

**PENGARUH JUMLAH *TURBULATOR* TERHADAP UNJUK  
KERJA *LIQUID DESICCANT DEHUMIDIFICATION SYSTEM***

**SKRIPSI**

**KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan  
memperoleh gelar sarjana teknik



Disusun Oleh :

**DENIS KUSUMO HARSONO**  
NIM. 0710623046-62

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**JURUSAN MESIN**

**MALANG**

**2014**

**PENGARUH JUMLAH *TURBULATOR* TERHADAP  
UNJUK KERJA  
*LIQUID DESICCANT DEHUMIDIFICATION SYSTEM***

**SKRIPSI  
KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun Oleh :

**DENIS KUSUMO HARSONO**  
**NIM. 0710623046-62**

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

**Prof. Dr. Ir. Rudy Soenoko, M.Eng. Sc.**  
NIP. 19490911 198403 1 001

**Ir. Djoko Sutikno, M.Eng.**  
NIP. 19541009 198303 1 002

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PENGARUH JUMLAH *TURBULATOR* TERHADAP UNJUK  
KERJA *LIQUID DESICCANT DEHUMIDIFICATION SYSTEM***

**SKRIPSI  
KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

**DENIS KUSUMO HARSONO  
NIM. 0710623046-62**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada  
Tanggal 27 Januari 2014

**Majelis Penguji**

Skripsi I

Skripsi II

**Dr., Ir., Wahyono Suprpto, MT., MET.    Dr.Eng., Demy Widhiyanuriawan, ST., MT.**  
NIP. 19551117 198601 1 001                      NIP. 19750113 200012 1 001

Skripsi III

**Ir., Erwin Sulisty, MT.**  
NIP. 19661213 199802 1 001

199903 1 004

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin

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

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat dan penyertaan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik dan benar.

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. Dr.Eng., Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
2. Purnami ST., M.T, selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
3. Prof., Dr., Ir., Rudy Soenoko, M.Eng., Sc., selaku Dosen Pembimbing I, yang telah memberikan kritik dan saran yang bermanfaat dalam penyusunan skripsi ini.
4. Ir. Djoko Sutikno, M.Eng., selaku Dosen Pembimbing II, yang telah memberikan kritik dan saran yang bermanfaat dalam penyusunan skripsi ini.
5. Agung Sugeng Widodo, ST., MT., Ph.D., selaku Ketua Kelompok Konsentrasi Konversi Energi, yang meluangkan banyak waktu untuk bimbingan.
6. Ir. P.P Yuni Harsono dan Luluk Retno Kusumaningrum selaku kedua orang tua penulis, adik Dianyta dan semua keluarga Besar Soetedjo 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 yang sangat kompak dan banyak membantu dalam kegiatan seminar, penelitian 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, Januari 2014

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR LAMPIRAN	vi
RINGKASAN	vii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Penelitian Sebelumnya	4
2.2 <i>Dehumidifier</i>	4
2.3 <i>Desiccant Dehumidification System (DDS)</i>	7
2.4 <i>Liquid Desiccant</i>	8
2.5 <i>Turbulator Vanes</i>	9
2.6 Analisa Aliran	
2.6.1 Aliran Laminar	10
2.6.2 Aliran Turbulen	10
2.7 <i>Psychrometric</i> dan Diagram <i>Psychrometric</i>	11
2.8 Perpindahan Panas dan Massa pada <i>Liquid Desiccant Dehumidification System</i>	
2.8.1 Proses Difusi	15
2.8.2 Keseimbangan Kalor pada Sistem	15
2.8.3 Efisiensi Thermal	20
2.9 Hipotesis	21
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	
3.1 Variabel Penelitian	22

3.2	Alat-alat Penelitian	23
3.3	Instalasi Penelitian	26
3.4	Prosedur Penelitian	26
3.5	Tempat Penelitian	27
3.6	Rancangan Penelitian	27
3.7	Diagram Alir Penelitian	28
<b>BAB IV DATA DAN PEMBAHASAN</b>		
4.1	Analisa Data	
4.1.1	Data Hasil Pengujian	30
4.1.2	Contoh Perhitungan	31
4.1.3	Data Hasil Perhitungan	33
4.2	Grafik Hasil Perhitungan dan Pembahasan	
4.2.1	Hubungan Antara Reynolds (Re) dengan Transfer Energi ( $\Delta H$ )	35
4.2.2	Hubungan Antara Reynolds (Re) dengan Transfer Massa ( $\Delta \square$ )	36
4.2.3	Hubungan Antara Reynolds (Re) dengan Efisiensi DDS ( $\eta_{DDS}$ )	38
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>		
5.1	Kesimpulan	41
5.2	Saran	41
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		
<b>LAMPIRAN</b>		

## DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Sifat-sifat larutan $\text{CaCl}_2$	8
Tabel 4.1	Hasil Pengambilan Data yang Diperoleh Tanpa <i>Turbulator</i>	30
Tabel 4.2	Hasil Pengambilan Data yang Diperoleh 3 <i>Turbulator</i>	30
Tabel 4.3	Hasil Pengambilan Data yang Diperoleh 4 <i>Turbulator</i>	31
Tabel 4.4	Hasil Pengambilan Data yang Diperoleh 5 <i>Turbulator</i>	31
Tabel 4.5	Data Hasil Perhitungan <i>Transfer</i> Energi, $\Delta H$ (kJ/s)	33
Tabel 4.6	Data Hasil Perhitungan <i>Transfer</i> Massa, $\Delta \dot{m}$ (kg/s)	34
Tabel 4.7	Data Hasil Perhitungan Efisiensi <i>DDS</i> , $\eta_{\text{DDS}}$ (%)	34

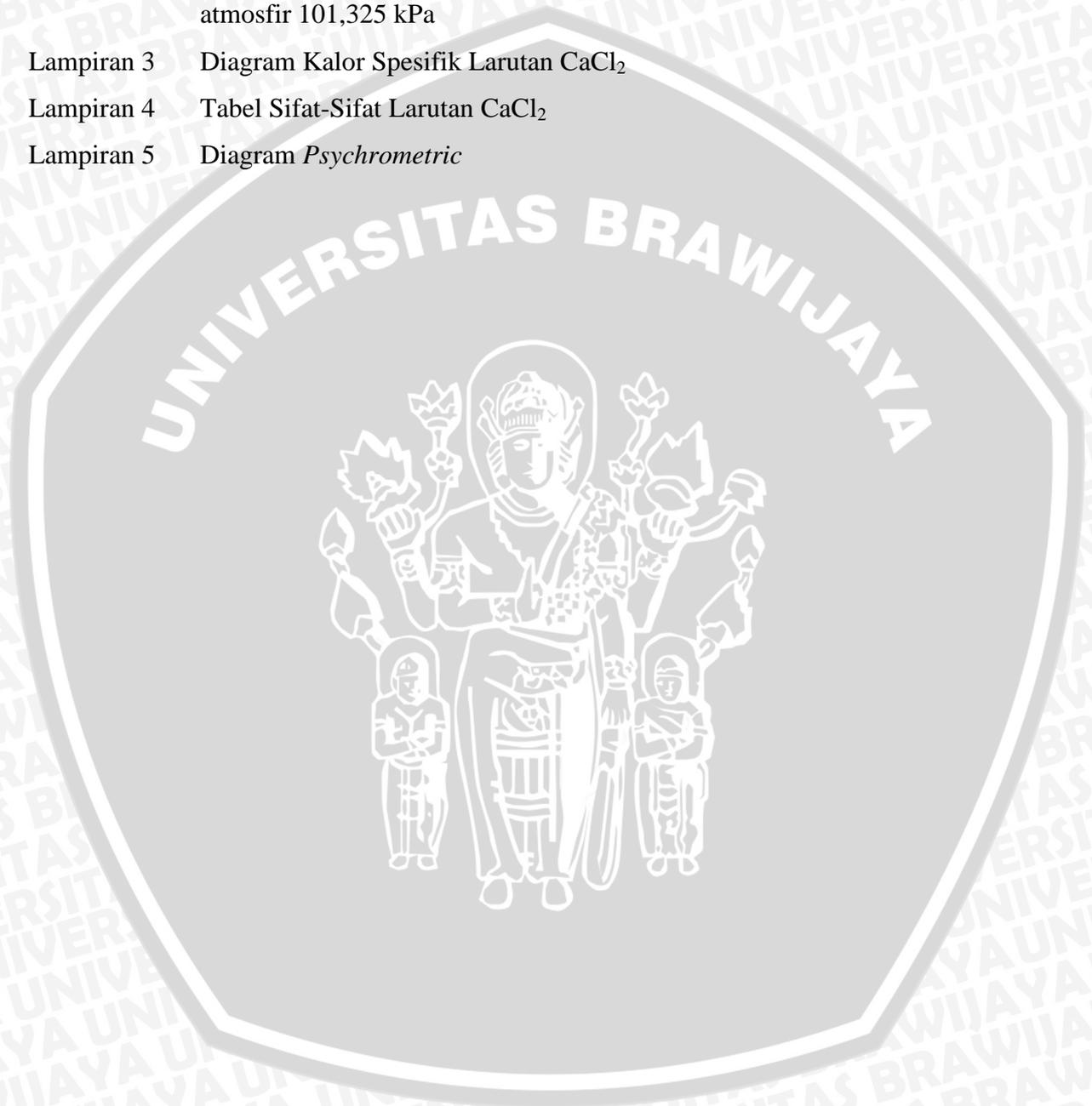


## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	<i>Heat Pump Dehumidifier</i>	6
Gambar 2.2	<i>Chemical Adsorbent Dehumidifier</i>	6
Gambar 2.3	<i>Dehumidifying Ventilators</i>	7
Gambar 2.4	Diagram Kalor Spesifik Larutan $\text{CaCl}_2$	9
Gambar 2.5	<i>Turbulator</i> Dipasang pada Bagian Dalam	10
Gambar 2.6	Diagram <i>Psychrometric</i>	12
Gambar 2.7	Keseimbangan Kalor pada <i>Dehumidifier</i>	16
Gambar 3.1	<i>Wind Tunnel</i>	23
Gambar 3.2	<i>Spray Nozzle</i>	24
Gambar 3.3	Adaptor	25
Gambar 3.4	Instalasi Penelitian	26
Gambar 3.5	Diagram Alir Penelitian	29
Gambar 4.1	Grafik Hubungan antara Kecepatan Udara Masuk ( $v$ ) terhadap <i>Transfer Energi</i> ( $\Delta H$ )	35
Gambar 4.2	Grafik Hubungan antara Kecepatan Udara Masuk ( $v$ ) terhadap <i>Transfer Massa</i> ( $\Delta \dot{m}$ )	36
Gambar 4.3	Grafik Hubungan antara Kecepatan Udara Masuk ( $v$ ) terhadap Efisiensi <i>DDS</i> ( $\eta_{\text{DDS}}$ )	38

**DAFTAR LAMPIRAN**

No.	Judul
Lampiran 1	Tabel A-1 : Sifat-sifat cairan dan uap jenuh
Lampiran 2	Tabel A-2 : Sifat-sifat termodinamika udara jenuh pada tekanan atmosfer 101,325 kPa
Lampiran 3	Diagram Kalor Spesifik Larutan $\text{CaCl}_2$
Lampiran 4	Tabel Sifat-Sifat Larutan $\text{CaCl}_2$
Lampiran 5	Diagram <i>Psychrometric</i>



## RINGKASAN

**Denis Kusumo Harsono**, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Januari 2014, Pengaruh Jumlah *Turbulator* Terhadap Unjuk Kerja *Liquid Desiccant Dehumidification System*, Dosen Pembimbing : Prof., Dr., Ir., Rudy Soenoko, M.Eng., Sc., dan Ir., Djoko Sutikno, M.Eng.

Kelembaban merupakan salah satu faktor penunjang kenyamanan ruangan selain temperatur. Dibutuhkan tingkat kelembaban yang tepat agar ruangan dapat berada pada kondisi nyaman untuk manusia. Selain itu kelembaban juga merupakan salah satu hal yang diperhatikan dalam dunia industri. Kelembaban yang berlebih dapat menyebabkan bakteri tumbuh serta dapat menimbulkan korosi terhadap benda-benda berbahan logam. Oleh karena itu banyak dikembangkan alat penurun kelembaban udara. *Desiccant dehumidification system* (DDS) merupakan salah satu alat penurun kelembaban udara yang menggunakan *desiccant* sebagai media penyerap uap air dari udara proses. Pada sistem ini, cairan *desiccant* disemprotkan dan mengalami kontak langsung dengan udara sehingga terjadi perpindahan massa uap air dari udara ke *desiccant*.

Dalam DDS terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi unjuk kerjanya. Faktor tersebut adalah kecepatan udara masuk, perbandingan kelembaban udara, temperatur dan konsentrasi *desiccant*, selain itu profil aliran udara juga akan mempengaruhi unjuk kerja dari *liquid* DDS. Untuk memenuhi faktor - faktor tersebut dilakukan penelitian ini dengan menggunakan  $\text{CaCl}_2$  sebagai *desiccant* dengan konsentrasi larutan 50% dan alat tambahan pada instalasi berupa *turbulator* dengan variasi jumlah *turbulator* dan tanpa menggunakan *turbulator*. Pemasangan *turbulator* pada jumlah tertentu akan meningkatkan turbulensi pada aliran udara masuk, sehingga nilai unjuk kerja akan semakin meningkat. Kecepatan udara masuk yang divariasikan sebagai variabel bebas, yaitu sebesar 1; 1,5; 2; 2,5; dan 3 m/s. Sedangkan parameter unjuk kerja yang diteliti sebagai variabel terkontrol adalah transfer massa (kg/s), transfer energi (kJ/s) dan efisiensi DDS (%).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah *turbulator* dari *spray nozzle* akan meningkatkan unjuk kerja *liquid* DDS. Pada instalasi dengan pemasangan 5 *turbulator*, tercatat transfer massa mencapai  $9,832 \times 10^{-4}$  kg/s, transfer energi sebesar 2,444 kJ/s dan efisiensi optimum DDS sebesar 24,899%.

**Kata Kunci:** kelembaban udara, *turbulator*, *desiccant dehumidification system*, unjuk kerja

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar belakang

Dalam lingkungan yang memiliki udara panas dan lembab, akan sangat dibutuhkan suatu sistem pengondisian udara. Sistem pengkondisian udara (*air conditioning system*) adalah suatu sistem yang mengendalikan kondisi termal udara (temperatur, kelembaban, aliran udara, dan kebersihan udara) secara serentak dari suatu ruangan sehingga tercapai kondisi yang diinginkan. Kondisi udara yang nyaman dalam suatu lingkungan sangat dipengaruhi oleh tingkat kelembaban dan suhu tertentu. Semakin tinggi temperatur udara, maka pengaruh kelembaban udara terhadap tubuh manusia juga akan semakin meningkat. Semakin tinggi tingkat beban kerja, maka semakin besar pula pengaruh kelembaban dan temperatur udara tersebut terhadap perubahan laju detak jantung manusia. Pada temperatur udara 22 °C, seseorang masih dapat bekerja secara optimal berapapun tingkatan kelembaban relatif udaranya. Sedangkan pada temperatur udara 27 °C, kelembaban relatif udara yang optimal adalah dibawah 40%. Untuk dapat mendapatkan kondisi demikian, dibutuhkan bantuan suatu alat pengondisian udara.

Alat pengondisian udara yang telah dikembangkan untuk tujuan penurunan kelembaban secara konvensional adalah memakai koil pendingin. Namun dengan penurunan kelembaban secara konvensional memiliki beberapa kekurangan, yaitu terjadi pengumpulan air kondensasi yang dapat menjadi tempat tumbuhnya bakteri. Selain itu, energi yang dipakai juga sangat besar jika menggunakan sistem pendinginan konvensional.

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

*Desiccant Dehumidification System* (DDS) adalah alternatif yang cocok dipakai saat ini. *Desiccant* adalah suatu zat yang memiliki sifat higroskopis yaitu dapat menyerap kandungan uap air dalam udara. Terdapat dua jenis DDS, yaitu *liquid* DDS dan *solid* DDS. *Liquid* DDS lebih banyak digunakan karena lebih ekonomis dan dapat

digunakan pada kapasitas udara yang lebih besar jika dibandingkan dengan *solid* DDS. Contoh dari *liquid desiccant* antara lain LiCl, LiBr, dan CaCl<sub>2</sub>.

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

Sistem DDS yang sudah ada memang sudah dapat menurunkan tingkat kelembaban suatu ruangan. Untuk memperoleh hasil yang maksimal, maka dalam penelitian ini kelembaban udara akan diturunkan dengan cara menyempotkan larutan *desiccant* ke dalam udara yang mengalir melewati suatu susunan *turbulator*. Alat yang digunakan adalah *wind tunnel* yang berfungsi untuk mengalirkan udara dari lingkungan menuju sistem dan *spray nozzle* untuk menyempotkan larutan *desiccant* sebagai penurun kelembaban udara. Proses penurunan kelembaban terjadi akibat adanya *transfer* massa (berupa uap air) dari udara ke larutan *desiccant*. Perpindahan massa tersebut juga diikuti dengan *transfer* kalor. Semakin besar *transfer* kalor yang dihasilkan, maka efisiensi DDS juga akan semakin meningkat.

Salah satu cara untuk memperbesar laju perpindahan panas yaitu dengan menambahkan *turbulator* pada saluran masuk udara. *Turbulator* merupakan suatu penghalang yang dipasang pada suatu saluran dengan tujuan mengganggu aliran fluida, sehingga terbentuk aliran yang turbulen. Dengan adanya aliran turbulen, maka menyebabkan luas bidang sentuh antara udara dengan *desiccant* semakin besar, sehingga *transfer* massa dan *transfer* kalor juga ikut meningkat, begitu juga dengan nilai efisiensi DDS. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh jumlah *turbulator* untuk mendapatkan unjuk kerja *liquid* DDS yang optimal, yaitu *transfer* massa, *transfer* energi, dan efisiensi DDS.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, dapat diambil suatu rumusan masalah yang diteliti, yaitu :

Bagaimana pengaruh jumlah *turbulator vanes* terhadap unjuk kerja *Liquid Desiccant Dehumidification System*?

### 1.3 Batasan Masalah

Untuk lebih mengarahkan hal-hal yang ada diluar kendali dari penelitian agar tetap sesuai dengan topik judul, maka dalam penelitian ini digunakan beberapa batasan masalah sebagai berikut :

1. Temperatur udara *masuk* selama pengujian konstan.
2. Kondisi dianggap *steady state*.
3. Cara pendistribusian *liquid desiccant* menggunakan *spray nozzle* dengan jenis *spray* yang homogen.
4. Debit *liquid desiccant* selama pengujian konstan.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh jumlah *turbulator* terhadap unjuk kerja *Liquid Desiccant Dehumidification System*.

### 1.5 Manfaat Penelitian

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

1. Memberikan wawasan aplikasi teknologi kepada masyarakat dalam bidang pengkondisian udara, khususnya penurun kelembaban udara.
2. Sebagai sumbangan pemikiran dalam dunia industri dalam desain *Liquid Desiccant Dehumidification System* untuk mendapatkan unjuk kerja yang optimal.
3. Menambah khasanah ilmu pengetahuan dan teknologi, khususnya mengenai pengkondisian udara menggunakan *Liquid Desiccant Dehumidification System*.

## 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 performa sistem dehumidifikasi menggunakan *Lithium Chloride* (LiCl) cair sebagai *liquid desiccant*. Kesimpulan dari penelitian ini adalah terdapat beberapa parameter yang mempengaruhi performansi dehumidifikasi secara signifikan, yaitu laju aliran udara, rasio kelembaban, temperatur *desiccant* dan konsentrasi *desiccant*. Proses dehumidifikasi dinyatakan dengan besarnya laju kondensasi. Laju kondensasi akan meningkat seiring meningkatnya laju aliran udara. Semakin tinggi laju aliran udara maka *transfer* massa akan semakin meningkat sehingga rasio kelembaban juga akan semakin besar.

Simanullang (2010), melakukan penelitian eksperimental mengenai pengondisian udara dengan menggunakan penambahan jumlah turbulator terhadap peningkatan kelembaban dalam *system humidification*. Peletakan *turbulator* pada sisi masuk *wind tunnel*. Dari hasil penelitian, peneliti menyimpulkan bahwa nilai *transfer* energi dan *transfer* massa mengalami peningkatan jika dibandingkan dengan tanpa menggunakan *turbulator*. Penambahan pemasangan *turbulator vanes* dengan jumlah yang semakin besar akan meningkatkan nilai *transfer* energi dan *transfer* massa. Nilai *transfer* energi dan *transfer* massa maksimum terjadi pada variasi jumlah 5 *turbulator*.

#### 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 (Frigidaire: 2009)

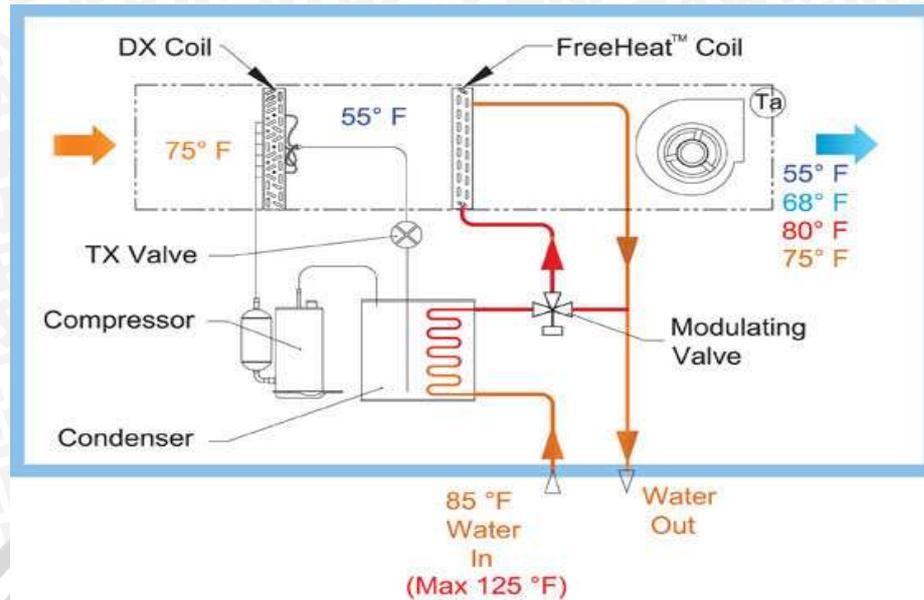
*Dehumidifier* digunakan untuk menurunkan kelembaban udara melalui proses dehumidifikasi. Proses dehumidifikasi merupakan suatu proses penurunan kadar air dalam udara. Proses dehumidifikasi ini dikendalikan oleh perbedaan tekanan uap air antara permukaan *desiccant* dan udara. Bila tekanan uap air pada 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 permukaan *desiccant* ke udara (Anonymous, a: 2002).

Dengan mengondisikan kelembaban suatu ruangan, kita dapat memperoleh nilai kelembaban yang sesuai untuk tujuan tertentu. Pada dunia industri, pengendalian kelembaban adalah masalah yang penting untuk beberapa proses industri. Sebagai contoh, pada industri tekstil, kelembaban yang tinggi akan menaikkan kandungan air pada serat higroskopis pada saat didinginkan, disisir, dipintal dan ditenun sehingga akan menambah kekuatan lentur, mengurangi sifat elektrostatis dan memisahkan serat dengan jalan mendorong akibatnya kerja mesin akan semakin mudah. "Tekstil membutuhkan kelembaban relatif sekitar 50% - 85% pada suhu 24 °C sampai 30 °C" (Kulshrestha, 1989: 417). Sedangkan kelembaban untuk udara yang bersirkulasi di dalam rumah, kelembabannya berkisar 40% - 70% dengan suhu antara 18 °C – 30 °C.

Ditinjau dari cara kerja sistemnya, terdapat beberapa jenis *dehumidifier*, antara lain :

1. *Heat Pump Dehumidifier*

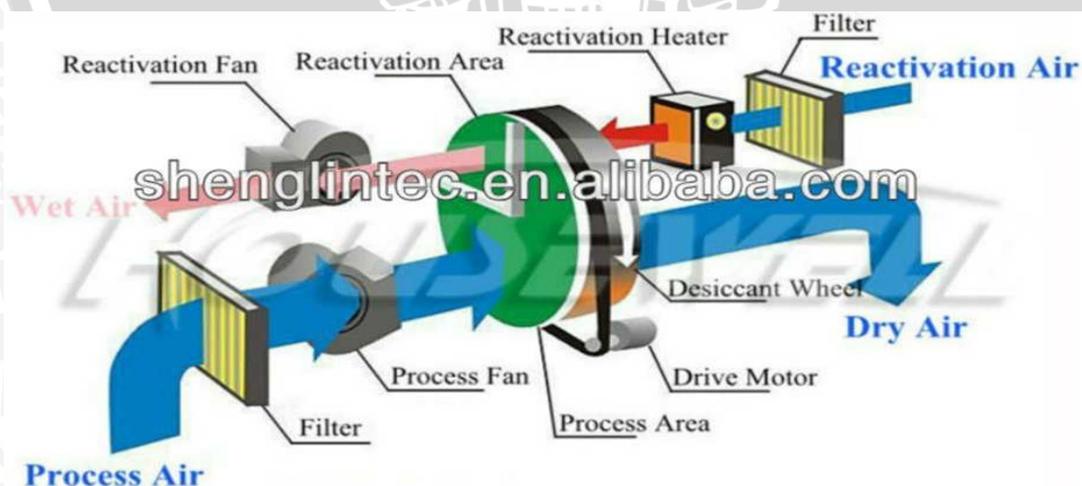
*Dehumidifier* ini menggunakan pompa panas (mirip dengan pompa panas pada pengondisi udara) atau *chemical absorbent* untuk menghilangkan uap air dalam udara tanpa mendinginkannya. *Heat Pump Dehumidifier* (HPD) (Gambar 2.1) menggunakan *fan* untuk mengalirkan udara dalam ruangan melalui koil penukar panas. Air dalam udara terkondensasi pada koil dan dikeringkan. Koil penukar panas kedua memanaskan ulang udara. Alat ini dapat mengurangi kerugian panas dari kompresor dan motor kipas ke udara (Anonymous, b: 2004).



Gambar 2.1 : Heat Pump Dehumidifier  
 Sumber : Anonimous\_ g (2012)

2. *Chemical Absorbent Dehumidifier*

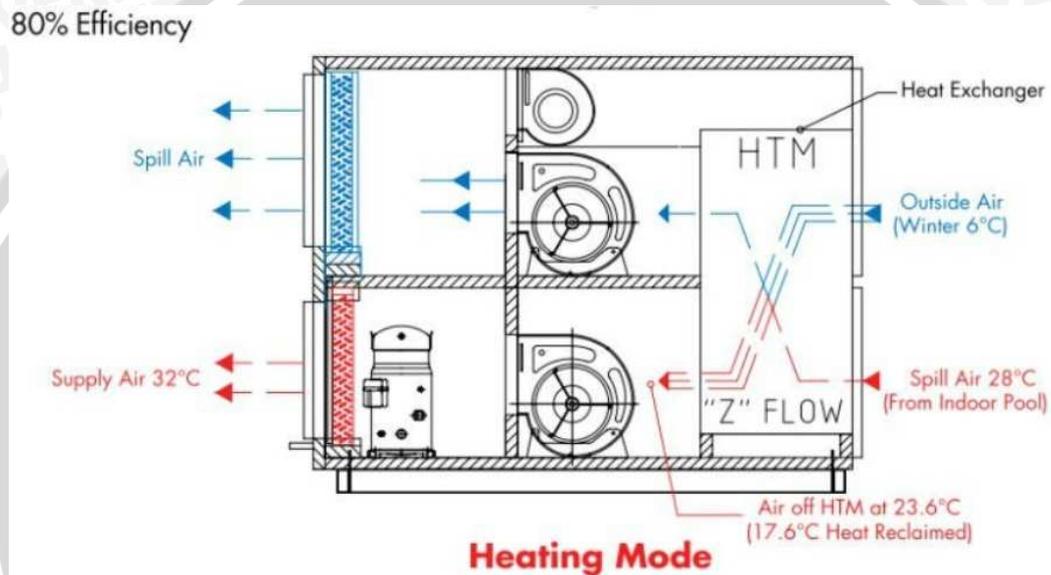
Jenis ini dirancang untuk iklim panas dan lembab. *Chemical Absorbent Dehumidifier* (CAD) (Gambar 2.2) menyerap uap air dari udara menggunakan *desiccant*, yaitu sebuah zat pengering seperti *silica gel*. *Dehumidifier* ini membutuhkan lebih banyak energi dibanding HPD. Namun biayanya lebih efektif jika menggunakan gas alam untuk penukaran panas (Anonimous, b: 2004). *Dehumidifier* yang digunakan dalam penelitian ini merupakan salah satu dari jenis ini.



Gambar 2.2 : Chemical Absorbent Dehumidifier  
 Sumber : Anonimous\_ c (1999)

### 3. *Dehumidifying Ventilators*

Alat ini (Gambar 2.3) memiliki sebuah *sensor-controller* dan kipas. *Sensor-controller* dapat diatur untuk mencapai tingkat kelembaban yang diinginkan. *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 (Anonimous, b: 2004).



Gambar 2.3 : *Dehumidifying Ventilators*  
Sumber : Anonimous\_d (1999)

### 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 (Frigidaire: 2009).

Terdapat dua jenis *desiccant*, yaitu *solid desiccant* dan *liquid desiccant*. 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* menyerap uap air tanpa reaksi

kimia. Sedangkan *liquid desiccant* menyerap uap air melalui reaksi kimia maupun perubahan fisik. *Liquid desiccant* lebih banyak digunakan karena mudah didapat, harganya lebih ekonomis dan mampu menghasilkan kapasitas udara yang besar dibanding dengan *solid desiccant*.

## 2.4 *Liquid Desiccant*

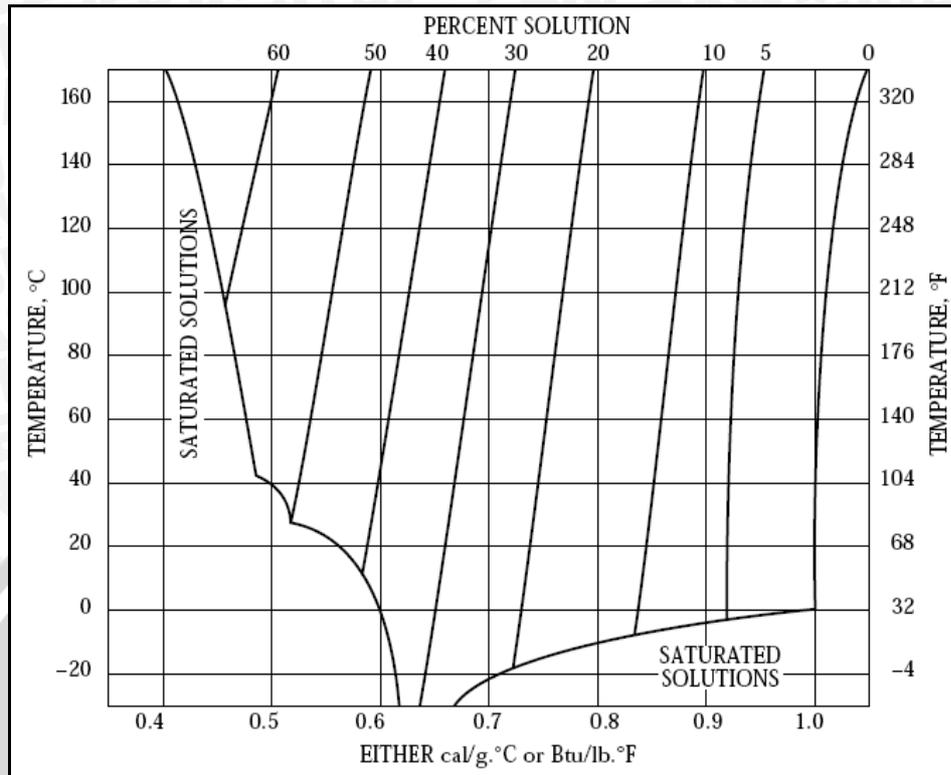
*Liquid desiccant* yang biasa digunakan adalah larutan LiCl (*Lithium Chloride*), LiBr (*Lithium Bromide*), CaCl<sub>2</sub> (*Calcium Chloride*) atau TEG (*Triethylene Glycol*). *Desiccant* memiliki tekanan parsial uap air yang lebih rendah daripada udara proses sehingga mampu menyerap uap air dari udara proses. Dalam penelitian ini, *desiccant* yang digunakan adalah larutan CaCl<sub>2</sub> 50% dengan basis massa. Artinya bahwa dalam 1 kg larutan *desiccant* terdapat 0,5 kg CaCl<sub>2</sub>. Cara pembuatannya adalah dengan melarutkan tiap 0,5 kg CaCl<sub>2</sub> *anhydrous* dengan pelarut berupa air sebanyak 0,5 kg. Adapun sifat-sifat beberapa larutan CaCl<sub>2</sub> dijelaskan pada tabel 2.1 dan gambar 2.4 di bawah ini.

Tabel 2.1 : Tabel sifat-sifat larutan CaCl<sub>2</sub>.

Property	CaCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	CaCl <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	CaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	CaCl <sub>2</sub> ·H <sub>2</sub> O	CaCl <sub>2</sub>
Composition (% CaCl <sub>2</sub> )	50.66	60.63	75.49	86.03	100
Molecular Weight	219.09	183.05	147.02	129	110.99
Melting Point <sup>1</sup> (°C)	29.9	45.3	176	187	773
(°F)	85.8	113.5	349	369	1424
Boiling Point <sup>2</sup> (°C)	—	—	174	183	1935
(°F)	—	—	345	361	3515
Density at 25°C (77°F), g/cm <sup>3</sup>	1.71	1.83	1.85	2.24	2.16
Heat of Fusion (cal/g)	50	39	21	32	61.5
(Btu/lb)	90	70	38	58	110.6
Heat of Solution <sup>3</sup> in H <sub>2</sub> O (cal/g)	17.2	-14.2	-72.8	-96.8	-176.2
(to infinite dilution) (Btu/lb)	31.0	-25.6	-131.1	-174.3	-317.2
Heat of Formation <sup>3</sup> at 25°C (77°F), kcal/mole	-623.3	-480.3	-335.58	-265.49	-190.10
Heat Capacity at 25°C (77°F), cal/g·°C or Btu/lb·°F	0.34	0.32	0.28	0.20	0.16

<sup>1</sup>Incongruent melting point for hydrates.  
<sup>2</sup>Temperature where dissociation pressure reaches one atmosphere for hydrates.  
<sup>3</sup>Negative sign means that heat is evolved (process exothermic).

Sumber : Anonimous\_f (2003)

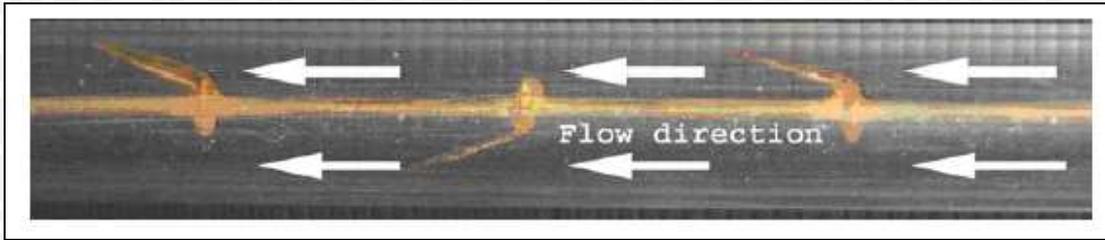


Gambar 2.4 : Diagram Kalor Spesifik Larutan CaCl<sub>2</sub>  
Sumber : Anonimous\_f (2003)

## 2.5 Turbulator Vanes

*Turbulator* merupakan alat atau penghalang yang berfungsi untuk meningkatkan turbulensi pada suatu aliran fluida. *Turbulator vanes* adalah sudu dari turbulator tersebut, yaitu suatu penghalang yang akan mengubah orientasi dari aliran fluida sehingga akan terjadi aliran sekunder (*secondary flow*). Dengan adanya aliran sekunder dalam aliran utama, maka pada aliran tersebut akan terjadi peningkatan *vortex* yang merupakan awal dari terjadi turbulensi dalam aliran. Dengan adanya peningkatan *vortex* tersebut maka akan meningkatkan luasan kontak antara fluida bertemperatur tinggi ke fluida bertemperatur rendah sehingga akan meningkatkan laju transfer energi dan massa antara fluida air dan udara.

*Turbulator* yang dipasang sebagai pengacau aliran fluida, juga akan dapat berfungsi sebagai pengarah aliran fluida panas untuk dapat bersentuhan dengan fluida dingin. Bentuknya yang tipis dan mempunyai luasan, akan menciptakan aliran sekunder untuk memaksimalkan transfer energi dan massa yang berlangsung, seperti ditunjukkan gambar 2.5 di bawah ini.



Gambar 2.5 : *Turbulator* dipasang pada bagian dalam  
 Sumber: Somsak Pethkool, Smith Eiamsa-ard, Artit Ridluan and Pongjet Promvonge,(2006:1)

Jika *turbulator vanes* ini dipasang dalam keadaan miring dengan sudut, jarak dan jumlah yang tertentu akan dapat sekaligus mengarahkan fluida panas untuk bersentuhan dengan permukaan fluida dingin yang temperaturnya lebih rendah.

## 2.6 Analisa aliran

Perpindahan panas konveksi sangat tergantung pada keadaan aliran lapisan batas dan apakah aliran tersebut laminar atau turbulen. Dalam menentukan keadaan suatu aliran (bersifat turbulen atau laminar) maka yang dapat dijadikan acuan adalah besarnya bilangan Reynolds dari aliran tersebut.

### 2.6.1 Aliran Laminar

Pada suatu aliran fluida, aliran yang bergerak dalam lapisan-lapisan dengan gerakan yang teratur dan tiap *streamline* tidak bercampur disebut aliran laminar. Perpindahan massa dan momentum dalam aliran laminar terjadi secara molekular dalam skala submikroskopis, dari lapisan yang mempunyai kecepatan yang relatif tinggi menuju ke lapisan lain yang memiliki kecepatan yang relatif lebih rendah. Dengan adanya viskositas, maka kecenderungan aliran untuk dapat berubah karena gangguan dapat diperkecil. Pada aliran laminar partikel-partikel fluida bergerak secara berurutan mengikuti suatu lintasan dan memiliki kecepatan yang tetap pada titik yang sama. Untuk aliran laminar nilai bilangan Reynolds adalah :

$$Re < 2 \cdot 10^5 \quad \text{untuk aliran eksternal.....(Cengel, 1998:376)}$$

$$Re < 2300 \quad \text{untuk aliran internal.....(Cengel, 1998:376)}$$

### 2.6.2 Aliran Turbulen

Pada suatu aliran fluida, saat partikel-partikel dalam aliran tersebut bergerak secara acak dengan kecepatan yang berfluktuasi dan tiap *streamline* bercampur maka

aliran tersebut dinamakan aliran turbulen. Pada aliran turbulen tidak terbentuk lapisan-lapisan fluida. Dan aliran fluida dibayangkan sebagai bongkahan-bongkahan fluida. Bongkahan-bongkahan fluida bergerak secara acak yang menyebabkan proses perpindahan momentum dan massa terjadi dalam skala makroskopik. Partikel-partikel bongkahan berperan sebagai pembawa energi dan memindahkan energi dengan cara bercampur dengan partikel-partikel lain pada fluida tersebut. Jika suatu aliran tersebut dimanfaatkan sebagai media penyerap panas, maka aliran turbulen akan dapat menyerap panas lebih banyak dibanding dengan aliran laminar. Dimana tiap-tiap partikel fluida bisa bersentuhan dengan permukaan media yang mempunyai beda temperatur dan membawanya bercampur dengan partikel lain untuk selanjutnya mentransfer energi panas tersebut pada partikel yang lain

Untuk aliran turbulen, nilai bilangan Reynolds adalah :

$Re > 5 \cdot 10^5$  untuk aliran eksternal .....(Cengel, 1998:376)

$Re > 4000$  untuk aliran internal .....(Cengel, 1998:376)

Pada aliran fluida, sebelum aliran menjadi turbulen maka, aliran akan mengalami proses transisi. Untuk aliran *internal*, aliran transisi dari aliran laminar ke aliran turbulen terjadi pada bilangan Reynolds antara 2300 – 4000.

Nilai bilangan Reynolds ini dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$Re = \frac{V_m \cdot D}{\nu} \quad (\text{Cengel, 1998:375}) \quad (2.1)$$

dimana:

$V_m$  = Kecepatan Aliran [m/s]

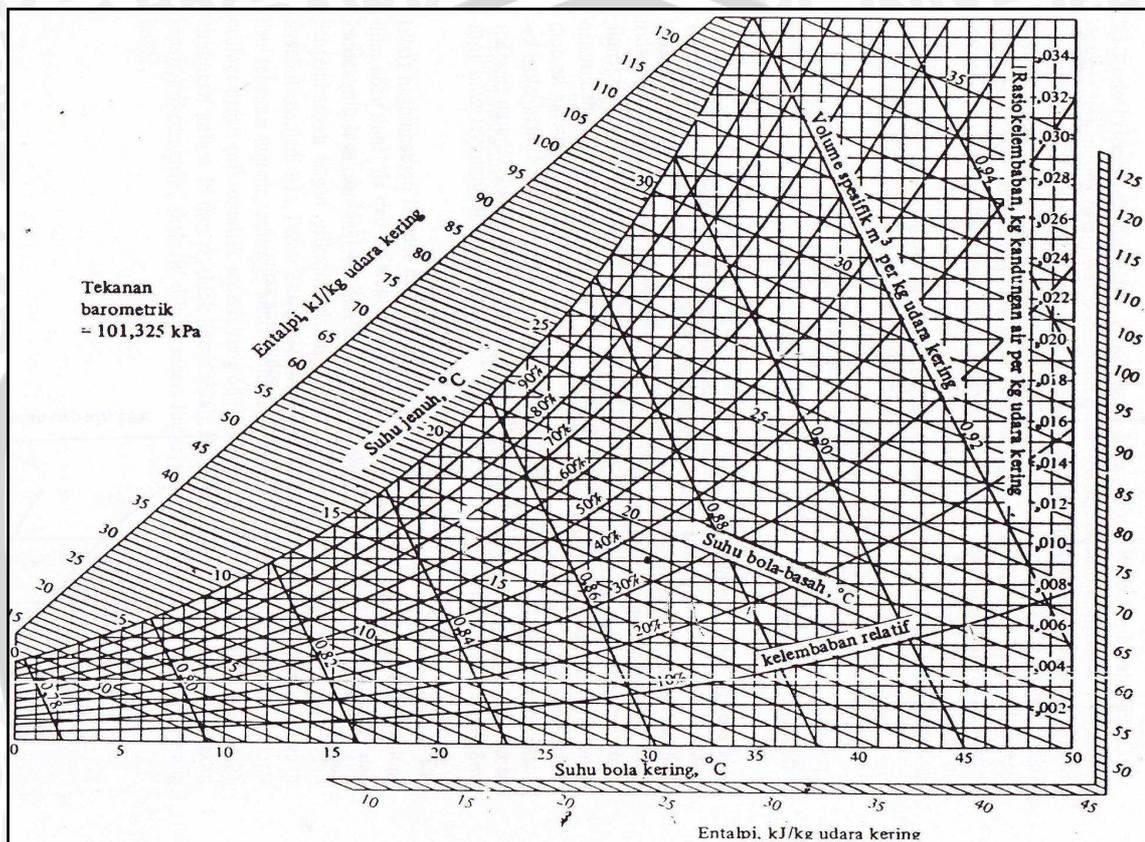
$D$  = Diameter [m]

$\nu$  = Viskositas Kinematik Fluida [m<sup>2</sup>/s]

## 2.7 Psychrometric dan Diagram Psychrometric

*Psychrometric* adalah ilmu yang mempelajari sifat-sifat dari udara lembab. Ilmu ini banyak diterapkan pada analisa dan desain pada 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 2.6) menggambarkan beberapa sifat penting dari udara kering hingga udara lembab, baik harga entalpi, kelembaban dan volum spesifik dari suatu sampel udara. Kemudian dengan diagram ini kita dapat menentukan harga parameter-parameter dari udara dengan jalan mengukur temperatur bola basah dan temperatur bola kering suatu ruangan.



Gambar 2.6 : Diagram *Psychrometric*  
Sumber : Anonimous\_e (1988)

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  $P_{\text{sat}}$  (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:

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

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 :

$$\omega = m_v/m_a \quad (\text{El- Wakil, 1992 : 266}) \quad (2-3)$$

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

$$\omega = \frac{P_v V / R_v T}{P_a V / R_a T}$$

$$\omega = \frac{P_v R_a}{(P_b - P_v) R_v} \quad (2-4)$$

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

$$\omega = \frac{0,622 P_v}{(P_b - P_v)} \quad (\text{Kulshrestha, 1989 : 422}) \quad (2-5)$$

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 [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$R_v$  = tetapan gas untuk uap air [ $\text{J/kg } ^{\circ}\text{C}$ ]

$R_a$  = tetapan gas untuk udara kering [ $\text{J/kg } ^{\circ}\text{C}$ ]

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

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 Temperature*)

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 :

$$h = C_p T_c + \omega h_g \quad (\text{Stoecker, 1992 : 42}) \quad (2-6)$$

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> °C]

$T_c$  = 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>]

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

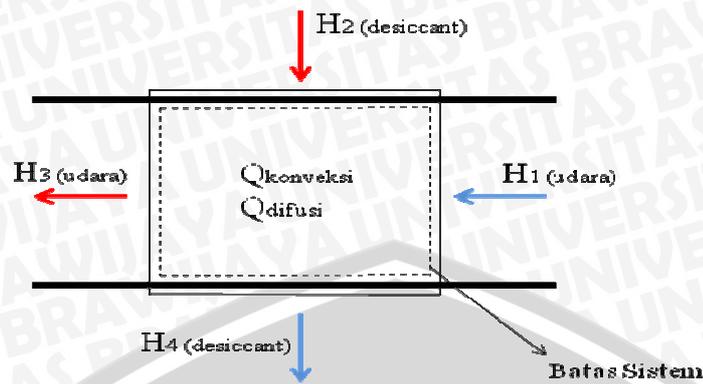
### 2.8.1 Proses Difusi

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 penjujukan. Hal ini terjadi karena selama proses penjujukan, terjadi proses penguapan dimana penguapan timbul karena tekanan uap air yang keluar dari cairan adalah lebih besar dibandingkan tekanan parsial uap 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 penjujukan 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 penjujukan 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.

### 2.8.2 Keseimbangan Kalor pada Sistem

Udara dengan temperatur ruangan dialirkan ke dalam sistem dengan menggunakan *blower* yang kemudian disinggungkan 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 2.7 menunjukkan keseimbangan kalor yang terjadi di dalam *dehumidifier*.



Gambar 2.7 : Keseimbangan kalor pada *dehumidifier*

Keterangan :

$H_1$  : Laju kalor udara yang masuk ke dalam sistem [kJ/s]

$H_2$  : Laju kalor *desiccant* yang masuk ke dalam sistem [kJ/s]

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

$H_4$  : Laju kalor *desiccant* yang ditampung ( $H_2 + Q_{diff} - Q_{conv}$ ) [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 *transfer* massa dimana partikel *desiccant* menyerap uap air dari udara, sehingga terjadi penurunan kelembaban udara.

b. Perpindahan Kalor Konveksi ( $q_c$ )

Perpindahan kalor konveksi terjadi pada media yang bergerak dimana udara dan *desiccant* yang temperturnya berbeda dan saling bersinggungan. Pada penelitian ini, perpindahan kalor konveksi terjadi dari larutan *desiccant* ke udara. Besarnya nilai kalor yang berpindah tergantung pada beda temperatur fluida yang bersinggungan ( $\Delta T$ ), koefisien konveksi ( $h$ ) dan luas permukaan medium yang digunakan ( $A$ ). Sedangkan nilai koefisien konveksi dipengaruhi oleh bilangan Nusselt, Reynolds dan koefisien konduksi.

Dengan memvariasikan kecepatan udara masuk, semakin besar kecepatan udara maka bilangan Reynolds akan semakin meningkat karena kecepatan udara berbanding lurus dengan bilangan *Reynolds*, sesuai dengan rumus (2-6) :

$$Re = \frac{VD_H}{\nu} \quad (\text{Holman, 1984 : 174}) \quad (2-7)$$

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

$$Nu = C Re^m Pr^n \quad (\text{Holman, 1984 : 230}) \quad (2-8)$$

$$Nu = \frac{hD_H}{k} \quad (\text{Holman, 1984 : 212}) \quad (2-9)$$

Dengan adanya rumus diatas maka dapat kita asumsikan seiring dengan kenaikan kecepatan udara maka bilangan Reynolds, bilangan Nusselt dan koefisien perpindahan panas konveksi akan semakin besar, sehingga laju perpindahan kalor konveksi akan semakin meningkat ketika aliran udaranya menjadi turbulen. Hal tersebut sesuai dengan rumus berikut :

$$q = h.A.\Delta T \quad (\text{Holman, 1984 : 229}) \quad (2-10)$$

dimana :

- Re = bilangan Reynolds
- V = kecepatan udara [m/s]
- D<sub>H</sub> = diameter hidrolik [m]
- $\nu$  = Viskositas kinematik fluida [m<sup>2</sup>/s]
- C,m,n = konstanta
- Pr = bilangan Prandtl
- h = koefisien perpindahan panas konveksi [W/m<sup>2</sup> °C]
- k = koefisien konduksi [W/m.°C]
- Nu = bilangan Nusselt
- $\Delta T$  = beda temperatur [°C]
- q = laju perpindahan kalor konveksi [J/s]
- A = luas penampang medium [m<sup>2</sup>/s]

Kesetimbangan kalor secara matematik dapat dituliskan sebagai berikut :

$\Sigma$  Laju kalor keluar :

$$H_3 + H_4 = H_1 - \cancel{Q_{diff}} + \cancel{Q_{conv}} + H_2 + \cancel{Q_{diff}} - \cancel{Q_{conv}}$$

Sehingga dapat disimpulkan :

$\Sigma$  Laju kalor keluar =  $\Sigma$  Laju kalor masuk

$$H_3 + H_4 = H_1 + H_2 \quad (2-11)$$

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

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

Sehingga nilai energi kalor udara masuk dihitung dengan rumus :

$$H_1 = m_{a1} (C_p T_1 + \omega_1 h_{g1}) \quad (2-13)$$

Keterangan :

$m_{a1}$  = laju massa alir udara kering yang masuk ke dalam sistem [kg/s]

$T_1$  = temperatur udara inlet [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$\omega_1$  = kelembaban absolut udara inlet [ $\text{kg}_{\text{uap air}}/\text{kg}_{\text{udara kering}}$ ]

$h_{g1}$  = entalpi uap udara inlet [J/kg]

Nilai kalor udara keluar dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$H_3 = m_{a3} (C_p T_3 + \omega_3 h_{g3}) \quad (2-14)$$

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 (2-15) dan (2-17) 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 [ $\text{kg/s}$ ]

$m_a$  = laju massa alir udara kering [ $\text{kg/s}$ ]

$m_v$  = laju massa alir uap air [ $\text{kg/s}$ ]

$V$  = kecepatan campuran udara dan uap air [ $\text{m/s}$ ]

$\rho$  = massa jenis campuran udara dan uap air [ $\text{kg/m}^3$ ]

$H_2$  dan  $H_4$  masing-masing dihitung dengan rumus :

$$H_2 = m_2 \times h_2 \quad (2-20)$$

*Desiccant* yang digunakan adalah larutan 50 %  $\text{CaCl}_2$  maka energi yang dikandung adalah energi dari *desiccant* dan energi dari air, sehingga :

$$H_2 = H_d + H_w$$

$$H_2 = m_2 \cdot T_2 (Cp_d + Cp_w) \quad (2-21)$$

Keterangan :

$H_d$  = energi kalor yang dikandung *desiccant* [ $\text{kJ/s}$ ]

$H_w$  = energi kalor yang dikandung air [ $\text{kJ/s}$ ]

$m_2$  = laju massa alir *desiccant* yang masuk ke dalam sistem [ $\text{kg/s}$ ]

$T_2$  = temperatur *desiccant* masuk [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$Cp_d$  = kalor spesifik *desiccant*

$Cp_w$  = kalor spesifik air = 4,19 [ $\text{kJ/kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$ ]

$$H_4 = m_4 \times h_4 \quad (2-22)$$

$$H_4 = H_d + H_w$$

$$H_4 = m_4 \cdot T_4 (Cp_d + Cp_w) \quad (2-23)$$

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 :

$$\begin{aligned}\dot{m}_2 &= \rho_{desiccant} \times \dot{Q}_2 \\ \dot{m}_4 &= \rho_{desiccant} \times \dot{Q}_4\end{aligned}\quad (2-24)$$

Sedangkan nilai kalor spesifik *desiccant* dapat dilihat pada diagram kalor spesifik larutan  $\text{CaCl}_2$  (Gambar 2.4) yang tergantung dengan besarnya temperatur dan konsentrasi larutan (%) masing-masing kondisi. Dengan menggabungkan persamaan-persamaan sebelumnya, maka persamaan energinya menjadi :

$$\begin{aligned}H_1 + H_2 &= H_3 + H_4 \\ \dot{m}_{a1} (C_p T_1 + \omega_1 h_{g1}) + \frac{\dot{m}_2 T_2}{2} (C_{p_d} + C_{p_w}) &= \dot{m}_{a3} (C_p T_3 + \omega_3 h_{g3}) + \frac{\dot{m}_4 T_4}{2} (C_{p_d} + C_{p_w})\end{aligned}\quad (2-25)$$

Nilai *transfer* energi dihitung dengan persamaan :

$$\Delta H = H_1 - H_3 = H_2 - H_4\quad (2-26)$$

Nilai transfer massa dihitung dengan persamaan :

$$\Delta \dot{m}_a = \dot{m}_{a1} - \dot{m}_{a3} = \dot{m}_{a2} - \dot{m}_{a4}\quad (2-27)$$

### 2.8.3 Efisiensi Thermal

Efisiensi merupakan perbandingan antara kerja yang dihasilkan dengan energi yang dikorbankan. Dalam termodinamika, efisiensi *thermal* adalah ukuran yang menunjukkan performa peralatan *thermal* seperti mesin pembakaran dalam dan sebagainya. Panas yang masuk adalah energi yang didapatkan dari sumber energi. Output yang diinginkan dapat berupa panas atau kerja, atau mungkin keduanya (Howell John R and Buckius Richard O: 1987).

Sedangkan efisiensi *thermal* pada *liquid desiccant dehumidification system (DDS)* menunjukkan perbandingan antara besarnya kalor yang berguna untuk menyerap uap air dengan kalor *desiccant* yang disemprotkan ke dalam sistem.

Sehingga dapat dirumuskan :

$$\eta_{th} = \frac{\text{berguna}}{\text{pengorbanan}} \cdot 100\%$$
$$\eta_{th} = \frac{\Delta\omega}{\omega_1} \cdot 100\% \quad (2-28)$$

## 2.9 Hipotesis

Semakin banyak jumlah *turbulator vanes* menyebabkan aliran semakin turbulen dan menyebabkan kemungkinan untuk kontak fisik antara udara dengan *liquid desiccant* semakin besar, sehingga *transfer energi*, *transfer massa* serta efisiensi *desiccant dehumidification system (DDS)* akan semakin meningkat.



## BAB III

### METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan adalah dengan menggunakan metode eksperimental nyata (*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 yang bisa dihubungkan.

#### 3.1 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 masuk sebesar 1; 1,5; 2; 2,5; 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 unjuk kerja *liquid desiccant dehumidification system* yang meliputi :

- Transfer energi
- Transfer massa
- Efisiensi *Desiccant Dehumidification System (DDS)*

3. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol pada penelitian ini nilainya dikonstantakan selama penelitian dilakukan. Variabel yang dikontrol dalam penelitian ini adalah jumlah *turbulator vanes*, divariasikan masing-masing sebanyak 3; 4; 5; dan tanpa *turbulator vanes*.

### 3.2 Alat-alat Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari :

#### 1. *Wind tunnel*

*Wind tunnel* (Gambar 3.1) merupakan suatu alat yang digunakan untuk mensimulasikan aliran udara serta mengukur kecepatan aliran udara yang mengalir di dalamnya. Alat ini memiliki tinggi penampang udara masuk 300 [mm] serta memiliki lebar penampang udara masuk 150 [mm].



Gambar 3.1 : *Wind Tunnel*

#### 2. Sensor dan peralatan pendukung lainnya.

##### a. *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 elektrik berupa tegangan.

##### b. Peralatan pendukung

###### • *Digital Multimeter*

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

###### • *Thermo Controller*

Fungsi dari alat ini adalah memutus arus listrik yang mengalir pada *heater* secara otomatis ketika temperatur *desiccant* mencapai temperatur yang ditentukan, yaitu 60 °C pada setiap pengambilan data serta menghidupkannya kembali ketika temperatur *desiccant* di bawah 60 °C. Toleransi dari pengaturan temperatur ini adalah  $\pm 0,5$  °C.

- *Anemometer*

Alat ini berfungsi untuk mengukur kecepatan udara masuk (sebelum *turbulator*) dan kecepatan udara *outlet* (setelah *turbulator*).

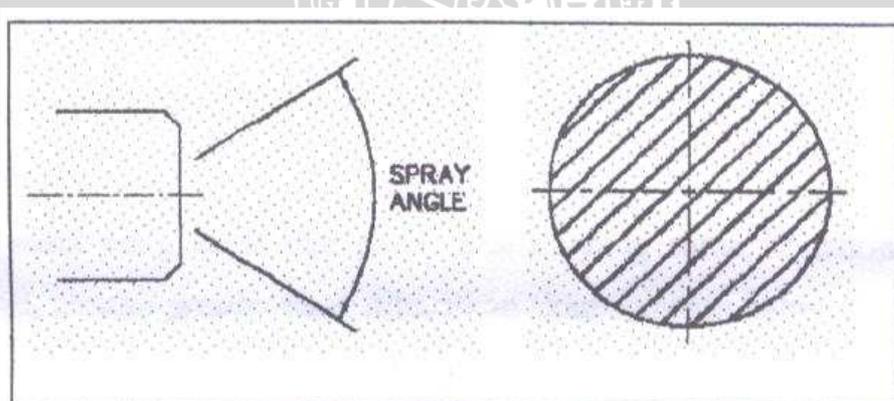
### 3. Pompa

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/s]
5. Head : 0,576 [m]

### 4. *Spray Nozzle*

*Spray nozzle* (Gambar 3.2) 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. Dalam pemasangannya, alat ini diletakkan dengan jarak 100 [mm] setelah *turbulator*.



Gambar 3.2 : *Spray Nozzle*

### 5. Gelas ukur

Gelas ukur dalam penelitian ini berfungsi untuk mengetahui debit larutan *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 larutan *desiccant* [m<sup>3</sup>/s]

$V$  = volum *desiccant* [m<sup>3</sup>]

$t$  = waktu [s]

### 6. Heater

*Heater* dalam penelitian ini 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.

### 7. Adaptor

Adaptor (Gambar 3.3) 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]



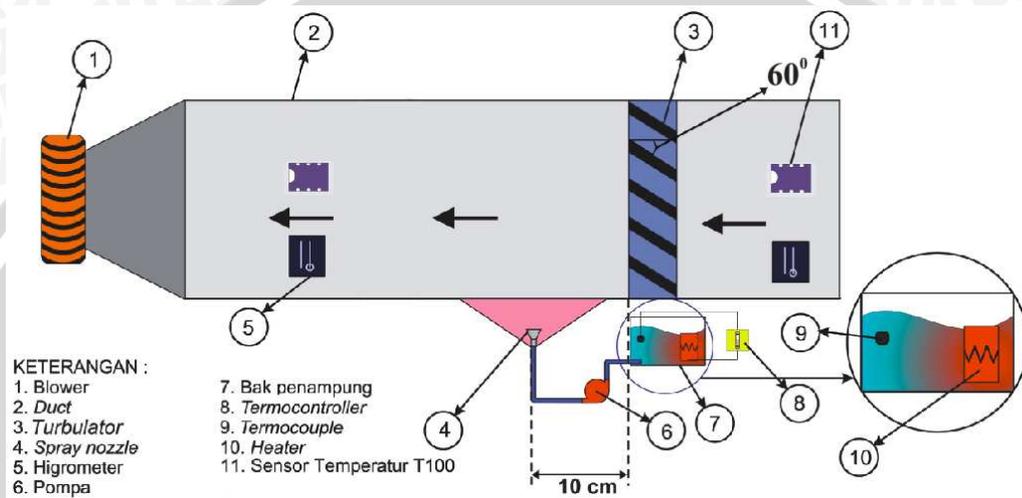
Gambar 3.3 : Adaptor

### 8. *Turbulator Vanes*

Merupakan plat tipis dari bahan fiberglass dengan bentuk tertentu yang mempunyai tebal ( $t$ ) 3 [mm], lebar ( $l$ ) 150 [mm] dan panjang ( $p$ ) 50 [mm]. *Turbulator* akan dipasangkan dalam instalasi dengan sudut  $60^\circ$ .

### 3.3 Instalasi Penelitian

Gambar 3.4 menjelaskan instalasi penelitian beserta keterangan dan beberapa alat pendukungnya.



Gambar 3.4 : Instalasi Penelitian

### 3.4 Prosedur penelitian

Persiapan meliputi :

1. Menyiapkan instalasi penelitian dengan berbagai variasi kecepatan udara masuk.
2. Membuat larutan *desiccant* dengan konsentrasi 50 %.
3. Memanaskan larutan *desiccant* dengan *heater* sampai pada temperatur  $60^\circ\text{C}$ .
4. Pengecekan kondisi alat ukur meliputi manometer dan sensor beserta alat pendukungnya.

Pelaksanaan percobaan :

1. Memasang semua instalasi penelitian pada *wind tunnel*.
2. Menghidupkan pompa dan mengatur debit larutan *desiccant* sesuai dengan yang diinginkan.
3. Hidupkan blower dan mengatur bukaan blower dengan kecepatan udara *inlet* 1 [m/s].

4. Setelah keadaan mencapai kondisi *steady*, pengambilan data dapat dilakukan.
5. Mengambil data temperatur udara *inlet*, temperatur udara *outlet*, dan kecepatan udara *outlet*.
6. Mengulangi langkah 2 sampai 4 pada variasi kecepatan udara *inlet* 2; 3; 4; dan 5 [m/s]
7. Mengulangi langkah 2 sampai 6 dengan variasi jumlah *turbulator vanes* 3; 4; 5 dan tanpa *turbulator vanes*.
8. Data diolah, kemudian dianalisa pengaruh jumlah *turbulator vanes* terhadap unjuk kerja *liquid desiccant dehumidification system*. Data dianalisa dengan rumusan dan persamaan sesuai dengan ilmu mekanika fluida dan termodinamika. 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.

### 3.5 Tempat Penelitian

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

### 3.6 Rancangan Penelitian

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

Untuk rancangan tabel penelitian data yang diperoleh akan disajikan dengan:

- Di bagian atas table ada judul tabel
- Dilanjutkan dengan keterangan jumlah dari *turbulator vanes* yang digunakan
- Pada kolom pertama diisi keterangan nilai bilangan Reynolds
- Pada kolom kedua diisi dengan nilai temperature bola kering masuk
- Pada kolom ketiga diisi dengan nilai temperature bola basah masuk
- Pada kolom keempat diisi dengan nilai temperature bola kering keluar
- Pada kolom terakhir diisi dengan nilai temperature bola basah keluar.

Untuk rancangan tabel penelitian pengolahan datanya akan disajikan dengan:

- Di bagian atas tabel ada judul tabel “Rancangan Pengolahan Data”
- Dilanjutkan dengan keterangan jumlah dari *turbulator vanes* yang digunakan
- Pada kolom pertama diisi keterangan nilai bilangan Reynolds
- Pada kolom kedua diisi dengan nilai *transfer energi*
- Pada kolom ketiga diisi dengan nilai *transfer massa*
- Pada kolom terakhir diisi dengan nilai efisiensi DDS.

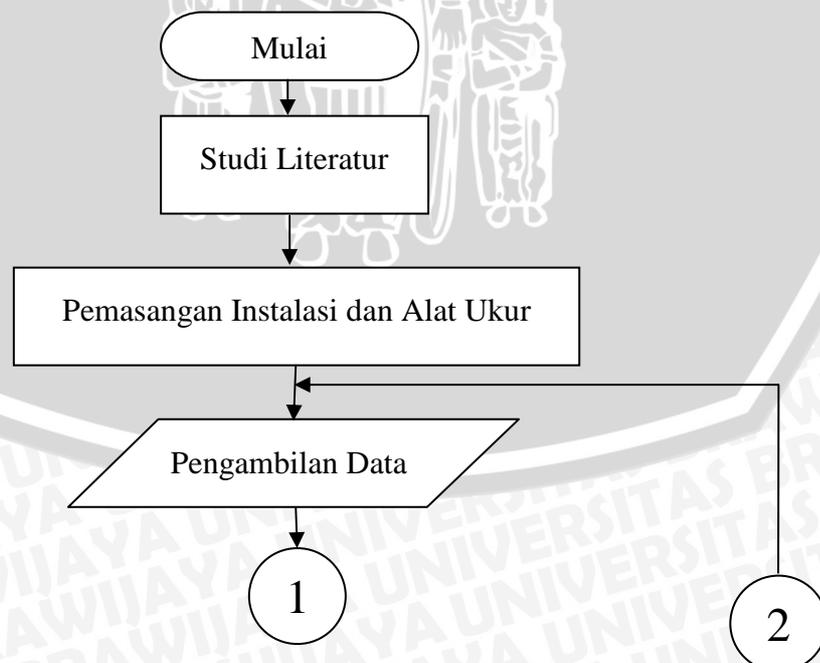
Grafik Hubungan Antar Variabel

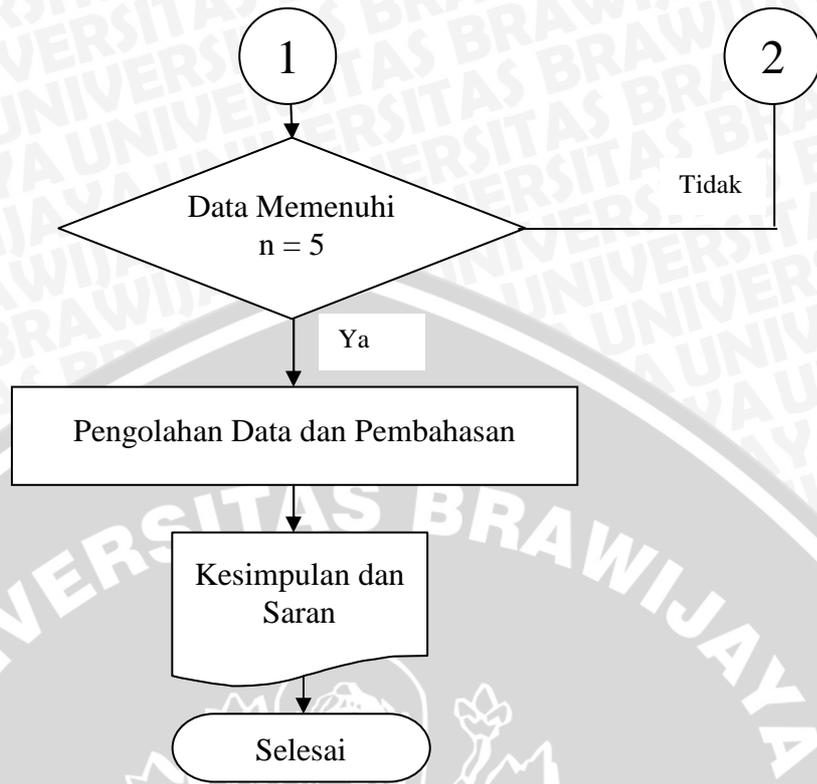
Hasil dari pengolahan data penelitian yang telah dilakukan akan ditampilkan dengan bentuk grafik. Grafik-grafik yang akan ditampilkan berjumlah 3 buah. Bentuk pemaparannya, setelah gambar grafik akan langsung diberi pembahasan dari grafik tersebut dibawahnya. Macam grafiknya ada 3, yaitu:

- Grafik Hubungan Reynolds ( $Re$ ) dengan *Transfer Energi* ( $\Delta H$ )
- Grafik Hubungan Reynolds ( $Re$ ) dengan *Transfer Massa* ( $\Delta \square$ )
- Grafik Hubungan Reynolds ( $Re$ ) dengan Efisiensi DDS ( $\eta_{DDS}$ )

### 3.7 Diagram Alir Penelitian

Dibawah ini adalah diagram alir penelitian, menunjukkan alur dari proses penelitian.





Gambar 3.5: Diagram Alir Penelitian

**BAB IV**  
**DATA DAN PEMBAHASAN**

**4.1 Analisa Data**

**4.1.1 Data hasil pengujian**

Berikut ini adalah data hasil pengujian pengaruh bilangan Reynolds terhadap *transfer* energi dan massa pada *direct contact humidifier*:

Tabel 4.1 Tabel Hasil Pengambilan Data yang Diperoleh Tanpa *Turbulator*

<b>Re</b>	<b>Tdb in (°C)</b>	<b>Twb in (°C)</b>	<b>Tdb out (°C)</b>	<b>Twb out (°C)</b>
206884	32	29	31.5	28
	32	29.5	32	29
310326	32	29	31.5	28
	32	29.5	32	28.5
413768	32	29	32	27.5
	32	29.5	32	28
517210	32	29	31.5	27
	32	29	32	27.5
620652	32	29	31.5	27.5
	32	29	31.5	28

Tabel 4.2 Tabel Hasil Pengambilan Data yang Diperoleh 3 *Turbulator*

<b>Re</b>	<b>Tdb in (°C)</b>	<b>Twb in (°C)</b>	<b>Tdb out (°C)</b>	<b>Twb out (°C)</b>
206884	32	29	31.5	28
	32	29	32	28
310326	32	29.5	31.5	28
	32	29.5	32	27.5
413768	32	29	32	27.5
	32	29.5	32	27
517210	32	29.5	31.5	27.5
	32	29	31.5	27
620652	32	29	31.5	27
	32	29.5	32	27

Tabel 4.3 Tabel Hasil Pengambilan Data yang Diperoleh 4 *Turbulator*

Re	Tdb in (°C)	Twb in (°C)	Tdb out (°C)	Twb out (°C)
206884	32	29	31.5	27
	32	29	32	27.5
310326	32	29.5	31.5	27
	32	29	32	26.5
413768	32	29.5	32	26.5
	32	29.5	32	26
517210	32	29.5	31.5	26.5
	32	29	32	26.5
620652	32	29	31.5	26
	32	29.5	32	26.5

Tabel 4.4 Tabel Hasil Pengambilan Data yang Diperoleh 5 *Turbulator*

Re	Tdb in (°C)	Twb in (°C)	Tdb out (°C)	Twb out (°C)
206884	32	29	31.5	27
	32	29	32	27
310326	32	29.5	32	26.5
	32	29	32	26.5
413768	32	29.5	31.5	26
	32	29.5	31.5	26.5
517210	32	29.5	31.5	26
	32	29	32	26
620652	32	29	31.5	25.5
	32	29.5	31.5	26

#### 4.1.2 Contoh Perhitungan

Data yang diperoleh dari pengujian humidifier dengan pemasangan 5 *turbulator vanes* data ke 2 :

a. Data dari hasil pengujian

- $T_{dbin} = 32$  [°C]
- $T_{wbin} = 29$  [°C]
- $T_{dbout} = 32$  [°C]
- $T_{wbout} = 27$  [°C]
- $A = 30$  [cm] x  $15,5$  [cm]

b. Data yang diambil dari diagram psikrometri

- $RH_1 = 79$  [%]

- $RH_2 = 68 [\%]$
- $\omega_1 = 0,0243$
- $\omega_3 = 0,0206$

c. Data yang diperoleh dari tabel 5.1 sifat-sifat cairan dan uap jenuh

- $\rho_{udara\ inlet} = 1,046 [kg/m^3]$
- $hg_1 = 2555,5 [kJ/Kg]$
- $hg_2 = 2553,6 [kJ/Kg]$

Pengolahan Data :

1. Laju massa alir udara masuk ( $m_1$ )

$$m_1 = \rho_{udara} \times V_1 \times A$$

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

$$m_1 = 0,0513 [kg / s]$$

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

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

$$m_a = \frac{0,0513}{(1 + 0,0243)}$$

$$m_a = 0,05007 [kg / s]$$

3. Laju massa alir udara keluar ( $m_3$ )

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

$$m_3 = 0,05007 \times (1 + 0,0206)$$

$$m_3 = 0,0511 [kg / s]$$

4. Transfer Massa ( $\Delta m$ )

$$\Delta m = m_1 - m_3$$

$$\Delta m = 0,0513 - 0,0511$$

$$\Delta m = 0,0001853 [kg / s]$$



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

$$H_1 = m_a \times (C_p T_{db1} + h_{g1} \times \omega_1)$$

$$H_1 = 0,05007 \times (1 \times 32 + 2555,5 \times 0,0243)$$

$$H_1 = 4,7118 \text{ [kJ / s]}$$

6. Energi total sisi keluar ( $H_2$ )

$$H_3 = m_a \times (C_p T_{db3} + h_{g3} \times \omega_3)$$

$$H_3 = 0,05007 \times (1 \times 32 + 2553,6 \times 0,0206)$$

$$H_3 = 4,23636 \text{ [kJ / s]}$$

7. Transfer Energi ( $\Delta H$ )

$$\Delta H = H_1 - H_3$$

$$\Delta H = 4,7118 - 4,23636$$

$$\Delta H = 0,4754 \text{ [kJ/s]}$$

8. Efisiensi ( $\eta$ )

$$\eta = \frac{\Delta \omega}{\omega_1} \cdot 100 [\%]$$

$$\eta = \frac{0,0037}{0,0243} \cdot 100 [\%]$$

$$\eta = 15,226 [\%]$$

#### 4.1.3 Data Hasil Perhitungan

Berikut ini merupakan data hasil perhitungan Transfer Energi, Transfer Massa dan Efisiensi Sistem pada variasi jumlah *turbulator vanes*

A. Tabel 4.5: Data Hasil Perhitungan Transfer Energi ( $\Delta H$ )

V (m/s)	Transfer Energi (KJ/s) pada jumlah <i>turbulator</i>			
	Tanpa <i>turbulator</i>	3	4	5
1	0.2200	0.2200	0.4756	0.4756
	0.1174	0.2580	0.3987	0.4754
1.5	0.3314	0.4846	0.8675	0.9065
	0.3693	0.5034	0.6762	0.7912
2	0.5198	0.6475	1.1834	1.4121
	0.6732	0.8520	1.2104	1.3371
2.5	1.1926	1.2240	1.7358	2.0231
	1.0015	1.0641	1.4793	1.6070
3	1.5834	1.4309	2.1188	2.4634
	1.4679	1.7374	2.0820	2.4250

B. Tabel 4.6 :Data Hasil Perhitungan Transfer Massa ( $\Delta \square$ )

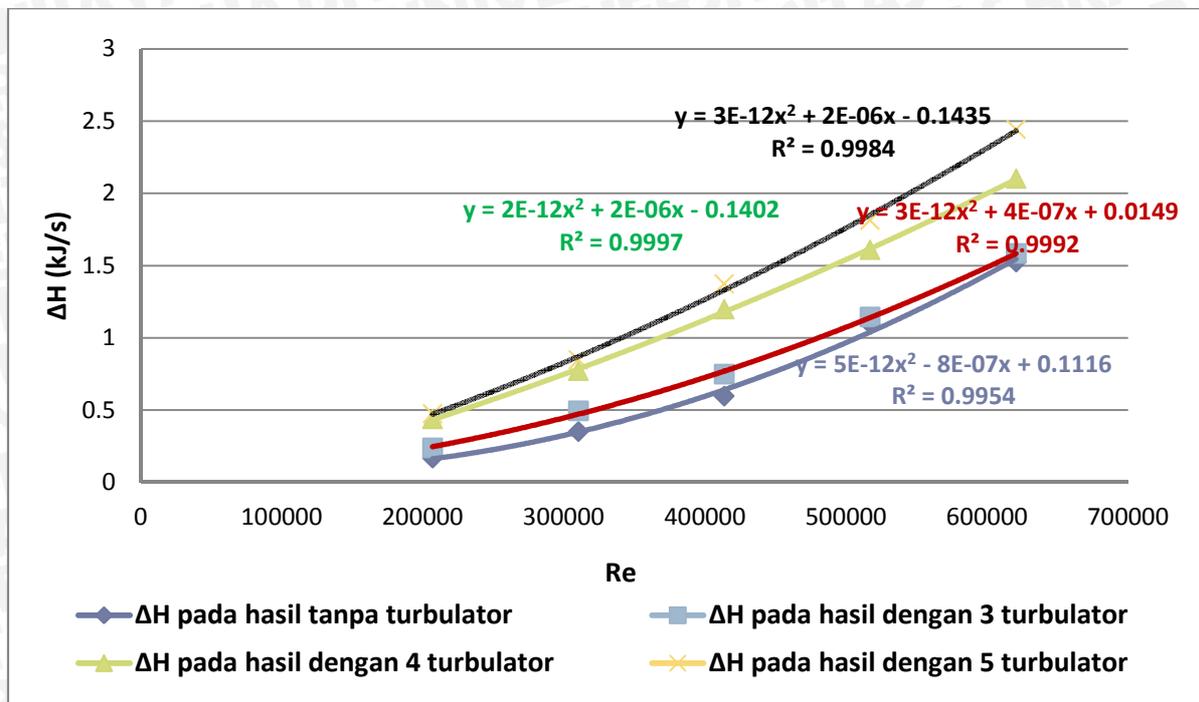
V (m/s)	Transfer massa (kg/s) pada jumlah <i>turbulator</i>			
	Tanpa <i>turbulator</i>	3	4	5
1	0.00007511	0.00007511	0.00017525	0.00017525
	0.00004503	0.00010015	0.00015523	0.00018527
1.5	0.00011266	0.00017262	0.00032272	0.00035274
	0.00014260	0.00019513	0.00026288	0.00030795
2	0.00020029	0.00025036	0.00046031	0.00053036
	0.00026018	0.00033022	0.00039057	0.00042061
2.5	0.00043814	0.00045030	0.00055080	0.00066346
	0.00038806	0.00038806	0.00067545	0.00072549
3	0.00058539	0.00052576	0.00091562	0.00105071
	0.00054036	0.00067545	0.00081055	0.00091562

C. Tabel4.7: Data Hasil Perhitungan Efisiensi DDS

V (m/s)	Efisiensi DDS pada jumlah <i>turbulator</i>			
	Tanpa <i>turbulator</i>	3	4	5
1	0.0617	0.0617	0.1440	0.1440
	0.0359	0.0823	0.1276	0.1523
1.5	0.0617	0.0916	0.1713	0.1873
	0.0757	0.1036	0.1440	0.1687
2	0.0823	0.1029	0.1833	0.2112
	0.1036	0.1315	0.1873	0.1992
2.5	0.1440	0.1434	0.2072	0.2430
	0.1276	0.1276	0.1893	0.2058
3	0.1554	0.1440	0.2181	0.2551
	0.1434	0.1793	0.2151	0.2430

## 4.2 Grafik Hasil Perhitungan dan Pembahasan

### 4.2.1 Hubungan Antara Reynolds (Re) dengan Transfer Energi ( $\Delta H$ )



Gambar 4.1: Grafik Hubungan antara Reynolds dengan Transfer Energi

Pada grafik (gambar 4.1) terlihat bahwa nilai *transfer* energi yang terjadi semakin meningkat seiring dengan meningkatnya bilangan Reynolds. Hal tersebut dapat diartikan bahwa energi kalor pada sisi keluar lebih kecil daripada sisi masuk. Energi kalor pada sisi keluar lebih kecil daripada sisi masuk dikarenakan udara kehilangan energi kalor pada saat udara melewati semprotan *desiccant*. Kenaikan grafik akibat selisih nilai energi kalor sisi masuk dan keluar sesuai dengan persamaan (2-26) sebagai berikut :

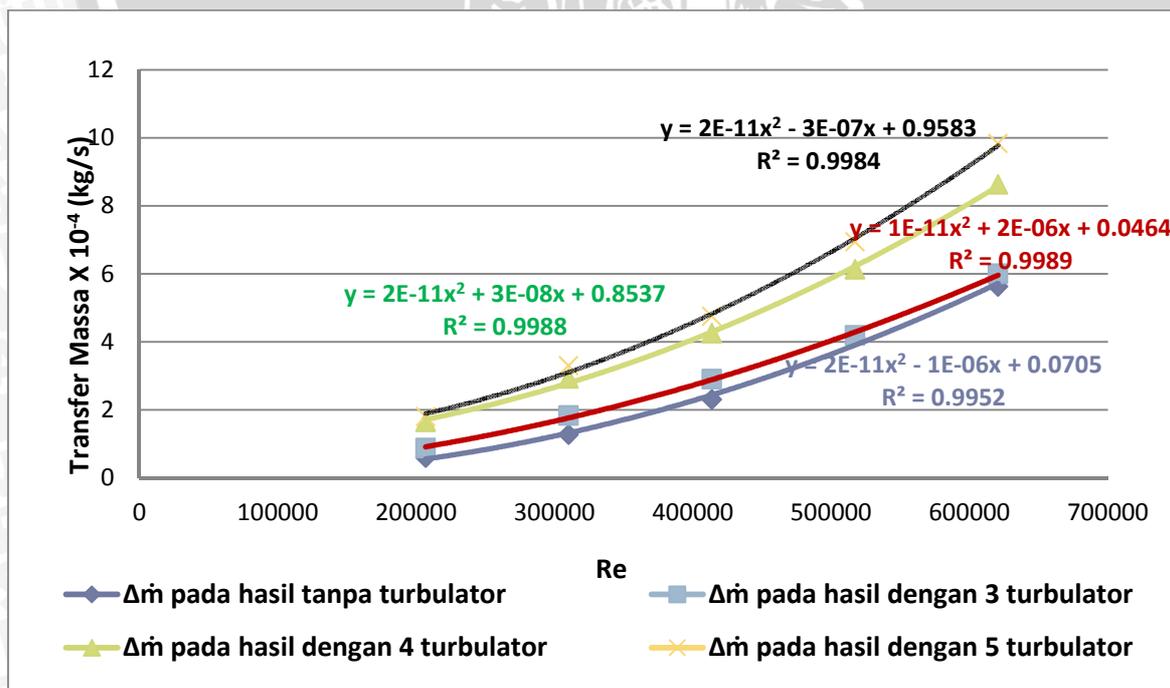
$$\Delta H = H_1 - H_3$$

Persamaan di atas menyatakan bahwa *transfer* energi adalah selisih antara energi kalor pada sisi masuk dan sisi keluar sistem. Nilai energi kalor dipengaruhi oleh massa alir udara, temperatur, kelembaban absolut serta nilai entalpi udara. Semakin cepat udara mengalir mengakibatkan nilai massa alir udara semakin meningkat dan menjadikan nilai *transfer* energi meningkat. Penurunan energi kalor pada sisi keluardiakibatkan semakin tinggi kecepatan udara masuk akan membuat semakin banyak uap air yang diserap oleh *desiccant*. Kejadian tersebut membuat nilai kelembaban absolut ( $\omega_3$ ) dan entalpi uap air ( $h_{g3}$ ) menurun. Hal tersebut sesuai dengan persamaan (2-13) sebagai berikut :

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

Pada gambar 4.1 juga terlihat bahwa semakin banyak jumlah peletakan *turbulator* pada instalasi akan membuat proses *transfer* energy semakin besar. Pada kecepatan udara masuk yang sama, yaitu 3m/s nilai *transfer* energi yang tertinggi dihasilkan pada instalasi dengan jumlah *turbulator* 5 buah, yaitu 2.444[kJ/s]. Pada instalasi dengan jumlah *turbulator* sebanyak 3 dan 4 buah, nilai *transfer* energi yang terjadi masing–masing adalah 1.584[kJ/s] dan 2.101[kJ/s]. Nilai *transfer* energy yang terkecil adalah sebesar 1.526[kJ/s] pada instalasi tanpa menggunakan *turbulator*. Hal tersebut dikarenakan jumlah *turbulator* yang semakin banyak akan meningkatkan intensitas turbulensi pada aliran, sehingga luas bidang sentuh antara uap air dan *liquid desiccant* semakin besar, akibatnya jumlah massa uap air yang diikat oleh *liquid desiccant* akan semakin besar pula. Dengan semakin banyaknya uap air yang diikat oleh *desiccant*, maka kandungan uap air pada sisi keluar juga semakin menurun. Menurunnya kandungan uap air setelah melewati semprotan *desiccant* tersebut mengakibatkan nilai kelembaban absolut ( $\omega_3$ ) dan *enthalpy* udara ( $h_{g3}$ ) pada sisi keluar semakin menurun. Dengan menurunnya  $\omega_3$  dan  $h_{g3}$  maka akan membuat nilai energy kalor pada sisi keluar ( $H_3$ ) menurun. Sehingga beda energy kalor pada sisi masuk dan keluar ( $\Delta H$ ) yang terjadi akan semakin besar.

#### 4.2.2 Hubungan Antara Reynolds (Re) dengan Transfer Massa ( $\Delta \dot{m}$ )



Gambar 4.2: Grafik Hubungan antara Reynolds (Re) dengan Transfer Massa ( $\Delta \dot{m}$ )

Pada *grafik* (Gambar 4.2) terlihat bahwa semakin tinggi bilangan Reynolds, maka proses *transfer* massa yang terjadi juga semakin besar. Nilai *transfer* massa semakin meningkat seiring dengan naiknya bilangan Reynolds. Massa udara yang mengalir pada system ini adalah campuran antara massa udara kering dengan massauap air. Massa udara kering pada sisi masuk dan keluar adalah sama, sehingga massa udara kering dalam system ini adalah konstan. Dari kondisi tersebut, dapat disimpulkan bahwa perbedaan massa udara campuran dalam sistem ini dipengaruhi oleh jumlah massa uap air. Dari kecenderungan grafik yang meningkat menunjukkan bahwa massa udara campuran pada sisi masuk lebih tinggi daripada massa udara campuran pada sisi keluar. Hal tersebut menunjukkan bahwa jumlah massa uap air pada sisi masuk lebih besar daripada jumlah massa uap air pada sisi keluar. Proses *transfer* massa sendiri dirumuskan oleh persamaan (2-27) sebagai berikut:

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

Dari rumusan di atas menunjukkan bahwa *transfer* massa merupakan selisih massa udara campuran pada sisi masuk dan keluar. Massa udaracampuran yang mengalir dalam sistem dipengaruhi oleh kecepatan udara masuk ( $v$ ) dan juga rasio kelembaban ( $\omega$ ). Hal tersebut ditunjukkan oleh persamaan (2-18) sebagai berikut :

$$\dot{m} = \rho \times V \times A$$

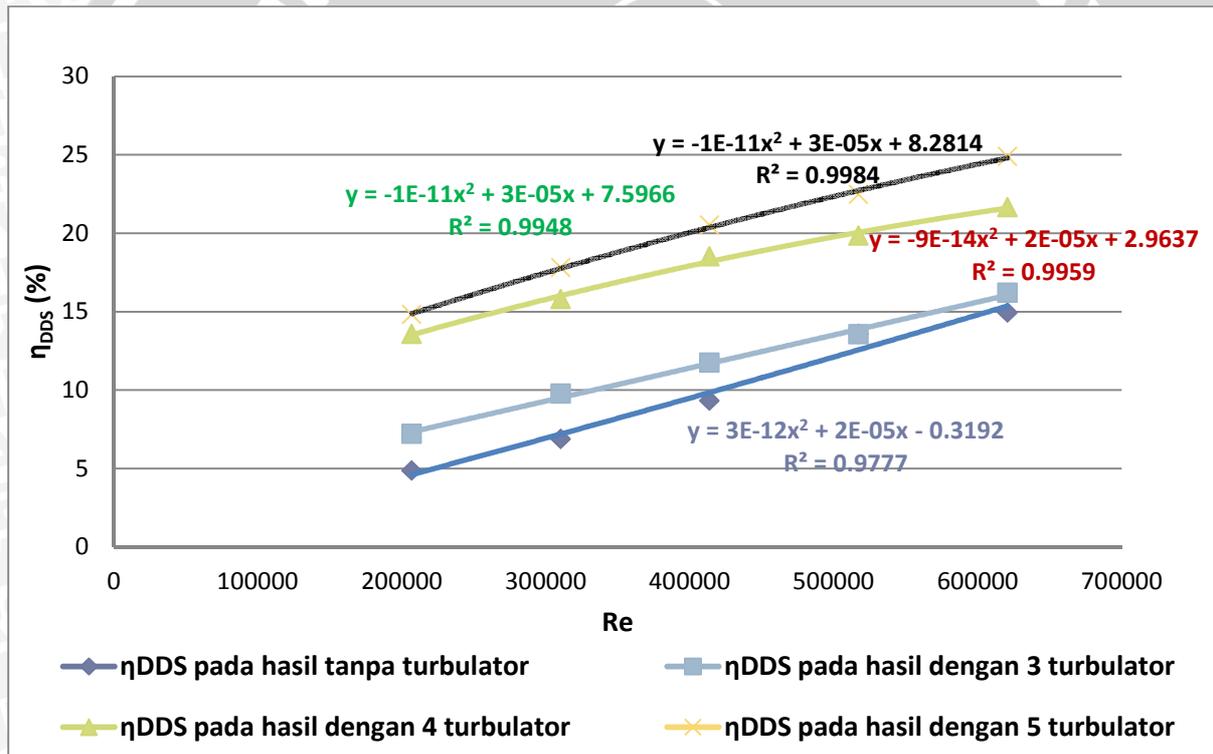
$$\dot{m} = (1 + \omega) \times \dot{m}_a$$

Semakin besar kecepatan udara masuk, 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 ( $\omega$ ). Grafik yang cenderung meningkat menunjukkan massa udara campuran pada sisi masuk lebih tinggi daripada massa udara campuran pada sisi keluar. Hal tersebut dikarenakan kelembaban absolute pada sisi masuk lebih tinggi jika dibandingkan dengan kelembaban absolute pada sisi keluar dan mengindikasikan bahwa massa uap air pada sisi masuk lebih banyak daripada massa uap air pada sisi keluar. Massa uap air pada sisi keluar berkurang, diakibatkan massa uap air yang terkandung pada udara diserap oleh *desiccant* pada saat udara melewati semprotan *desiccant*.

Gambar 4.2 juga menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah *turbulator* yang dipasangkan pada instalasi akan membuat proses *transfer* massa semakin besar. Dapat dilihat pada kecepatan udara masuk yang sama, yaitu 3 [m/s] nilai *transfer* massa yang terjadi pada

instalasi tanpa *turbulator* adalah  $5.629 \times 10^{-4}$  [kg/s]. Pada instalasi dengan jumlah *turbulator* sebanyak 3; 4 dan 5, nilai *transfer* massa masing-masing adalah  $6.006 \times 10^{-4}$ ;  $8.631 \times 10^{-4}$ ; dan  $9.832 \times 10^{-4}$  [kg/s]. Data tersebut menunjukkan bahwa pada kecepatan udara masuk yang sama, proses *transfer* massa yang terbesar adalah pada instalasi dengan jumlah *turbulator* sebanyak 5 buah, kemudian menurun dan yang paling rendah adalah pada instalasi tanpa menggunakan *turbulator*. Hal tersebut dikarenakan dengan jumlah peletakan *turbulator* yang semakin banyak akan meningkatkan intensitas turbulensi pada aliran, sehingga luas bidang sentuh antara uap air dan *liquid desiccant* semakin besar, akibatnya jumlah massa uap air yang diikat oleh *liquid desiccant* akan semakin besar pula. Dengan meningkatnya jumlah massa uap air yang diikat *desiccant* dari udara proses, maka proses *transfer* massa yang terjadi juga semakin meningkat.

#### 4.2.3 Hubungan Antara Reynolds (Re) dengan Efisiensi DDS ( $\eta_{DDS}$ )



Gambar 4.3: Grafik Hubungan Reynolds (Re) dengan Efisiensi DDS ( $\eta_{DDS}$ )

Dari grafik (gambar 4.3) dapat dilihat bahwa grafik hubungan antara bilangan Reynolds terhadap efisiensi *desiccant dehumidification system* menunjukkan kecenderungan yang semakin meningkat seiring dengan meningkatnya bilangan Reynolds. Hal tersebut menunjukkan bahwa nilai kelembaban absolut pada sisi keluar semakin menurun seiring dengan naiknya kecepatan udara masuk. Karena semakin tinggi bilangan Reynolds, maka

massa udara campuran yang mengalir akan meningkat dan begitupula dengan massa uap air yang terkandung pada aliran udara. 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 keluar ( $\omega_3$ ) akan semakin turun. Dengan turunnya  $\omega_3$  akan membuat selisih nilai kelembaban absolut antara sisi keluar dengan sisi masuk akan semakin besar. Semakin besar selisih nilai kelembaban absolut antara sisi keluar dengan sisi masuk 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 keluar dengan sisi masuk maka akan meningkatkan nilai efisiensi *desiccant dehumidification system*. Hal tersebut sesuai dengan persamaan (2-28) sebagai berikut :

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

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

Persamaan di atas menunjukkan bahwa efisiensi *desiccant dehumidification system* adalah selisih kelembaban absolut pada sisi masuk dengan sisi keluar dibandingkan dengan kelembaban absolut pada sisi masuk. 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 keluar dengan sisi masuk dibandingkan dengan kelembaban absolut pada sisi masuk 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 keluar dengan sisi masuk dibandingkan dengan kelembaban absolut pada sisi masuk mendekati atau sama dengan 0 [%], maka kinerja *desiccant dehumidification system* untuk menyerap uap air pada udara proses dikategorikan buruk.

Pada gambar 4.3 juga terlihat bahwa variasi jumlah peletakan *turbulator* pada instalasi mempengaruhi nilai efisiensi *desiccant dehumidification system* yang terjadi. Semakin banyak jumlah peletakan *turbulator* pada instalasi akan membuat nilai efisiensi *desiccant dehumidification system* semakin meningkat. Dapat dilihat pada nilai kecepatan udara masuk yang sama, yaitu 3 [m/s] nilai efisiensi *desiccant dehumidification system* yang tertinggi terdapat pada instalasi dengan jumlah 5 *turbulator* pada instalasi, yaitu 24.89 [%].

Pada instalasi dengan jumlah *turbulator* 3 dan 4 buah, nilai efisiensi *desiccant dehumidification system* yang terjadi masing-masing adalah 16.194 [%] dan 21.66 [%]. Nilai efisiensi *desiccant dehumidification system* yang terkecil adalah sebesar 14.94 [%] pada instalasi tanpa menggunakan *turbulator*. Peningkatan nilai efisiensi *desiccant dehumidification system* seiring dengan semakin banyaknya jumlah peletakan *turbulator* pada instalasi tersebut dikarenakan semakin banyak jumlah peletakan *turbulator*, maka akan meningkatkan intensitas turbulensi pada aliran, sehingga luas bidang sentuh antara uap air dan *liquid desiccant* semakin besar, akibatnya jumlah massa uap air yang diikat dan diserap oleh *liquid desiccant* akan semakin besar pula. Semakin banyak uap air yang diserap oleh *desiccant* akan membuat nilai kelembaban absolut pada sisi keluar ( $\omega_3$ ) akan semakin menurun dan meningkatkan efisiensi *desiccant dehumidification system* yang dihasilkan.



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

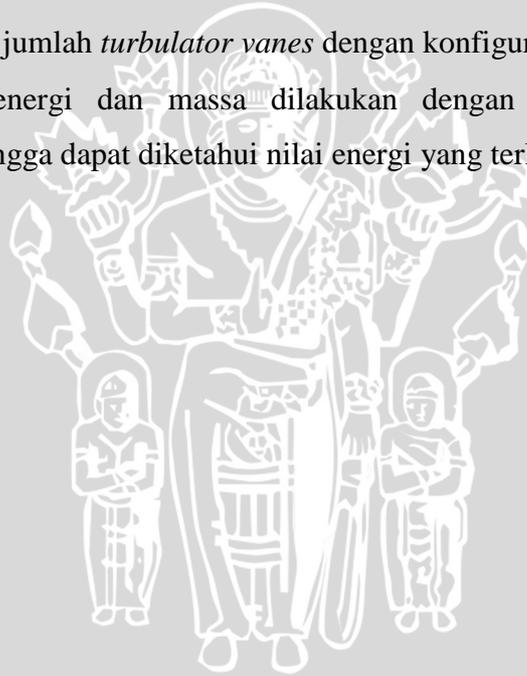
Dari penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Jumlah *Turbulator Vanes* mempengaruhi transfer energi dan massa secara parabolik.
- Pengaruh terbesar diperoleh pada jumlah *turbulator vanes* 5
- Nilai transfer energi terbesar yaitu  $\Delta H = 2,444$  [kJ/s] dan transfer massa  $\Delta \dot{m} = 9,832 \times 10^{-4}$  [kg/s]. Untuk nilai efisiensi DDS terbesar yaitu  $\eta_{\text{DDS}} = 24,89$  [%]

#### 5.2 Saran

Dari penelitian ini diperoleh saran atas beberapa hal sebagai berikut :

- Dilakukan penambahan jumlah *turbulator vanes* dengan konfigurasi yang berbeda
- Perhitungan transfer energi dan massa dilakukan dengan pendekatan metode perpindahan panas sehingga dapat diketahui nilai energi yang terlibat.



## DAFTAR PUSTAKA

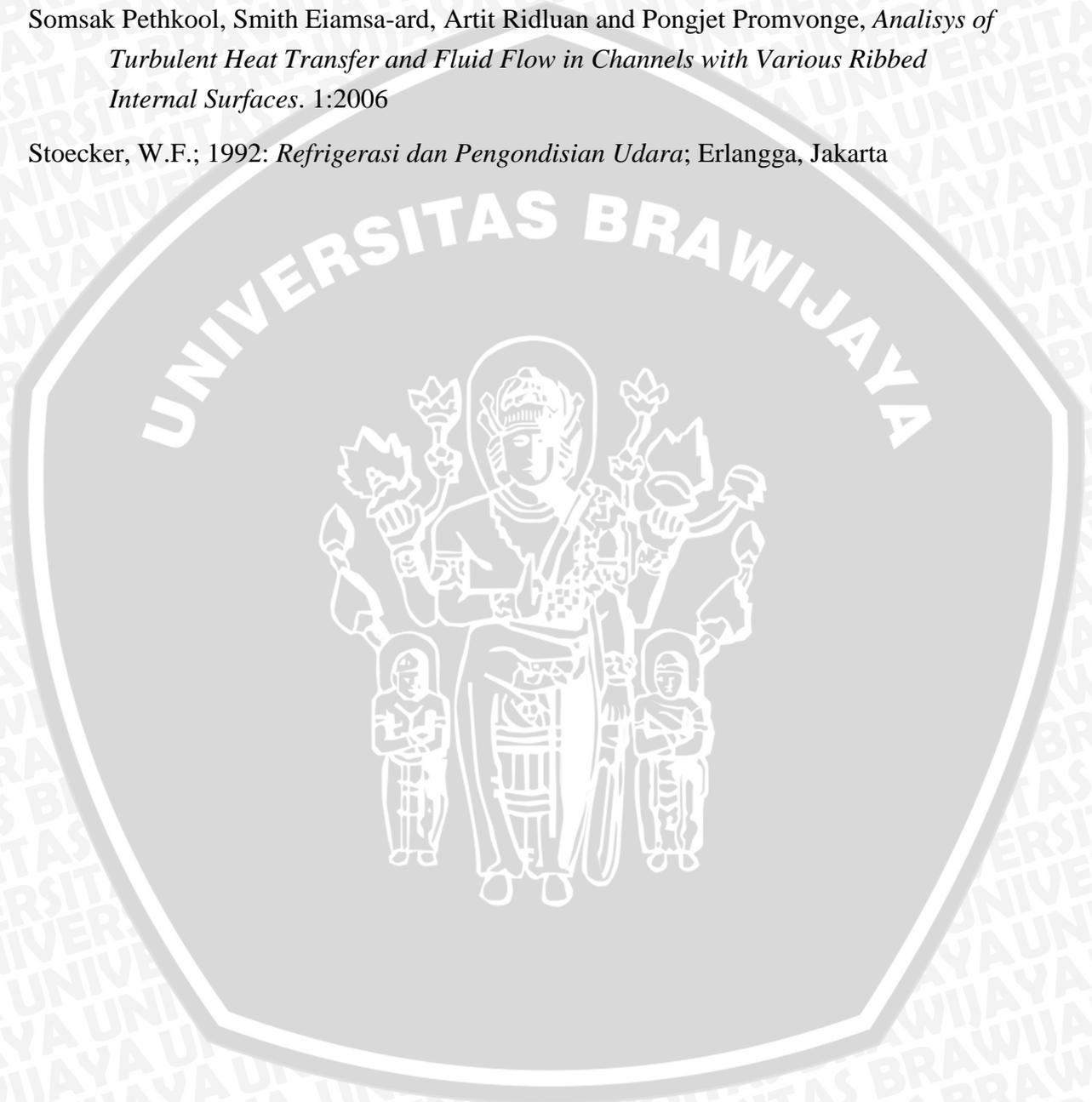
- Anonymous\_a; 2002: [http://www.masstech.org/renewableenergy/public\\_policy/DG/resources/2005-DG-MD-Nayak.pdf](http://www.masstech.org/renewableenergy/public_policy/DG/resources/2005-DG-MD-Nayak.pdf) (diakses 11 September 2012)
- Anonymous\_b; 2004: <http://www.discount-air-fan.wowshopper.com/html-pages/how-does-dehumidifierwork.htm> (diakses 12 September 2012)
- Anonymous\_c; 1999: [http://www.alibaba.com/product-gs/793159227/New\\_type\\_high\\_quality\\_small\\_chemical.html](http://www.alibaba.com/product-gs/793159227/New_type_high_quality_small_chemical.html) (diakses 17 Februari 2014)
- Anonymous\_d; 1999: [http://www.alibaba.com/product-gs/629729013/Alto\\_air\\_dehumidifier\\_and\\_heat\\_recovery.html](http://www.alibaba.com/product-gs/629729013/Alto_air_dehumidifier_and_heat_recovery.html) (diakses 17 Februari 2014)
- Anonymous\_e; 1988: <http://www.fao.org/docrep/S1250E/S1250EEW.GIF> (diakses 12 September 2012)
- Anonymous\_f; 2003: *Calcium Chloride Handbook: A Guide to Properties, Forms, Storage and Handling*. <http://www.prog-univers.com/IMG/pdf/CalciumChloridHandbook-2.pdf> (diakses 12 September 2012)
- Anonymous\_g; 2012: <http://www.cgc-group.com/dehumidification.php> (diakses 17 Februari 2014)
- Cengel, Yunus A; 1998: *Heat Transfer A Practical Approach*: 2<sup>nd</sup> edition; McGraw-Hill Companies Inc, New York.
- Cengel, Yunus A. dan Robert H. Turner; 1994: *Fundamentals of Thermal-Fluid Science* McGraw-Hill Companies Inc, New York.
- Daugherty, Robert L; 1977 : *Fluid Mechanics With Engineering Application*; McGraw-Hill Book Company, New York
- El-Wakil, M. M; 1992: *Instalasi Pembangkit Daya*, Alih Bahasa: Ir. E. Jasfi M.Sc; Erlangga, Jakarta
- Frigidaire; 2009: *All about the Use & Care of your Dehumidifier*. <http://www.en.wikipedia.org/wiki/Dehumidifier> (diakses 12 September 2012)
- Fumo, Nelson. dan Yogi Goswami; *System Part I: Air Dehumidification*; Journal of Solar Energy, Venezuela.
- Holman, J.P; 1984: *Perpindahan Kalor*; Alih bahasa: Ir. E. Jasfi M.Sc.; Edisi kelima; Erlangga, Jakarta
- Howell John R and Buckius Richard O.; 1987: *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*. New York: McGraw-Hill press. [http://id.wikipedia.org/wiki/Efisiensi\\_thermal](http://id.wikipedia.org/wiki/Efisiensi_thermal) (diakses 5 Juni 2013)
- Kulshrestha, S.K.; 1989: *Termodinamika Terpakai, Teknik Uap dan Panas*, Alih bahasa Budiardjo, I Made Kartika D, Budiardso; Universitas Indonesia, Jakarta.

Purnomo, Hari.; 2000: *Pengaruh Kelembaban, Temperatur Udara dan Beban Kerja terhadap Kondisi Faal Tubuh Manusia*. <http://data.dppm.uui.ac.id/uploads/104050335-47.pdf> (diakses 17 Februari 2014)

Simanullang, Togap H.; 2010: *Pengaruh Variasi Jumlah Turbulator Vanes Terhadap Transfer Energi dan Massa Pada Direct Contact Humidifier*. Skripsi tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.

Somsak Pethkool, Smith Eiamsa-ard, Artit Ridluan and Pongjet Promvonge, *Analisis of Turbulent Heat Transfer and Fluid Flow in Channels with Various Ribbed Internal Surfaces*. 1:2006

Stoecker, W.F.; 1992: *Refrigerasi dan Pengondisian Udara*; Erlangga, Jakarta



Lampiran 1 : 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 2 : Tabel A-2 : Sifat-sifat termodinamika udara jenuh pada tekanan atmosfer 101,325 kPa

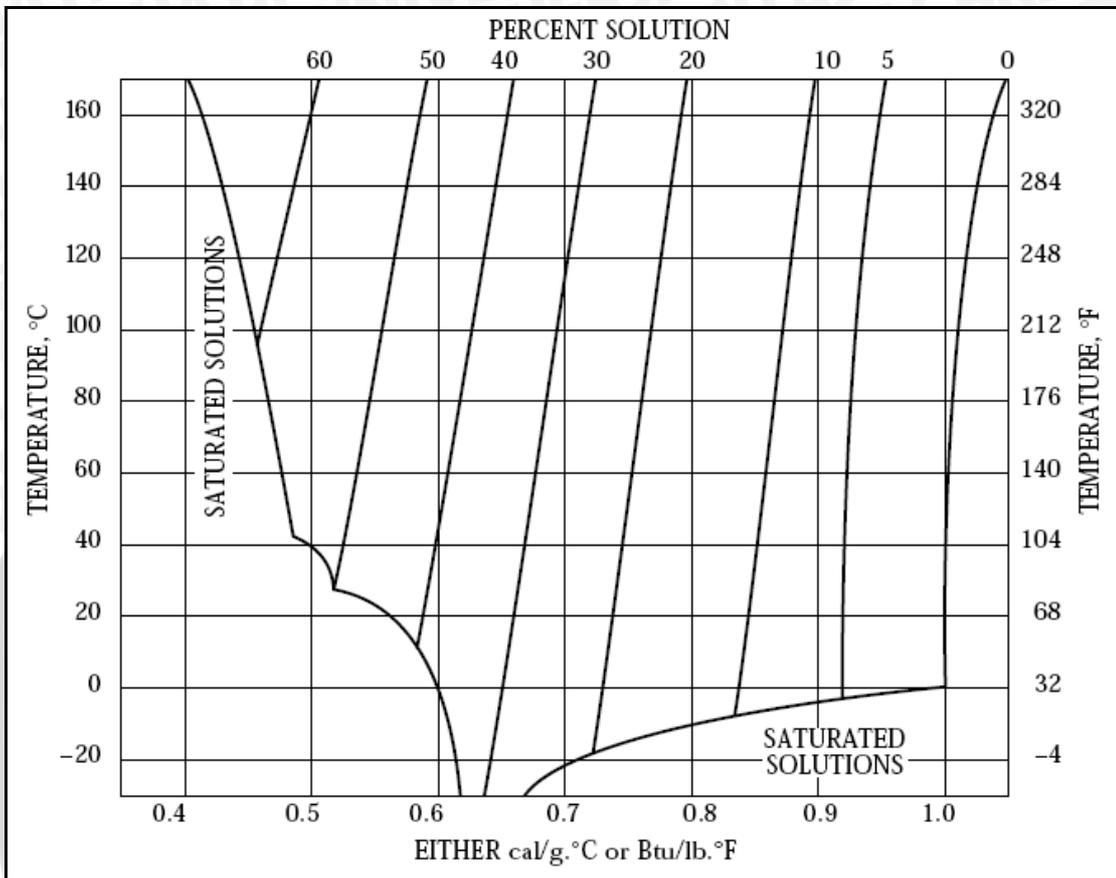
Apendiks

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

Lampiran 3 : Diagram Kalor Spesifik Larutan  $\text{CaCl}_2$ .



**Lampiran 4 : Tabel Sifat-sifat Larutan CaCl<sub>2</sub>.**

Property	CaCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	CaCl <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	CaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	CaCl <sub>2</sub> ·H <sub>2</sub> O	CaCl <sub>2</sub>
Composition (% CaCl <sub>2</sub> )	50.66	60.63	75.49	86.03	100
Molecular Weight	219.09	183.05	147.02	129	110.99
Melting Point <sup>1</sup> (°C)	29.9	45.3	176	187	773
(°F)	85.8	113.5	349	369	1424
Boiling Point <sup>2</sup> (°C)	—	—	174	183	1935
(°F)	—	—	345	361	3515
Density at 25°C (77°F), g/cm <sup>3</sup>	1.71	1.83	1.85	2.24	2.16
Heat of Fusion (cal/g)	50	39	21	32	61.5
(Btu/lb)	90	70	38	58	110.6
Heat of Solution <sup>3</sup> in H <sub>2</sub> O (cal/g)	17.2	-14.2	-72.8	-96.8	-176.2
(to infinite dilution) (Btu/lb)	31.0	-25.6	-131.1	-174.3	-317.2
Heat of Formation <sup>3</sup> at 25°C (77°F), kcal/mole	-623.3	-480.3	-335.58	-265.49	-190.10
Heat Capacity at 25°C (77°F), cal/g·°C or Btu/lb·°F	0.34	0.32	0.28	0.20	0.16
<sup>1</sup> Incongruent melting point for hydrates. <sup>2</sup> Temperature where dissociation pressure reaches one atmosphere for hydrates. <sup>3</sup> Negative sign means that heat is evolved (process exothermic).					

Lampiran 5 : Diagram Psychrometric.

