant* (m<sup>3</sup>)

$t$  = waktu (detik)



Gambar 3.2 : Gelas Ukur

### 7. Heater

*Heater* (Gambar 3.3) digunakan untuk meningkatkan temperatur *desiccant* dalam bak penampung. *Heater* ini dihubungkan dengan *thermo controller* untuk menjaga temperatur *desiccant* agar tetap konstan dalam setiap pengambilan data.



Gambar 3.3 : Heater

### 8. Adaptor

Adaptor (Gambar 3.4) berfungsi sebagai sumber listrik untuk menyalakan pompa, sehingga pompa dapat menekan *desiccant* menuju *spray nozzle* dan tersembur keluar menjadi partikel-partikel kecil dan halus. Adapun spesifikasi adaptor adalah sebagai berikut :

1. Arus : 5 A
2. Tegangan : 12 Volt



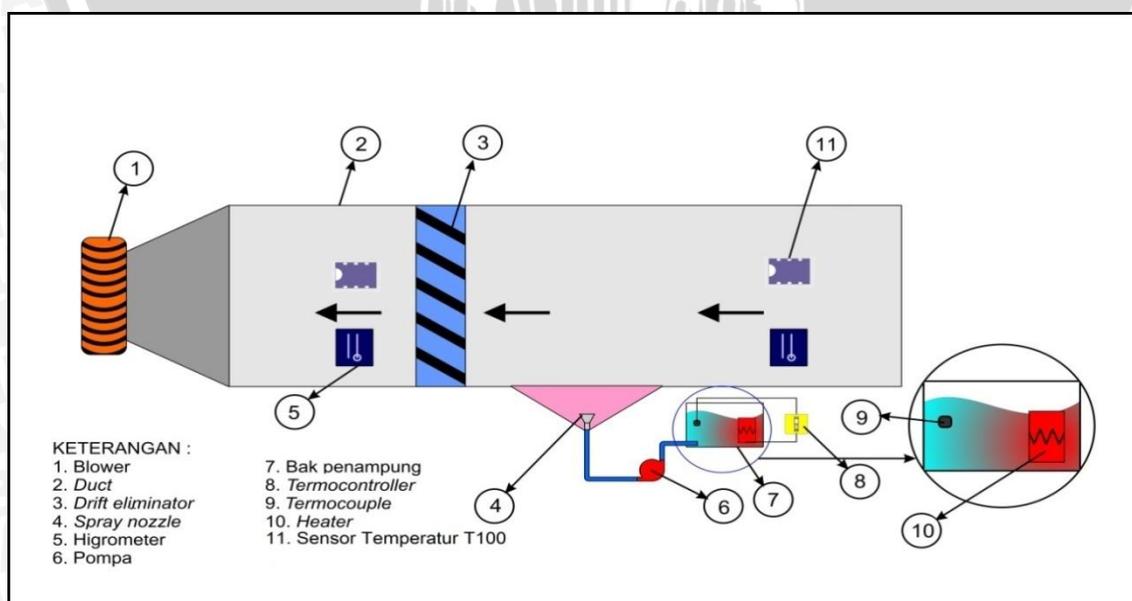
Gambar 3.4 : Adaptor

### 9. Sensor Temperatur T100

Sensor temperatur T100 adalah sensor yang digunakan untuk mengukur temperatur udara pada suatu sistem dan bisa langsung mengukuisisinya dalam *data sheet* pada komputer. Penggunaan sensor ini ditujukan untuk memperoleh sensitifitas pengukuran temperatur yang lebih tinggi dibanding temperatur konvensional, karena sensor ini memiliki ketelitian  $\pm 0,4 \text{ }^\circ\text{C}$  untuk pengukuran temperatur. Dengan mengetahui temperatur pada sistem tersebut, dapat diketahui propertis udara lainnya seperti kelembaban relatif, *entalphy*, rasio kelembaban, dan volume spesifik udara pada diagram *psychrometric*.

### 3.4 Instalasi Penelitian

Gambar di bawah menjelaskan instalasi penelitian beserta keterangannya dan beberapa alat pendukungnya.



Gambar 3.5 : Instalasi Penelitian

### 3.5 Prosedur penelitian

- Persiapan meliputi :

1. Menyiapkan instalasi penelitian dengan berbagai variasi kecepatan udara *inlet*.
2. Memanaskan *desiccant* dengan *heater* sampai pada temperatur 40 °C.
3. Pengecekan kondisi alat ukur meliputi manometer dan sensor beserta alat pendukungnya.
4. Ulangi langkah 1 sampai 3 untuk setiap pengesetan temperatur *desiccant* sebesar 50 °C dan 60 °C.

- Pelaksanaan percobaan :

1. Memasang semua instalasi penelitian pada *wind tunnel* dengan temperatur *desiccant* sebesar 40 °C.
2. Menghidupkan pompa dan mengatur debit air sesuai dengan yang diinginkan.
3. Hidupkan blower dengan bukaan 5 cm.
4. Setelah keadaan mencapai kondisi *steady*, pengambilan data dapat dilakukan.
5. Mengambil data temperatur udara masuk, temperatur udara keluar.
6. Mengulangi langkah 2 sampai 4 pada variasi kecepatan udara *inlet* sebesar 1 m/s; 1,5 m/s 2 m/s; 2,5 m/s dan 3 m/s.
7. Mengulangi langkah 2 sampai 5 pada temperatur *desiccant* sebesar 50 °C dan 60 °C.
8. Data diolah, kemudian dianalisa pengaruh variasi temperatur LiBr terhadap unjuk kerja sistem. Data dianalisa dengan rumusan dan persamaan sesuai dengan ilmu mekanika fluida dan thermodinamika. Dari analisa tersebut nantinya akan dapat diketahui hubungan antara variabel bebas dan variabel terkontrol terhadap variabel terikatnya. Dari hubungan tersebut akan digunakan untuk menjawab rumusan masalah yang telah dikemukakan lebih awal.
9. Menarik kesimpulan.

### 3.6 Tempat Penelitian

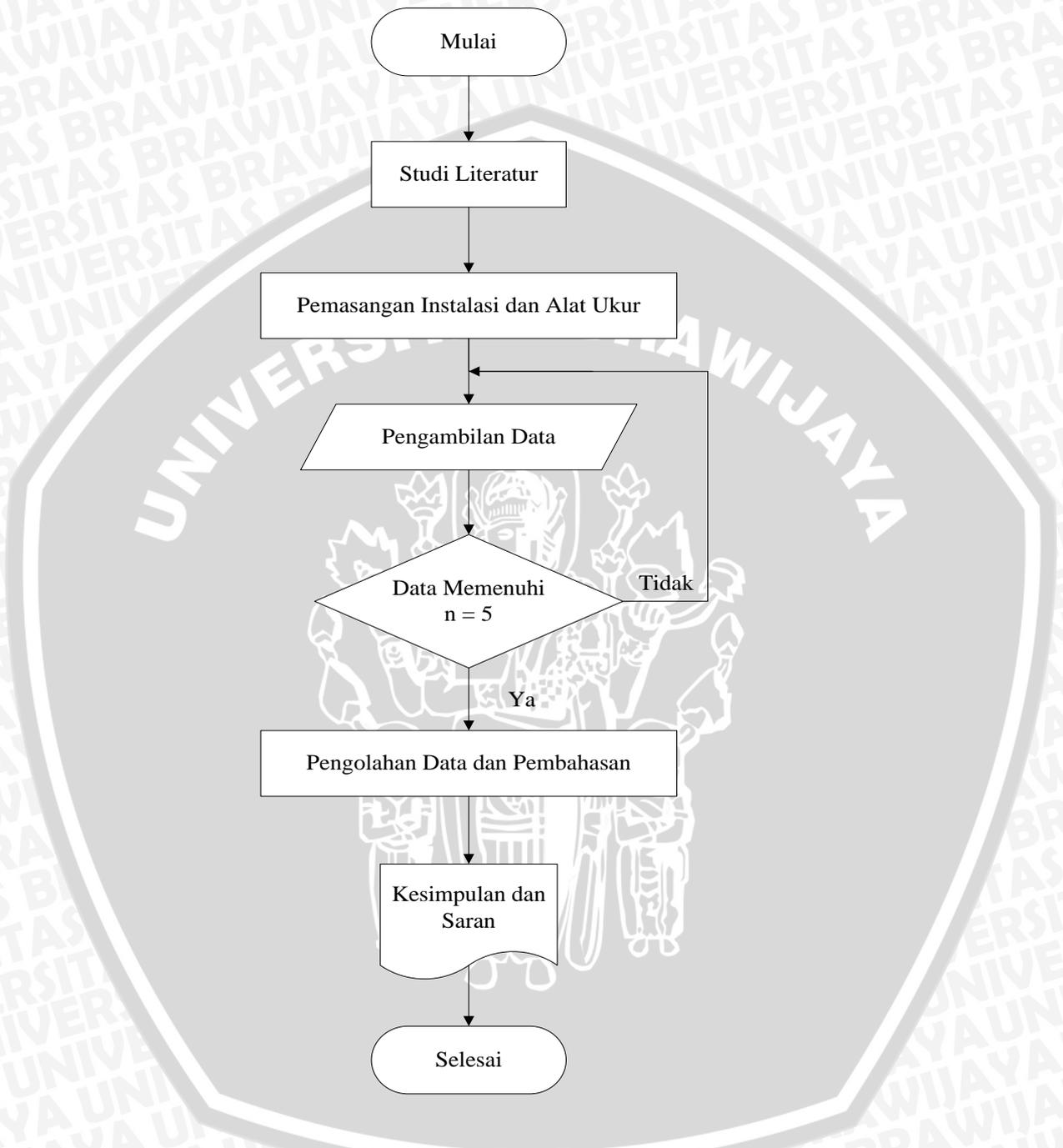
Penelitian dilakukan di Laboratorium Mesin-mesin Fluida, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya.

### 3.7 Rancangan Penelitian

Model rancangan penelitian ini melibatkan satu variabel bebas yaitu variasi kecepatan udara terhadap *transfer* energi, *transfer* massa dan efisiensi *thermal* dari *liquid desiccant dehumidification system*.

### 3.8 Diagram Alir Penelitian

Berikut ini adalah diagram alir penelitian, Gambar 3.12 menunjukkan alur dari proses penelitian.



Gambar 3.6 : Diagram Alir Penelitian

## BAB IV DATA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Analisa Data

#### 4.1.1 Data Hasil Pengujian

Berikut ini (Tabel 4.1; 4.2 dan 4.3) adalah data hasil pengujian pengaruh variasi temperatur LiBr terhadap unjuk kerja dari *Liquid Desiccant Dehumidification System* :

Tabel 4.1 : Tabel hasil pengambilan data yang diperoleh pada  $T_{desiccant\ inlet} = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

$P_{atm} = 1\text{ atm}$

V (m/s)	Td in (°C)	Tw in (°C)	Td out (°C)	Tw out (°C)
1	28	25	27	23,5
	28	25,5	27,5	24,5
1,5	28	25	27	23,5
	28	25,5	27,5	24
2	28	25	27,5	23
	28	25,5	27,5	23,5
2,5	28	25	27	22,5
	28	25	27,5	23
3	28	25	27	23
	28	25	27	23,5

Tabel 4.2 : Tabel hasil pengambilan data yang diperoleh pada  $T_{desiccant\ inlet} = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

$P_{atm} = 1\text{ atm}$

V (m/s)	Td in (°C)	Tw in (°C)	Td out (°C)	Tw out (°C)
1	28	25	27,5	23,5
	28	25	27	23
1,5	28	25	27,5	23
	28	25,5	27	23
2	28	25,5	27,5	23
	28	25,5	27,5	23
2,5	28	25	27,5	22,8
	28	25,5	27	22,8
3	28	25	27	22,8
	28	25,5	27	22,8

Tabel 4.3 : Tabel hasil pengambilan data yang diperoleh pada  $T_{desiccant\ inlet} = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ . $P_{atm} = 1\text{ atm}$ 

V (m/s)	Td in ( $^{\circ}\text{C}$ )	Tw in ( $^{\circ}\text{C}$ )	Td out ( $^{\circ}\text{C}$ )	Tw out ( $^{\circ}\text{C}$ )
1	28	25	27	23
	28	25,5	27,5	23,5
1,5	28	25,5	27	23
	28	25,5	27,5	23
2	28	25,5	27	22,3
	28	25	27	22,3
2,5	28	25	27,5	22,5
	28	25,5	27,5	22
3	28	25	27	22,2
	28	25,5	27,5	22,2

#### 4.1.2 Contoh Perhitungan

Data yang diperoleh dari pengujian untuk temperatur *desiccant*  $60^{\circ}\text{C}$  :

a. Data dari hasil pengujian (Tabel 4.1, data pertama)

- $T_{din} = 28\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $T_{win} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $T_{dout} = 27\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $T_{wout} = 23\text{ }^{\circ}\text{C}$

b. Data yang diambil dari diagram *psycrometric*

- $RH_1 = 78\%$
- $RH_3 = 72\%$
- $\omega_1 = 0,0189\text{ kg}_{\text{uap air}}/\text{kg}_{\text{udara kering}}$
- $\omega_3 = 0,0162\text{ kg}_{\text{uap air}}/\text{kg}_{\text{udara kering}}$

c. Data yang diperoleh dari table A<sub>1</sub> dan tabel A<sub>2</sub>

- $\rho_{udara\ inlet} = 1,103\text{ kg/m}^3$
- $hg_1 = 2554,55\text{ kJ/kg}$
- $hg_3 = 2550,9\text{ kJ/kg}$

Pengolahan Data :

1. Laju massa alir udara *inlet* ( $m_1$ )

$$m_1 = \rho_{udara} \times v_1 \times A$$

$$m_1 = 1,103 \times 1 \times 0,3 \times 0,155$$

$$m_1 = 0,0513 \text{ kg/s}$$

2. Laju massa alir udara kering ( $m_a$ )

$$m_a = \frac{m_1}{(1 + \omega_1)}$$

$$m_a = \frac{0,0513}{(1 + 0,0189)}$$

$$m_a = 0,05034 \text{ kg/s}$$

3. Laju massa alir udara *outlet* ( $m_3$ )

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_a \times (1 + \omega_3)$$

$$\dot{m}_3 = 0,05034 \times (1 + 0,0162)$$

$$\dot{m}_3 = 0,0512 \text{ kg/s}$$

4. Transfer massa

$$\Delta \dot{m} = \dot{m}_1 - \dot{m}_3$$

$$\Delta \dot{m} = 0,0513 - 0,0512$$

$$\Delta \dot{m} = 0,0001 \text{ kg/s}$$

5. Entalpi total udara sisi masuk ( $H_1$ )

$$H_1 = \dot{m}_a \times (C_p T_{d1} + h_{g1} \times \omega_1)$$

$$H_1 = 0,05034 \times (1 \times 28 + 2554,55 \times 0,0189)$$

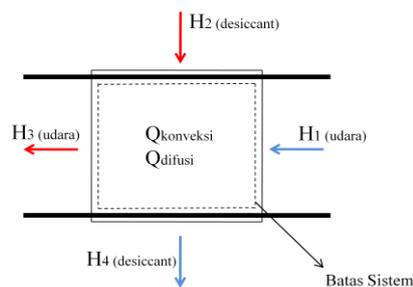
$$H_1 = 3,83 \text{ kJ/s}$$

6. Entalpi total udara sisi keluar ( $H_3$ )

$$H_3 = \dot{m}_a \times (C_p T_{d3} + h_{g3} \times \omega_3)$$

$$H_3 = 0,05034 \times (1 \times 25 + 2550,9 \times 0,0162)$$

$$H_3 = 3,44 \text{ kJ/s}$$



7. Transfer Energi ( $\Delta H$ )

$$\Delta H = H_1 - H_3$$

$$\Delta H = 3,83 - 3,44$$

$$\Delta H = 0,41 \text{ kJ/s}$$

## 8. Efisiensi DDS

$$\eta_{DDS} = \frac{\text{berguna}}{\text{pengorbanan}} \times 100\%$$

$$\eta_{DDS} = \frac{\Delta \omega}{\omega_1} \times 100\%$$

$$\eta_{DDS} = \frac{0,0027}{0,0189} \times 100\%$$

$$\eta_{DDS} = 14,28\%$$

## 4.1.3 Hasil Pengolahan Data

Hasil pengolahan data akan di tampilkan dalam bentuk tabel (Tabel 4.4; Tabel 4.5 dan Tabel 4.6) berikut ini :

Tabel 4.4 : Tabel hasil pengolahan data untuk *transfer* massa,  $\Delta \dot{m}$  (kg/s).

$$P_{\text{atm}} = 1 \text{ atm}$$

V (m/s)	Transfer massa (kg/s) pada temperatur		
	40°C	50°C	60°C
1	0,00010068	0,00011074	0,00013591
	0,00010036	0,00020856	0,00021616
1,5	0,00014346	0,00021897	0,00024903
	0,00022889	0,00037767	0,00040056
2	0,00029196	0,00035216	0,00042259
	0,00046804	0,00058505	0,00073593
2,5	0,00040270	0,00040270	0,00049080
	0,00051447	0,00060281	0,00081557
3	0,00040774	0,00042284	0,00057385
	0,00036407	0,00065111	0,00084262

Tabel 4.5 : Tabel hasil pengolahan data untuk *transfer energi*,  $\Delta H$  (kJ/s).

$$P_{\text{atm}} = 1 \text{ atm}$$

V (m/s)	Transfer Energi (KJ/s) pada temperatur		
	40°C	50°C	60°C
1	0,3099	0,3104	0,4005
	0,2977	0,6146	0,5958
1,5	0,4465	0,6015	0,7175
	0,6478	1,0881	1,0893
2	0,8020	0,9577	1,1387
	1,2900	1,5910	1,9768
2,5	1,1628	1,0997	1,3891
	1,4139	1,7321	2,1887
3	1,2025	1,2410	1,6282
	1,1342	1,8708	2,3619

Tabel 4.6 : Tabel hasil pengolahan data untuk efisiensi DDS,  $\eta_{\text{DDS}}$  (%).

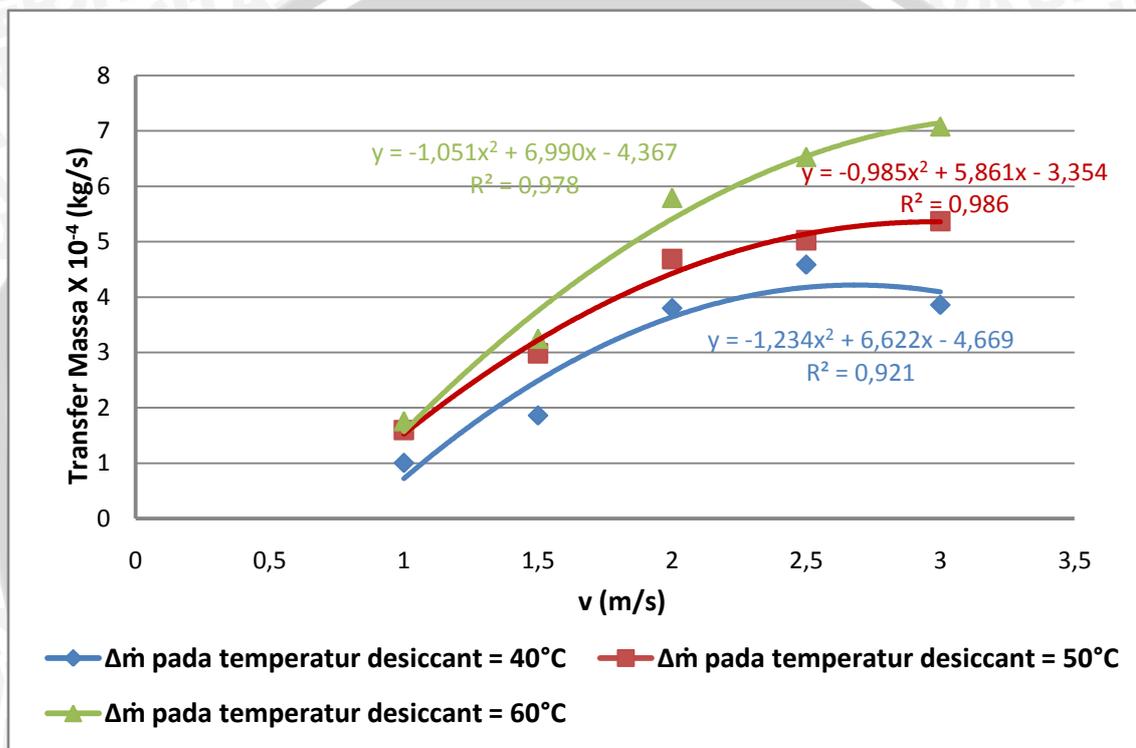
$$P_{\text{atm}} = 1 \text{ atm}$$

V (m/s)	Efisiensi DDS pada temperatur		
	40°C	50°C	60°C
1	0,1058	0,1164	0,1429
	0,0667	0,1429	0,1436
1,5	0,1005	0,1534	0,1692
	0,1026	0,1692	0,1795
2	0,1534	0,1795	0,2011
	0,1436	0,1795	0,2256
2,5	0,1693	0,1693	0,2154
	0,1534	0,1744	0,2328
3	0,1429	0,1481	0,2063
	0,1005	0,1744	0,2359

## 4.2 Pembahasan Grafik

### 4.2.1 Pembahasan Grafik Hubungan antara Kecepatan Udara *Inlet* ( $v$ ) terhadap *Transfer Massa* ( $\Delta m$ )

Hubungan antara kecepatan udara *inlet* ( $v$ ) terhadap *transfer* massa tersaji dalam grafik pada Gambar 4.1. Sumbu absis (sumbu  $x$ ) pada grafik di bawah menyatakan kecepatan udara *inlet*, sedangkan sumbu ordinat (sumbu  $y$ ) menyatakan *transfer* massa.



Gambar 4.1 : Grafik Hubungan antara Kecepatan Udara *Inlet* ( $V$ ) terhadap *Transfer Massa* ( $\Delta m$ )

Dari grafik (Gambar 4.1) terlihat bahwa semakin tinggi kecepatan udara *inlet*, maka proses transfer massa yang terjadi juga semakin besar. Nilai transfer massa semakin meningkat seiring dengan naiknya kecepatan udara *inlet*. Massa udara yang mengalir pada sistem ini adalah campuran antara massa udara kering dengan massa uap air. Massa udara kering pada sisi *inlet* dan *outlet* adalah sama, sehingga massa udara kering dalam sistem ini adalah konstan. Dari kondisi tersebut, dapat dikatakan bahwa perbedaan massa udara campuran dalam sistem ini dipengaruhi oleh jumlah massa uap air.

Peningkatan transfer massa yang terjadi diakibatkan oleh semakin meningkatnya laju massa alir udara yang masuk ke dalam sistem seiring peningkatan kecepatan udara yang masuk ke dalam sistem. 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. Hal ini sesuai dengan rumus :

$$\omega = m_v/m_a$$

Nilai dari kelembaban absolut ini akan mempengaruhi nilai *transfer* massa yang dihasilkan. Semakin besar selisih kelembaban absolut antar sisi *inlet* dan outlet maka *transfer* massa yang dihasilkan akan semakin besar. Hal tersebut ditunjukkan oleh persamaan berikut:

$$m_1 = \rho_{udara} \times v_1 \times A \quad (\text{Cengel, 1994 : 98})$$

$$m_a = \frac{m_1}{(1 + \omega_1)}$$

$$m_3 = m_a \times (1 + \omega_3)$$

$$\Delta m = m_1 - m_3$$

Persamaan di atas menunjukkan bahwa transfer massa merupakan selisih massa udara campuran pada sisi *inlet* dan *outlet*. Massa udara campuran yang mengalir dalam sistem dipengaruhi oleh kecepatan udara *inlet* ( $v$ ) dan juga kelembaban absolut ( $\omega$ ).

Semakin besar kecepatan udara *inlet*, berarti semakin besar pula massa udara campuran yang melewati sistem. Hal itu berarti semakin banyak pula massa uap air yang diserap oleh *desiccant* dan mengakibatkan proses transfer massa akan semakin besar. Faktor lain yang mempengaruhi massa udara campuran adalah kelembaban absolut ( $\omega$ ). Kelembaban absolut pada sisi *inlet* lebih tinggi jika dibandingkan dengan kelembaban absolut pada sisi *outlet* dan mengindikasikan bahwa massa uap air pada sisi

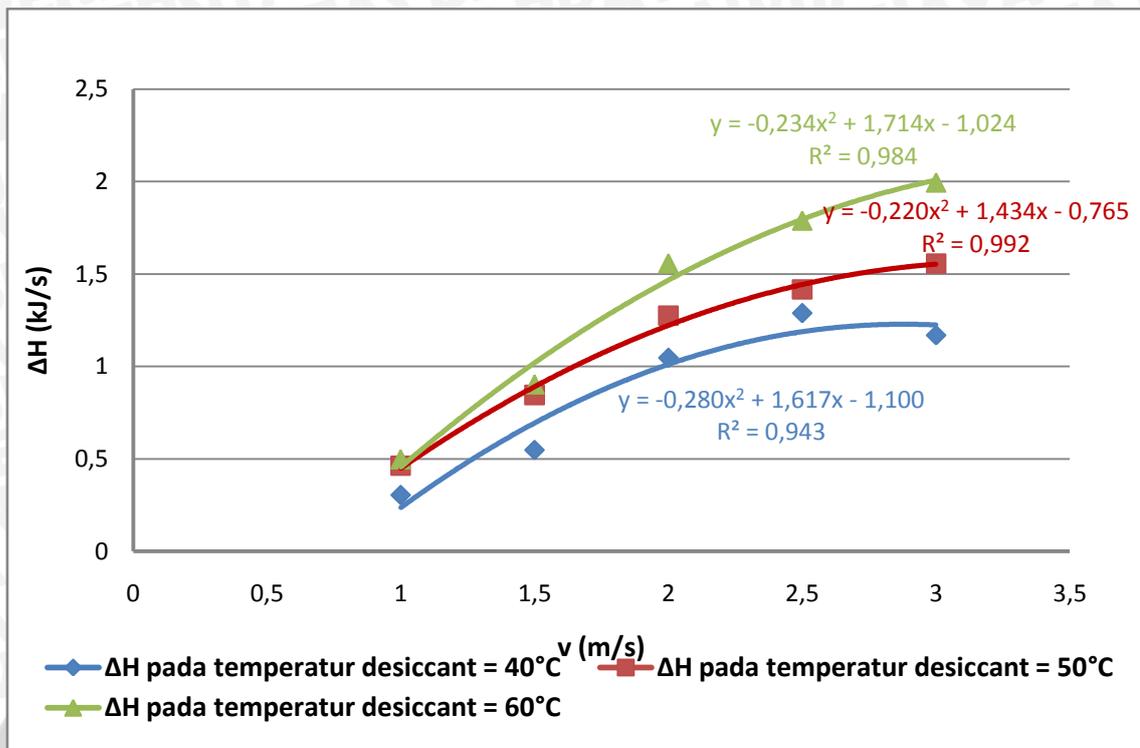
*inlet* lebih banyak daripada massa uap air pada sisi *outlet*. Massa uap air pada sisi *outlet* berkurang, diakibatkan massa uap air yang terkandung pada udara diserap oleh *desiccant* pada saat udara melewati semprotan *desiccant*.

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur *desiccant* yang disemprotkan kedalam sistem akan membuat proses transfer massa semakin besar. Dapat dilihat pada kecepatan udara *inlet* yang sama, yaitu 3 m/s nilai transfer massa yang terjadi pada saat temperatur *desiccant* 40°C adalah  $3,85 \times 10^{-4}$  kg/s. Pada saat temperatur *desiccant* 50°C, nilai transfer massa adalah  $5,36 \times 10^{-4}$  kg/s dan nilai transfer massa yang tertinggi adalah pada saat temperatur *desiccant* 60°C yaitu  $7,08 \times 10^{-4}$  kg/s. Data tersebut menunjukkan bahwa pada kecepatan udara *inlet* yang sama, proses transfer massa yang terbesar adalah pada saat temperatur *desiccant* yang masuk kedalam sistem sebesar 60°C, kemudian menurun pada saat temperatur *desiccant* 50°C dan yang paling rendah adalah pada saat temperatur *desiccant* 40°C. Hal tersebut dikarenakan dengan temperatur yang semakin besar akan membuat kemampuan *desiccant* untuk menyerap uap air dalam udara proses (higroskopis) akan semakin baik dan akan membuat massa uap air yang dapat diikat oleh *desiccant* akan semakin meningkat. Dengan meningkatnya jumlah massa uap air yang diikat *desiccant* dari udara proses, maka proses transfer massa yang terjadi juga semakin meningkat.

Hasil penelitian di atas memiliki kecenderungan yang sama dengan penelitian Mago dan Goswami (2001) menggunakan larutan *desiccant* LiCl yang menjelaskan bahwa transfer massa dan laju kondensasi dipengaruhi oleh laju udara *inlet*. Semakin tinggi laju udara *inlet* akan meningkatkan transfer massa dan laju kondensasi.

#### **4.2.2 Pembahasan Grafik Hubungan antara Kecepatan Udara *Inlet* (V) terhadap Transfer Energi ( $\Delta H$ )**

Hubungan antara kecepatan udara *inlet* (v) terhadap *transfer* energi tersaji dalam grafik pada Gambar 4.2. Sumbu absis (sumbu x) pada grafik di bawah menyatakan kecepatan udara *inlet*, sedangkan sumbu ordinat (sumbu y) menyatakan *transfer* energi.



Gambar 4.2 : Grafik Hubungan antara Kecepatan Udara *Inlet* (V) terhadap *Transfer Energi* ( $\Delta H$ )

Dari Gambar 4.2 dapat kita ketahui 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* ( $\Delta H$ ) 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 ( $H_3$ ).

Entalpi total pada suatu sisi dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu temperatur udara campuran ( $T$ ), kelembaban absolut ( $\omega$ ) dan entalpi uap ( $h_g$ ) yang terkandung didalam udara. Entalpi total pada sisi keluar akan menurun seiring dengan penurunan ketiga faktor tersebut ( $T_3$ ,  $\omega_3$ ,  $h_{g3}$ ). Semakin tinggi kecepatan udara yang masuk ( $v$ ) ke dalam sistem, massa udara yang mengalir ke dalam system juga semakin besar, akibatnya proses *transfer energi* akan semakin tinggi karena entalpi total pada sisi *outlet* turun. Hal tersebut sesuai dengan rumus entalpi total yaitu :

$$H = \dot{m}_a(C_p T + \omega h_g)$$

Penurunan nilai entalpi pada sisi keluar disebabkan karena semakin banyak massa uap air yang diserap oleh *desiccant* seiring kecepatan udara *inlet* yang semakin besar. Sehingga kelembaban absolut ( $\omega_3$ ) dan nilai entalpi uap air ( $h_{g3}$ ) pada sisi keluar menjadi semakin kecil.

Pada grafik juga digambarkan bahwa semakin tinggi temperatur *desiccant* yang masuk ke dalam sistem, maka semakin tajam peningkatan nilai transfer massa yang terjadi seiring meningkatnya kecepatan udara *inlet*. Hal ini disebabkan karena terjadinya perpindahan kalor secara konveksi, dimana perbedaan temperatur antara udara dan *desiccant* akan mempengaruhi laju perpindahan kalor yang terjadi. Semakin besar perbedaan temperatur yang terjadi, semakin besar pula nilai laju perpindahan kalor yang dihasilkan. Hal ini sesuai dengan teori perpindahan kalor konveksi, yang dapat dirumuskan dalam persamaan:

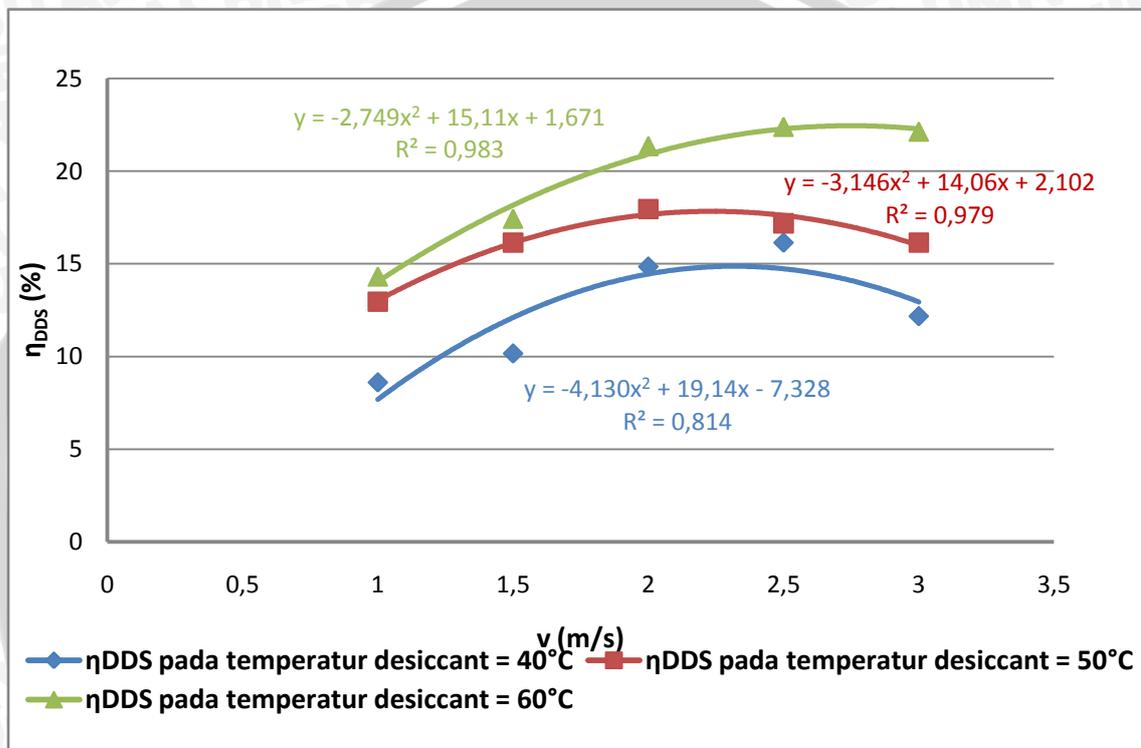
$$q = h.A.\Delta T$$

Pada Gambar 4.2 juga dapat kita lihat bahwa nilai *transfer* energi tertinggi terjadi pada temperatur *desiccant* 60 °C ( $\Delta H = 1,995$  kJ/s pada  $V = 3$  m/s), kemudian diikuti dengan *transfer* energi pada temperatur *desiccant* 50 °C ( $\Delta H = 1,556$  kJ/s pada  $V = 3$  m/s) dan 40°C ( $\Delta H = 1,288$  kJ/s pada  $V = 2,5$  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* 50 °C dan 60 °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.

### 4.2.3 Pembahasan Grafik Hubungan antara Kecepatan Udara *Inlet* ( $V$ ) terhadap Efisiensi *Desiccant Dehumidification System* ( $\eta_{DDS}$ )

Hubungan antara kecepatan udara *inlet* ( $v$ ) terhadap efisiensi *DDS* tersaji dalam grafik pada Gambar 4.3. Sumbu absis (sumbu  $x$ ) pada grafik di bawah menyatakan kecepatan udara *inlet*, sedangkan sumbu ordinat (sumbu  $y$ ) menyatakan *transfer* massa.



Gambar 4.3 : Grafik Hubungan antara Kecepatan Udara *Inlet* ( $V$ ) terhadap Efisiensi *DDS* ( $\eta_{DDS}$ )

Dari gambar 4.3 dapat dilihat bahwa grafik hubungan antara kecepatan udara *inlet* terhadap efisiensi *desiccant dehumidification system* menunjukkan kecenderungan yang semakin meningkat seiring dengan meningkatnya kecepatan udara *inlet*. Hal tersebut menunjukkan bahwa nilai kelembaban absolut pada sisi *outlet* semakin turun seiring dengan naiknya kecepatan udara *inlet*. Karena semakin tinggi kecepatan udara *inlet*, maka massa udara campuran yang mengalir akan meningkat dan begitupula dengan massa uap air yang terkandung pada aliran udara semakin bertambah banyak pula. Dengan semakin meningkatnya massa uap air yang terkandung dalam udara, maka semakin banyak pula massa uap air yang mengalami kontak dan diserap oleh *desiccant*. Semakin banyak massa uap air yang diserap oleh *desiccant* menyebabkan

nilai kelembaban absolut pada sisi *outlet* ( $\omega_3$ ) akan semakin turun. Dengan turunnya  $\omega_3$  akan membuat selisih nilai kelembaban absolut antara sisi *outlet* dengan sisi *inlet* akan semakin besar. Semakin besar selisih nilai kelembaban absolut antara sisi *outlet* dengan sisi *inlet* menunjukkan bahwa kemampuan *desiccant dehumidification system* dalam menyerap uap air dari udara proses semakin baik. Oleh karena itu dengan meningkatnya selisih nilai kelembaban absolut antara sisi *outlet* dengan sisi *inlet* maka akan meningkatkan nilai efisiensi *desiccant dehumidification system*. Hal tersebut sesuai dengan persamaan:

$$\eta_{DDS} = \frac{\text{berguna}}{\text{pengorbanan}} \times 100\%$$

$$\eta_{DDS} = \frac{\Delta\omega}{\omega_1} \times 100\%$$

dimana,

$$\Delta\omega = \omega_1 - \omega_3$$

Persamaan di atas menunjukkan bahwa efisiensi *desiccant dehumidification system* adalah selisih kelembaban absolut pada sisi *inlet* dengan sisi *outlet* dibandingkan dengan kelembaban absolut pada sisi *inlet*. Kemampuan *desiccant dehumidification system* untuk menyerap uap air ditunjukkan oleh persamaan tersebut. Apabila kemampuan *desiccant dehumidification system* baik, maka nilai selisih kelembaban absolut antara sisi *outlet* dengan sisi *inlet* dibandingkan dengan kelembaban absolut pada sisi *inlet* akan sama dengan atau mendekati 100%, atau dengan kata lain *desiccant dehumidification system* mampu menyerap seluruh uap air yang ada pada udara proses. Sebaliknya, apabila nilai selisih kelembaban absolut antara sisi *outlet* dengan sisi *inlet* dibandingkan dengan kelembaban absolut pada sisi *inlet* mendekati atau sama dengan 0%, maka *desiccant dehumidification system* tidak dapat menyerap kelembaban udara pada sisi *inlet* dan kinerjanya dikategorikan buruk.

Pada gambar 4.3 terlihat bahwa nilai efisiensi sistem mengalami penurunan setelah kecepatan udara *inlet* lebih dari 2,5 m/s. Hal tersebut menunjukkan pada kecepatan 3 m/s, kontak yang terjadi antara udara dan *desiccant* menurun. Dengan menurunnya kontak antara *desiccant* dengan udara proses, akan menyebabkan proses penyerapan uap air oleh *desiccant* dari udara proses juga menurun. Kejadian tersebut membuat nilai kelembaban pada sisi *outlet* ( $\omega_3$ ) masih cukup tinggi, sehingga nilai efisiensi sistem mengalami penurunan. Hal tersebut menunjukkan bahwa efisiensi

maksimal dari *liquid desiccant dehumidification system* ini adalah pada saat kecepatan udara *inlet* bernilai 2,5 m/s.

Pada gambar 4.3 juga terlihat bahwa temperatur *desiccant* yang disemprotkan kedalam sistem mempengaruhi nilai efisiensi *desiccant dehumidification system* yang terjadi. Semakin besar temperatur *desiccant* yang disemprotkan kedalam sistem akan membuat nilai efisiensi *desiccant dehumidification system* semakin meningkat. Dapat dilihat pada nilai kecepatan udara *inlet* yang relatif sama, yaitu 2,5 m/s nilai efisiensi *desiccant dehumidification system* yang tertinggi terdapat pada saat temperatur *desiccant* 60°C, yaitu sebesar 22,39%. Nilai efisiensi *desiccant dehumidification system* terbesar nomor dua adalah pada saat temperatur *desiccant* 50°C dengan nilai sebesar 17,94%. Sedangkan pada saat temperatur *desiccant* sebesar 40°C disemprotkan kedalam sistem, nilai efisiensi *desiccant dehumidification system* yang didapatkan adalah sebesar 16,13%. Peningkatan nilai efisiensi *desiccant dehumidification system* seiring dengan naiknya temperatur *desiccant* yang disemprotkan kedalam sistem tersebut dikarenakan semakin besar temperatur *desiccant*, akan membuat kemampuannya dalam menyerap uap air akan semakin besar pula. Semakin banyak uap air yang diserap dari sistem akan membuat nilai kelembaban absolut pada sisi *outlet* ( $\omega_3$ ) akan semakin menurun dan meningkatkan efisiensi *desiccant dehumidification system* yang dihasilkan.

Kecenderungan hasil penelitian di atas serupa dengan hasil penelitian oleh Fumo dan Goswami (2000) yang menjelaskan bahwa temperatur *desiccant* dan laju aliran udara *inlet* berpengaruh pada rasio kelembaban. Semakin tinggi laju aliran udara *inlet* dan temperatur *desiccant* akan membuat rasio kelembaban semakin rendah dan nilai efisiensi sistem semakin meningkat.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 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.

- Pada kecepatan udara *inlet* yang sama ( $v = 3 \text{ m/s}$ ), nilai *transfer* energi tertinggi terjadi pada temperatur *desiccant*  $60^\circ\text{C}$  ( $\Delta H = 1,995 \text{ kJ/s}$ ), sedangkan nilai terendah terjadi pada temperatur *desiccant*  $40^\circ\text{C}$  ( $\Delta H = 1,288 \text{ kJ/s}$ ). Semakin tinggi konsentrasi *desiccant* yang digunakan akan membuat kemampuan *desiccant* dalam menyerap uap air dari udara proses semakin besar, sehingga proses transfer massa yang terjadi juga semakin besar.
- Nilai transfer massa tertinggi terjadi pada temperatur *desiccant*  $60^\circ\text{C}$  ( $\Delta m = 7,08 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$  pada  $v = 3 \text{ m/s}$ ), sedangkan pada kecepatan udara *inlet* yang sama ( $v = 3 \text{ m/s}$ ), nilai transfer massa yang terjadi pada temperatur *desiccant*  $40^\circ\text{C}$  dan  $50^\circ\text{C}$  berturut-turut adalah  $3,85 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$  dan  $5,36 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$ . Hal tersebut dikarenakan semakin besar konsentrasi *desiccant* yang digunakan, akan menyebabkan kemampuan *desiccant* untuk menyerap uap air semakin besar, sehingga beda energi kalor pada sisi inlet dan outlet semakin tinggi dan menyebabkan nilai transfer energi meningkat.
- Nilai efisiensi *thermal* tertinggi terjadi pada temperatur *desiccant*  $60^\circ\text{C}$  ( $\eta_{th} = 89,35\%$  pada  $v = 3 \text{ m/s}$ ). Nilai efisiensi *thermal* berbanding lurus dengan nilai kecepatan udara *inlet* dan temperatur *desiccant* yang dapat memperbesar proses *transfer* energi. Hal tersebut disebabkan karena konsentrasi *desiccant* yang semakin tinggi akan membuat kemampuan *desiccant* dalam menyerap uap air dari udara proses semakin meningkat. Dengan semakin banyaknya uap air yang diserap dari udara proses, akan membuat nilai kelambaban absolut pada sisi outlet ( $\omega_3$ ) akan semakin rendah, sehingga akan membuat nilai efisiensi *desiccant dehumidification system* meningkat. Kecepatan udara sebesar  $2,5 \text{ m/s}$  merupakan kecepatan udara yang efektif digunakan untuk mendapatkan efisiensi yang optimal pada *DDS* ini. Apabila kecepatan yang digunakan melebihi

kecepatan tersebut, maka kontak yang terjadi antara *desiccant* dengan udara proses mengalami penurunan sehingga uap air yang diserap semakin sedikit dan mengakibatkan nilai efisiensi *DDS* yang terjadi akan menurun.

## 5.2 Saran

Untuk penelitian *Liquid Desiccant Dehumidification System* yang lebih baik, sebaiknya pada penelitian selanjutnya dilakukan beberapa hal sebagai berikut :

- Pada penelitian selanjutnya seyogyanya dilakukan penelitian mengenai unjuk kerja *liquid desiccant dehumidification system* dengan penambahan alat untuk membuat aliran semakin turbulen yang menyebabkan nilai koefisien perpindahan kalor konveksi akan semakin meningkat sehingga meningkatkan unjuk kerja *liquid desiccant dehumidification system*.
- Perlu dilakukan penelitian mengenai unjuk kerja *liquid desiccant dehumidification system* dengan menggunakan sistem distribusi droplet yang berbeda, baik metode penyemprotannya maupun arah penyemprotannya terhadap arah aliran udara proses.
- Penggunaan proses regenerasi terhadap *desiccant* agar konsentrasinya kembali ke kondisi semula dan dapat digunakan kembali sehingga akan menghemat biaya penggunaan *desiccant*.

## DAFTAR PUSTAKA

Cengel, Yunus A; 2003: *Heat Transfer A Practical Approach*; 2<sup>nd</sup> edition; McGraw-Hill Companies Inc, New York.

Cengel, Yunus A. dan Robert H. Turner; 2001: *Fundamentals of Thermal-Fluid Sciences*; McGraw-Hill Companies Inc, New York.

Daugherty, Robert L; 1977: *Fluid Mechanics With Engineering Application*; McGraw-Hill Book Company, New York.

Fumo, N., Goswami, D.Y.; 2000: *Study of An Aqueous Lithium Chloride Desiccant System Part I: Air Dehumidification*; Journal of Solar Energy, Venezuela.

Holman, J.P; 1995: *Perpindahan Kalor*; Erlangga, Jakarta.

Incropera, F.P dan De Witt, D.P; 1981: *Fundamental of Heat Transfer*; 2<sup>nd</sup> edition; John Willey and Sons, New York.

Kreith, Frank; 1986: *Prinsip-prinsip Perpindahan Kalor*; Alih bahasa: Arko Prijono M.Sc.; Erlangga, Jakarta.

[www.chicagolandunique.com/santafe.html](http://www.chicagolandunique.com/santafe.html)

[www.discount-air-fan.wowshopper.com/htm-pages/how-does-dehumidifier-work.htm](http://www.discount-air-fan.wowshopper.com/htm-pages/how-does-dehumidifier-work.htm)

[www.eere\\_energy\\_gov-industry-distributedenergy-images.jpg](http://www.eere_energy_gov-industry-distributedenergy-images.jpg)

[www.en.wikipedia.org/wiki/Dehumidifier](http://www.en.wikipedia.org/wiki/Dehumidifier)

[www.fao.org/docrep/S1250E/S1250EEW.GIF](http://www.fao.org/docrep/S1250E/S1250EEW.GIF)

[www.masstech.org/renewableenergy/public\\_policy/DG/resources/2005-DG-MD-Nayak-2957.pdf](http://www.masstech.org/renewableenergy/public_policy/DG/resources/2005-DG-MD-Nayak-2957.pdf)

[www.nt.ntnu.no](http://www.nt.ntnu.no)

[www.wikipedia.com/Lithium\\_bromide](http://www.wikipedia.com/Lithium_bromide)

Lampiran 1 : Data pengujian dan hasil pengolahan data pada temperatur desiccant 40°C

Td in (°C)	Tw in (°C)	Td out (°C)	Tw out (°C)	RH <sub>1</sub> (%)	RH <sub>3</sub> (%)	Δ RH	rata2 Δ RH	ω <sub>1</sub>	rata2 ω	ω <sub>3</sub>	Δ ω	rata2 Δ ω	η rata2	η
28	25	27	23,5	78	74	4	4	0,0189	0,0192	0,0169	0,0020	0,00165	<b>8,59375</b>	0,10582
28	25,5	27,5	24,5	82	78	4		0,0195		0,0182	0,0013			0,06667
28	25	27	23,5	78	74	4	6	0,0189	0,0192	0,0170	0,0019	0,00195	<b>10,15625</b>	0,10053
28	25,5	27,5	24	82	74	8		0,0195		0,0175	0,0020			0,10256
28	25	27,5	23	78	70	8	9	0,0189	0,0192	0,0160	0,0029	0,00285	<b>14,84375</b>	0,15344
28	25,5	27,5	23,5	82	72	10		0,0195		0,0167	0,0028			0,14359
28	25	27	22,5	78	68	10	10	0,0189	0,0189	0,0157	0,0032	0,00305	<b>16,13757</b>	0,16931
28	25	27,5	23	78	68	10		0,0189		0,0160	0,0029			0,15344
28	25	27	23	78	72	6	6	0,0189	0,0189	0,0162	0,0027	0,0023	<b>12,16931</b>	0,14286
28	25	27	23,5	78	72	6		0,0189		0,0170	0,0019			0,10053

ρ <sub>udara in</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	V (m/s)	V rata2	m <sub>1</sub> (kg/s)	m <sub>a</sub> (kg/s)	m <sub>3</sub> (kg/s)	Δm (kg/s)	rata2 Δm	rata2 Δm x 10 <sup>4</sup>	hg1 (kJ/kg)	hg3 (kJ/kg)	H <sub>1</sub> (kJ/s)	H <sub>3</sub> (kJ/s)	ΔH (kJ/s)	rata2 ΔH
1,103	1	1	0,0513	0,05034	0,05119	0,0001007	0,000100518	1,00518	2554,6	2551,8	3,8398	3,52998	0,3099	<b>0,3038</b>
	1		0,0787	0,0772	0,07861	0,0001004			2555,5	2553,6	6,0087	5,71094	0,2977	
1,103	1,5	1,5	0,0769	0,07551	0,07679	0,0001435	0,000186177	1,86177	2554,6	2551	5,7598	5,31321	0,4465	<b>0,5472</b>
	1,5		0,1167	0,11445	0,11645	0,0002289			2555,5	2552,7	8,9076	8,2598	0,6478	
1,103	2	2	0,1026	0,10068	0,10229	0,000292	0,000380002	3,80002	2554,6	2550,9	7,6797	6,87764	0,8020	<b>1,046</b>
	2		0,1704	0,16716	0,16995	0,000468			2555,5	2551,8	13,01	11,7203	1,2900	
1,103	2,5	2,5	0,1282	0,12585	0,12782	0,0004027	0,000458587	4,58587	2554,6	2550,4	9,5996	8,43683	1,1628	<b>1,2883</b>
	2,5		0,1808	0,1774	0,18024	0,0005145			2554,6	2550,7	13,532	12,1186	1,4139	
1,103	3	3	0,1539	0,15101	0,15346	0,0004077	0,000385905	3,85905	2554,6	2550,5	11,52	10,317	1,2025	<b>1,1684</b>
	3		0,1952	0,19162	0,19487	0,0003641			2554,6	2550,7	14,617	13,4825	1,1342	

**Lampiran 2 : Data pengujian dan hasil pengolahan data pada temperatur desiccant 50°C**

Td in (°C)	Tw in (°C)	Td out (°C)	Tw out (°C)	RH <sub>1</sub> (%)	RH <sub>3</sub> (%)	delta RH	rata2 Δ RH	ω <sub>1</sub>	rata2 ω	ω <sub>3</sub>	delta ω	rata2 delta ω	η rata2	η
28	25	27,5	23,5	78	72	6	6	0,0189	0,0189	0,0167	0,0022	0,00245	<b>12,96296</b>	0,1164
28	25	27	23	78	72	6	6	0,0189	0,0189	0,0162	0,0027	0,00245	12,96296	0,14286
28	25	27,5	23	78	70	8	9	0,0189	0,0192	0,0160	0,0029	0,0031	<b>16,14583</b>	0,15344
28	25,5	27	23	82	72	10	9	0,0195	0,0195	0,0162	0,0033	0,0031	16,14583	0,16923
28	25,5	27,5	23	82	70	12	12	0,0195	0,0195	0,0160	0,0035	0,0035	<b>17,94872</b>	0,17949
28	25,5	27,5	23	82	70	12	12	0,0195	0,0195	0,0160	0,0035	0,0035	17,94872	0,17949
28	25	27,5	22,8	78	68	10	10,5	0,0189	0,0192	0,0157	0,0032	0,0033	<b>17,1875</b>	0,16931
28	25,5	27	22,8	82	71	11	10,5	0,0195	0,0192	0,0161	0,0034	0,0033	17,1875	0,17436
28	25	27	22,8	78	71	7	9	0,0189	0,0192	0,0161	0,0028	0,0031	<b>16,14583</b>	0,14815
28	25,5	27	22,8	82	71	11	9	0,0195	0,0192	0,0161	0,0034	0,0031	16,14583	0,17436

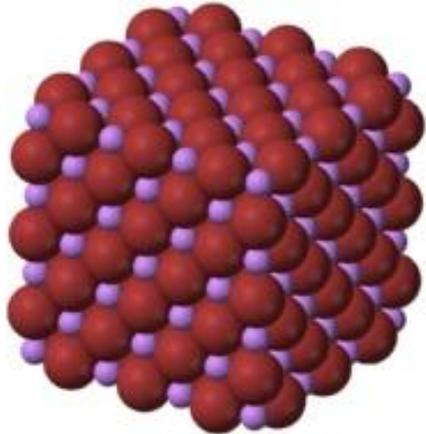
ρ <sub>udara in</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	V (m/s)	V rata2	m <sub>1</sub> (kg/s)	m <sub>a</sub> (kg/s)	m <sub>3</sub> (kg/s)	Δm (kg/s)	rata2 Δm	rata2 Δm x 10 <sup>4</sup>	hg1 (kJ/kg)	hg3 (kJ/kg)	H <sub>1</sub> (kJ/s)	H <sub>3</sub> (kJ/s)	ΔH (kJ/s)	rata2 ΔH
1,103	1	1	0,0513	0,05034	0,05118	0,0001107	0,000159654	1,59654	2554,6	2551,8	3,8398	3,52946	0,3104	<b>0,4625</b>
1,103	1	1	0,0787	0,07725	0,0785	0,0002086	0,000159654	1,59654	2554,6	2550,9	5,8924	5,27779	0,6146	0,4625
1,103	1,5	1,5	0,0769	0,07551	0,07672	0,000219	0,000298321	2,98321	2554,6	2550,9	5,7598	5,15823	0,6015	<b>0,8448</b>
1,103	1,5	1,5	0,1167	0,11445	0,1163	0,0003777	0,000298321	2,98321	2555,5	2550,9	8,9076	7,81945	1,0881	0,8448
1,103	2	2	0,1026	0,10062	0,10223	0,0003522	0,000468607	4,68607	2555,5	2550,9	7,8312	6,87359	0,9577	<b>1,2743</b>
1,103	2	2	0,1704	0,16716	0,16983	0,0005851	0,000468607	4,68607	2555,5	2550,9	13,01	11,4193	1,5910	1,2743
1,103	2,5	2,5	0,1282	0,12585	0,12782	0,0004027	0,00050276	5,0276	2554,6	2550,5	9,5996	8,49995	1,0997	<b>1,4159</b>
1,103	2,5	2,5	0,1808	0,1773	0,18015	0,0006028	0,00050276	5,0276	2555,5	2550,5	13,8	12,0675	1,7321	1,4159
1,103	3	3	0,1539	0,15101	0,15345	0,0004228	0,000536977	5,36977	2554,6	2550,5	11,52	10,2785	1,2410	<b>1,5559</b>
1,103	3	3	0,1952	0,1915	0,19459	0,0006511	0,000536977	5,36977	2555,5	2550,5	14,905	13,0344	1,8708	1,5559

**Lampiran 3 : Data pengujian dan hasil pengolahan data pada temperatur desiccant 60°C**

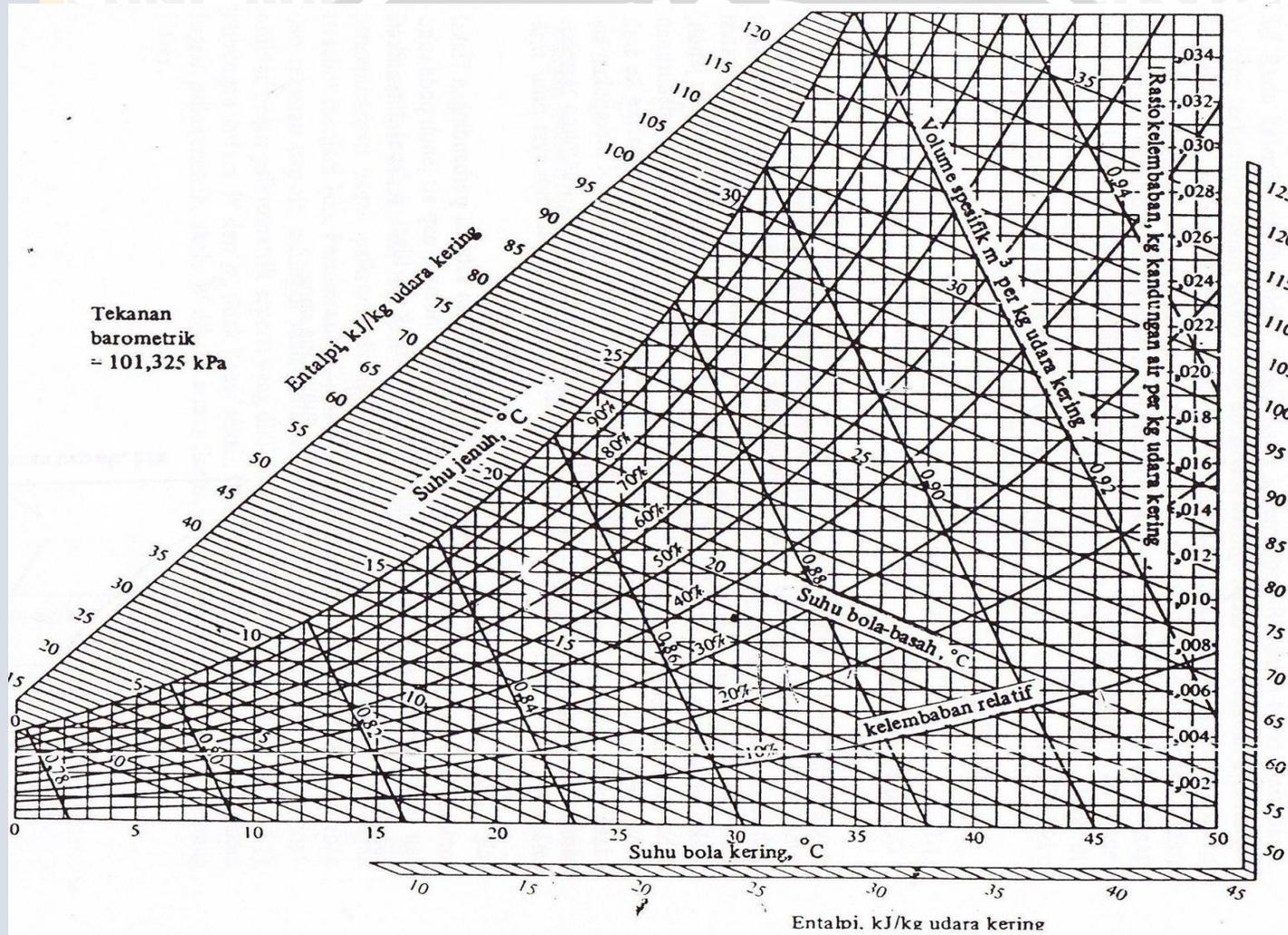
Td in (°C)	Tw in (°C)	Td out (°C)	Tw out (°C)	RH <sub>1</sub> (%)	RH <sub>3</sub> (%)	delta RH	rata2 Δ RH	ω <sub>1</sub>	rata2 ω	ω <sub>3</sub>	delta ω	rata2 delta ω	η rata2	η
28	25	27	23	78	72	6	8	0,0189	0,0192	0,0162	0,0027	0,00275	<b>14,32292</b>	0,14286
28	25,5	27,5	23,5	82	72	10		0,0195		0,0167	0,0028			0,14359
28	25,5	27	23	82	72	10	11	0,0195	0,0195	0,0162	0,0033	0,0034	<b>17,4359</b>	0,16923
28	25,5	27,5	23	82	70	12		0,0195		0,0160	0,0035			0,17949
28	25,5	27	22,3	78	67	11	11	0,0189	0,0192	0,0151	0,0038	0,0041	<b>21,35417</b>	0,20106
28	25	27	22,3	78	67	11		0,0195		0,0151	0,0044			0,22564
28	25	27,5	22,5	82	65	17	16,5	0,0195	0,0192	0,0153	0,0042	0,0043	<b>22,39583</b>	0,21538
28	25,5	27,5	22	78	62	16		0,0189		0,0145	0,0044			0,2328
28	25	27	22,2	78	67	11	13	0,0189	0,0192	0,0150	0,0039	0,00425	<b>22,13542</b>	0,20635
28	25,5	27,5	22,2	78	63	15		0,0195		0,0149	0,0046			0,2359

ρ <sub>udara in</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	V (m/s)	V rata2	m <sub>1</sub> (kg/s)	m <sub>a</sub> (kg/s)	m <sub>3</sub> (kg/s)	Δm (kg/s)	rata2 Δm	rata2 Δm x 10 <sup>4</sup>	hg1 (kJ/kg)	hg3 (kJ/kg)	H <sub>1</sub> (kJ/s)	H <sub>3</sub> (kJ/s)	ΔH (kJ/s)	rata2 ΔH
1,103	1	1	0,0513	0,05034	0,0512	0,0001359	<b>0,000176037</b>	1,76037	2554,6	2550,9	3,8398	3,43933	0,4005	<b>0,4981</b>
	1		0,0787	0,0772	0,0785	0,0002162			2555,5	2551,8	6,0087	5,41291	0,5958	
1,103	1,5	1,5	0,0769	0,07546	0,0767	0,000249	<b>0,000324793</b>	3,24793	2555,5	2550,9	5,8734	5,15596	0,7175	<b>0,9034</b>
	1,5		0,1167	0,11445	0,1163	0,0004006			2555,5	2550,9	8,9076	7,81829	1,0893	
1,103	2	2	0,1026	0,10062	0,1022	0,0004226	<b>0,000579261</b>	5,79261	2555,5	2550	7,8312	6,69254	1,1387	<b>1,5578</b>
	2		0,1704	0,16726	0,1697	0,0007359			2554,6	2549,1	12,759	10,7817	1,9768	
1,103	2,5	2,5	0,1282	0,12585	0,1277	0,0004908	<b>0,000653185</b>	6,53185	2554,6	2549,5	9,5996	8,21046	1,3891	<b>1,7889</b>
	2,5		0,1808	0,1773	0,1799	0,0008156			2555,5	2549,5	13,8	11,6108	2,1887	
1,103	3	3	0,1539	0,15101	0,1533	0,0005739	<b>0,000708236</b>	7,08236	2554,6	2549,6	11,52	9,89128	1,6282	<b>1,9951</b>
	3		0,1952	0,1915	0,1944	0,0008426			2555,5	2549,6	14,905	12,5433	2,3619	

Lampiran 4 : Tabel Sifat-sifat Larutan LiBr

Lithium bromide		Properties	
		Molecular formula	LiBr
		Molar mass	86.845(3) g/mol
		Appearance	White solid
		Density	3.464 g/cm <sup>3</sup>
		Melting point	552 °C
		Boiling point	1265 °C
		Solubility in water	145 g/100 mL (4 °C) 254 g/100 mL (90 °C)
		Solubility	soluble in methanol, ethanol, ether slightly soluble in pyridine
<b>IUPAC name</b> [hide] Lithium bromide		Refractive index ( <i>n</i> <sub>D</sub> )	1.784
<b>Identifiers</b>		<b>Thermochemistry</b>	
CAS number	7550-35-8 ✓	Std enthalpy of formation $\Delta_f H^\ominus_{298}$	-4.044 kJ/g
PubChem	82050		
EC number	231-439-8		
RTECS number	OJ5755000		

Lampiran 5 : Diagram *Psychrometric*.



Lampiran 6 : Tabel A-1 : Sifat-sifat cairan dan uap jenuh

APPENDIKS

Tabel A-1 Air: Sifat-sifat cairan dan uap jenuh

t, °C	Tekanan jenuh, kPa	Volume spesifik, m <sup>3</sup> /kg		Entalpi kJ/kg		Entropi, kJ/kg · K	
		Cairan	Gas	Cairan	Gas	Cairan	Gas
0	0,6108	0,0010002	206,3	- 0,04	2501,6	-0,0002	9,1577
2	0,7055	0,0010001	179,9	8,39	2505,2	0,0306	9,1047
4	0,8129	0,0010000	157,3	16,80	2508,9	0,0611	9,0526
6	0,9345	0,0010000	137,8	25,21	2512,6	0,0913	9,0015
8	1,0720	0,0010001	121,0	33,60	2516,2	0,1213	8,9513
10	1,2270	0,0010003	106,4	41,99	2519,9	0,1510	8,9020
12	1,4014	0,0010004	93,84	50,38	2523,6	0,1805	8,8536
14	1,5973	0,0010007	82,90	58,75	2527,2	0,2098	8,8060
16	1,8168	0,0010010	73,38	67,13	2530,9	0,2388	8,7593
18	2,062	0,0010013	65,09	75,50	2534,5	0,2677	8,7135
20	2,337	0,0010017	57,84	83,86	2538,2	0,2963	8,6684
22	2,642	0,0010022	51,49	92,23	2541,8	0,3247	8,6241
24	2,982	0,0010026	45,93	100,59	2545,5	0,3530	8,5806
26	3,360	0,0010032	41,03	108,95	2549,1	0,3810	8,5379
28	3,778	0,0010037	36,73	117,31	2552,7	0,4088	8,4959
30	4,241	0,0010043	32,93	125,66	2556,4	0,4365	8,4546
32	4,753	0,0010049	29,57	134,02	2560,0	0,4640	8,4140
34	5,318	0,0010056	26,60	142,38	2563,6	0,4913	8,3740
36	5,940	0,0010063	23,97	150,74	2567,2	0,5184	8,3348
38	6,624	0,0010070	21,63	159,09	2570,8	0,5453	8,2962
40	7,375	0,0010078	19,55	167,45	2574,4	0,5721	8,2583
42	8,198	0,0010086	17,69	175,31	2577,9	0,5987	8,2209
44	9,100	0,0010094	16,04	184,17	2581,5	0,6252	8,1842
46	10,086	0,0010103	14,56	192,53	2585,1	0,6514	8,1481
48	11,162	0,0010112	13,23	200,89	2588,6	0,6776	8,1125
50	12,335	0,0010121	12,05	209,26	2592,2	0,7035	8,0776
52	13,613	0,0010131	10,98	217,62	2595,7	0,7293	8,0432
54	15,002	0,0010140	10,02	225,98	2599,2	0,7550	8,0093
56	16,511	0,0010150	9,159	234,35	2602,7	0,7804	7,9759
58	18,147	0,0010161	8,381	242,72	2606,2	0,8058	7,9431
60	19,920	0,0010171	7,679	251,09	2609,7	0,8310	7,9108
62	21,84	0,0010182	7,044	259,46	2613,2	0,8560	7,8790
64	23,91	0,0010193	6,469	267,84	2616,6	0,8809	7,8477
66	26,15	0,0010205	5,948	276,21	2620,1	0,9057	7,8168
68	28,56	0,0010217	5,476	284,59	2623,5	0,9303	7,7864
70	31,16	0,0010228	5,046	292,97	2626,9	0,9548	7,7565

Lampiran 7 : Tabel A-2 : Sifat-sifat termodinamika udara jenuh pada tekanan atmosfer 101,325 kPa

Apendiks

391

Tabel A-2 Lembab udara:<sup>2</sup> sifat-sifat termodinamik udara jenuh pada tekanan atmosfer 101,325 kPa.

$t, ^\circ\text{C}$	Tekanan gas, kPa	Perbandingan kelembaban, kg/kg	Volume spesifik, $\text{m}^3/\text{kg}$	Entalpi, kJ/kg
-40	0,01283	0,000079	0,6597	-40,041
-35	0,02233	0,000138	0,6740	-34,868
-30	0,03798	0,000234	0,6884	-29,600
-25	0,06324	0,000390	0,7028	-24,187
-20	0,10318	0,000637	0,7173	-18,546
-18	0,12482	0,000771	0,7231	-16,203
-16	0,15056	0,000930	0,7290	-13,795
-14	0,18107	0,001119	0,7349	-11,314
-12	0,21716	0,001342	0,7409	-8,745
-10	0,25971	0,001606	0,7469	-6,073
-8	0,30975	0,001916	0,7529	-3,285
-6	0,36846	0,002280	0,7591	-0,360
-4	0,43716	0,002707	0,7653	2,724
-2	0,51735	0,003206	0,7716	5,991
0	0,61072	0,003788	0,7781	9,470
1	0,6566	0,00407	0,7813	11,200
2	0,7055	0,00438	0,7845	12,978
3	0,7575	0,00471	0,7878	14,807
4	0,8130	0,00505	0,7911	16,692
5	0,8719	0,00542	0,7944	18,634
6	0,9347	0,00582	0,7978	20,639
7	1,0013	0,00624	0,8012	22,708
8	1,0722	0,00668	0,8046	24,848
9	1,1474	0,00716	0,8081	27,059
10	1,2272	0,00766	0,8116	29,348
11	1,3119	0,00820	0,8152	31,716
12	1,4017	0,00876	0,8188	34,172
13	1,4969	0,00937	0,8225	36,719
14	1,5977	0,01001	0,8262	39,362
15	1,7044	0,01069	0,8300	42,105
16	1,8173	0,01141	0,8338	44,955
17	1,9367	0,01218	0,8377	47,918
18	2,0630	0,01299	0,8417	50,998
19	2,1964	0,01384	0,8457	54,205
20	2,3373	0,01475	0,8498	57,544
21	2,4861	0,01572	0,8540	61,021
22	2,6431	0,01674	0,8583	64,646
23	2,8086	0,01781	0,8626	68,425
24	2,9832	0,01896	0,8671	72,366
25	3,1671	0,02016	0,8716	76,481
26	3,3609	0,02144	0,8763	80,777
27	3,5649	0,02279	0,8811	85,263
28	3,7797	0,02422	0,8860	89,952
29	4,0055	0,02572	0,8910	94,851
30	4,2431	0,02732	0,8961	99,977
31	4,4928	0,02900	0,9014	105,337
32	4,7552	0,03078	0,9068	110,946
33	5,0308	0,03266	0,9124	116,819
34	5,3201	0,03464	0,9182	122,968
35	5,6237	0,03674	0,9241	129,411
36	5,9423	0,03895	0,9302	136,161
37	6,2764	0,04129	0,9365	143,239
38	6,6265	0,04376	0,9430	150,660
39	6,9935	0,04636	0,9497	158,445
40	7,3778	0,04911	0,9567	166,615