

**PENGARUH JARAK PELETAKAN *TURBULATOR*
TERHADAP UNJUK KERJA DARI
*LIQUID DESICCANT DEHUMIDIFICATION SYSTEM***

SKRIPSI

KONSENTRASI KONVERSI ENERGI

**Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



Disusun oleh:

**MUHAMMAD OKKY ADITYA WARDHANI
NIM. 0710620066-62**

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2012

**PENGARUH JARAK PELETAKAN *TURBULATOR*
TERHADAP UNJUK KERJA DARI
LIQUID DESICCANT DEHUMIDIFICATION SYSTEM
SKRIPSI**

KONSENTRASI KONVERSI ENERGI

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



Disusun oleh :

**MUHAMMAD OKKY ADITYA WARDHANI
NIM. 0710620066-62**

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing I

Pembimbing II

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

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

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH JARAK PELETAKAN *TURBULATOR* TERHADAP UNJUK KERJA DARI *LIQUID DESICCANT DEHUMIDIFICATION SYSTEM*

SKRIPSI KONSENTRASI KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:

MUHAMMAD OKKY ADITYA WARDHANI
NIM. 0710620066-62

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus
pada tanggal 30 Januari 2012

Dosen Penguji

Skripsi I

Skripsi II

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

Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.
NIP. 19740930 200012 1 001

Komprehensif

Dr. Eng. Moch. Agus Choiron, ST., MT.
NIP. 19720817 200003 1 001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin

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



KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. 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 Prof. Dr. Ir. Rudy Soenoko, M.Eng.Sc, selaku Dosen Pembimbing I serta Bapak Ir. Djoko Sutikno, M.Eng., selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, kritik dan saran yang bermanfaat dalam penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Dr.Eng Denny Widhiyanuriyawan, ST., MT. selaku Ketua Kelompok Dasar Keahlian Konversi Energi, yang meluangkan banyak waktu untuk bimbingan.
5. Ayahanda Surachmad, SPd., MMPd, Ibunda Halimah SPdI, dan kakak Amanda Rofik, serta semua keluarga yang telah memberikan dukungan moril dan motivasi yang sangat berarti sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik.
6. Teman-teman EXTREME 07 yang sangat kompak dan banyak membantu dalam dukungan moril dan semangat yang tidak pernah surut.
7. 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 2012

Penulis

DAFTAR ISI

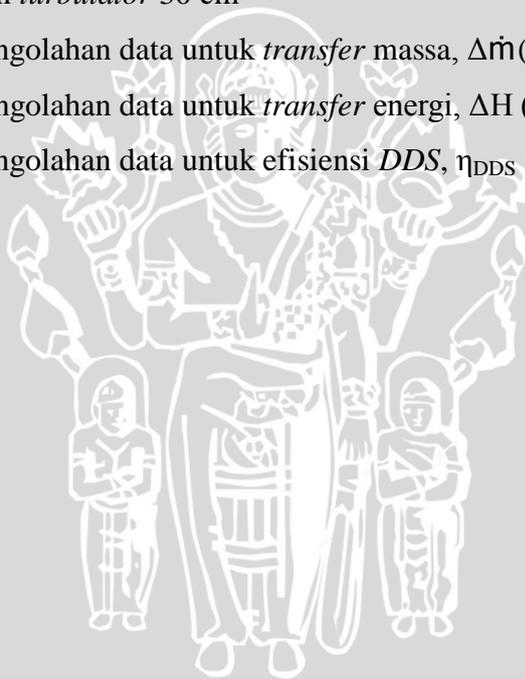
	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR LAMPIRAN	vi
RINGKASAN	vii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Sebelumnya	4
2.2 <i>Dehumidifier</i>	4
2.3 <i>Desiccant Dehumidification System (DDS)</i>	8
2.4 <i>Desiccant Cair</i>	8
2.5 <i>Psycrometric</i> dan Diagram <i>Psycrometric</i>	9
2.6 <i>Turbulator</i>	13
2.7 <i>Sparry Nozzle</i>	14
2.8 Analisa Aliran	15
2.9 Perpindahan Panas dan Massa pada <i>Liquid Dehumidification System</i>	18
2.9.1 Proses Difusi	18
2.9.2 Keseimbangan Kalor pada Sistem	18
2.9.3 Efisiensi <i>Desiccant Dehumidification System</i>	23
2.10 Hipotesis	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Metode Penelitian	25



3.2	Variabel Penelitian	25
3.3	Alat-alat Penelitian	26
3.4	Instalasi Penelitian	30
3.5	Prosedur Penelitian	30
3.6	Tempat Penelitian	31
3.7	Rancangan Penelitian	31
3.7	Diagram Alir Penelitian	32
BAB IV	DATA DAN PEMBAHASAN	33
4.1	Analisa Data	33
4.1.1	Data Hasil Pengujian	33
4.1.2	Contoh Perhitungan	34
4.1.3	Hasil Pengolahan Data	37
4.2	Pembahasan Grafik	39
4.2.1	Pembahasan Grafik Hubungan antara Kecepatan Udara <i>Inlet</i> (v) terhadap <i>Transfer Massa</i> ($\Delta \dot{m}$)	39
4.2.2	Pembahasan Grafik Hubungan antara Kecepatan Udara <i>Inlet</i> (v) terhadap <i>Transfer Energi</i> (ΔH)	41
4.2.3	Pembahasan Grafik Hubungan antara Kecepatan Udara <i>Inlet</i> (v) terhadap Efisiensi <i>DDS</i> (η_{DDS})	43
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	46
5.1	Kesimpulan	46
5.2	Saran	
	DAFTAR PUSTAKA	
	LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Sifat-sifat larutan CaCl_2	9
Tabel 4.1	Hasil pengambilan data yang diperoleh pada instalasi tanpa <i>turbulator</i>	33
Tabel 4.2	Hasil pengambilan data yang diperoleh pada instalasi dengan jarak peletakan <i>turbulator</i> 10 cm	33
Tabel 4.3	Hasil pengambilan data yang diperoleh pada instalasi dengan jarak peletakan <i>turbulator</i> 20 cm	34
Tabel 4.4	Hasil pengambilan data yang diperoleh pada instalasi dengan jarak peletakan <i>turbulator</i> 30 cm	34
Tabel 4.5	Hasil pengolahan data untuk <i>transfer</i> massa, $\Delta\dot{m}$ (kg/s)	37
Tabel 4.6	Hasil pengolahan data untuk <i>transfer</i> energi, ΔH (kJ/s)	38
Tabel 4.7	Hasil pengolahan data untuk efisiensi <i>DDS</i> , η_{DDS} (%)	38

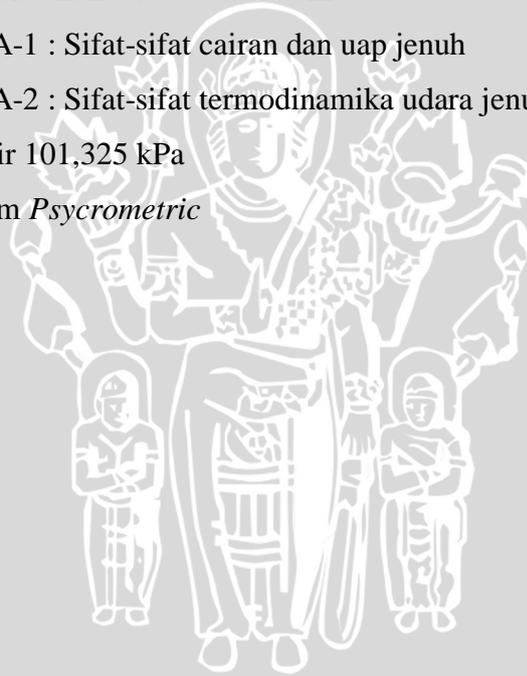


DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	<i>Heat Pump Dehumidifier</i>	6
Gambar 2.2	<i>Chemical Adsorbent Dehumidifier</i>	7
Gambar 2.3	<i>Dehumidifying Ventilators</i>	7
Gambar 2.4	Diagram Kalor Spesifik Larutan CaCl_2	9
Gambar 2.5	Diagram <i>Psychrometric</i>	10
Gambar 2.6	<i>Turbulator</i>	13
Gambar 2.7	<i>Hollow cone spray</i>	14
Gambar 2.8	<i>Flat spray</i>	15
Gambar 2.9	<i>Solid cone spray</i>	15
Gambar 2.10	Geometri <i>Vortex</i> menurut besar bilangan Reynolds	17
Gambar 2.11	Keseimbangan kalor pada <i>Dehumidifier</i>	19
Gambar 3.1	<i>Wind Tunnel</i>	26
Gambar 3.2	<i>Spray nozzle</i>	27
Gambar 3.3	Gelas Ukur	28
Gambar 3.4	<i>Heater</i>	28
Gambar 3.5	<i>Preheater</i>	29
Gambar 3.6	Adaptor	29
Gambar 3.7	Instalasi Penelitian	30
Gambar 3.8	Diagram Alir Penelitian	32
Gambar 4.1	Grafik Hubungan antara Kecepatan Udara Inlet (v) terhadap <i>Transfer Massa</i> ($\Delta \dot{m}$)	39
Gambar 4.2	Grafik Hubungan antara Kecepatan Udara Inlet (v) terhadap <i>Transfer Energi</i> (ΔH)	41
Gambar 4.3	Grafik Hubungan antara Kecepatan Udara Inlet (v) terhadap Efisiensi <i>DDS</i> (η_{DDS})	43

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1	Data pengujian dan hasil pengolahan data pada instalasi tanpa <i>turbulator</i>
Lampiran 2	Data pengujian dan hasil pengolahan pada instalasi dengan jarak peletakan <i>turbulator</i> 10 cm
Lampiran 3	Data pengujian dan hasil pengolahan data pada instalasi dengan jarak peletakan <i>turbulator</i> 20 cm
Lampiran 4	Data pengujian dan hasil pengolahan data pada instalasi dengan jarak peletakan <i>turbulator</i> 30 cm
Lampiran 5	Tabel A-1 : Sifat-sifat cairan dan uap jenuh
Lampiran 6	Tabel A-2 : Sifat-sifat termodinamika udara jenuh pada tekanan atmosfer 101,325 kPa
Lampiran 7	Diagram <i>Psychrometric</i>



RINGKASAN

Muhammad Okky A W, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Januari 2012, *Pengaruh Jarak Peletakan Turbulator Terhadap Unjuk Kerja Dari Liquid Desiccant Dehumidification System*, Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Rudy Soenoko, M.Eng.Sc. dan Ir. Djoko Sutikno, M.Eng.

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 penambahan *turbulator* pada instalasi dengan memvariasikan jarak peletakannya dari *spray nozzle*. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh dari jarak peletakan *turbulator* 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 jarak peletakan *turbulator* ditentukan sebesar 10 cm; 20cm; dan 30cm.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar kecepatan udara inlet dan semakin dekat jarak peletakan *turbulator* 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 7.082×10^{-4} kg/s didapatkan pada kecepatan udara inlet sebesar 3 m/s dan jarak peletakan *turbulator* dari *spray nozzle* sebesar 10 cm. *Transfer* energi tertinggi yaitu 1.995 kJ/s didapatkan pada kecepatan udara inlet sebesar 3 m/s dan jarak peletakan *turbulator* dari *spray nozzle* sebesar 10 cm. Sedangkan efisiensi *DDS* terbesar yaitu 22.125% didapatkan pada kecepatan udara inlet sebesar 2,5 m/s dan jarak peletakan *turbulator* dari *spray nozzle* sebesar 10 cm.

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

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 temperatur, 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 yaitu kelembaban relatif yang 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.

Sistem yang telah dikembangkan untuk tujuan penurunan kelembaban secara konvensional adalah memakai koil pendingin. Namun dengan penurunan kelembaban secara konvensional memiliki beberapa kekurangan yaitu terjadi pengumpulan air kondensasi yang dapat menimbulkan masalah lain seperti pertumbuhan bakteri selain itu energi yang dipakai juga sangat besar jika menggunakan sistem pendinginan konvensional.

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

Desiccant Dehumidification System (DDS) adalah alternatif yang layak dipakai saat ini. *Desiccant* adalah suatu zat yang dapat menyerap uap air yang terdapat dalam udara (higroskopis). Ada dua jenis *Desiccant Dehumidification System (DDS)*, yaitu *liquid* dan *solid Desiccant Dehumidification System (DDS)*.

Desiccant Dehumidification System (DDS) banyak digunakan karena lebih ekonomis dan mampu menghasilkan kapasitas udara yang besar. Contoh dari *liquid desiccant* antara lain LiCl, LiBr, dan CaCl₂.

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

Beberapa parameter yang mempengaruhi *Desiccant Dehumidification System (DDS)* antara lain konsentrasi *desiccant*, temperatur *desiccant*, kelembaban udara masuk dan laju aliran udara (Fumo, 2000).

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 efisiensi juga akan semakin meningkat.

Salah satu cara untuk memperbesar laju *transfer* kalor yaitu dengan menambahkan *turbulator* pada saluran masuk udara. *Turbulator* merupakan suatu penghalang yang dipasang pada suatu saluran dengan tujuan meningkatkan turbulensi pada aliran udara, sehingga laju *transfer* kalor meningkat. Jarak peletakan *turbulator* akan mempengaruhi tingkat turbulensi pada aliran yang menyebabkan perubahan proses perpindahan panas konveksi serta proses difusi, sehingga diharapkan dapat diperoleh unjuk kerja yang optimal.

1.2 Rumusan Masalah

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

Bagaimana pengaruh variasi jarak peletakan *turbulator* 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% CaCl_2 sebagai *liquid desiccant* dengan temperatur 60°C .
2. Temperatur udara *inlet* selama pengujian adalah konstan.
3. Kondisi dianggap *steady state*.
4. Cara distribusi *liquid desiccant* menggunakan *spray nozzle*.
5. Debit *liquid desiccant* selama pengujian adalah konstan.

1.4 Tujuan Penelitian

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

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.
3. Menambah wawasan serta dasar penelitian selanjutnya mengenai *dehumidification system* khususnya menggunakan *liquid desiccant*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

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

Figur Kamajaya (2010) juga melakukan penelitian eksperimental terhadap pengaruh temperatur CaCl_2 terhadap Efisiensi *thermal* dari *Liquid desiccant dehumidification system*, penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan temperatur *desiccant* sebesar 40 °C; 50 °C; dan 60 °C. Hasil penelitian ini didapatkan bahwa semakin bertambahnya temperatur *desiccant* yang disemprotkan ke dalam sistem maka proses *transfer* energi dan efisiensi *thermal* yang dihasilkan semakin meningkat. Dari penelitian – penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa performa *desiccant* dipengaruhi oleh beberapa faktor. Faktor laju aliran udara, rasio kelembaban, laju massa alir *desiccant* dan temperatur *desiccant* berbanding lurus dengan unjuk kerja dari *desiccant dehumidification system*. Oleh karena itu untuk mendapatkan unjuk kerja *desiccant dehumidification system* yang optimal perlu meningkatkan faktor – faktor yang

berpengaruh tersebut. Selain itu, salah satu cara untuk memperbesar laju *transfer* kalor adalah dengan menambahkan *turbulator* pada saluran masuk udara. *Turbulator* merupakan suatu penghalang yang dipasang pada suatu saluran dengan tujuan meningkatkan turbulensi pada aliran udara, sehingga laju *transfer* kalor meningkat. Jarak peletakan *turbulator* akan mempengaruhi tingkat turbulensi pada aliran yang menyebabkan perubahan proses perpindahan panas konveksi serta proses difusi, sehingga diharapkan dapat diperoleh unjuk kerja yang maksimal.

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).

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.

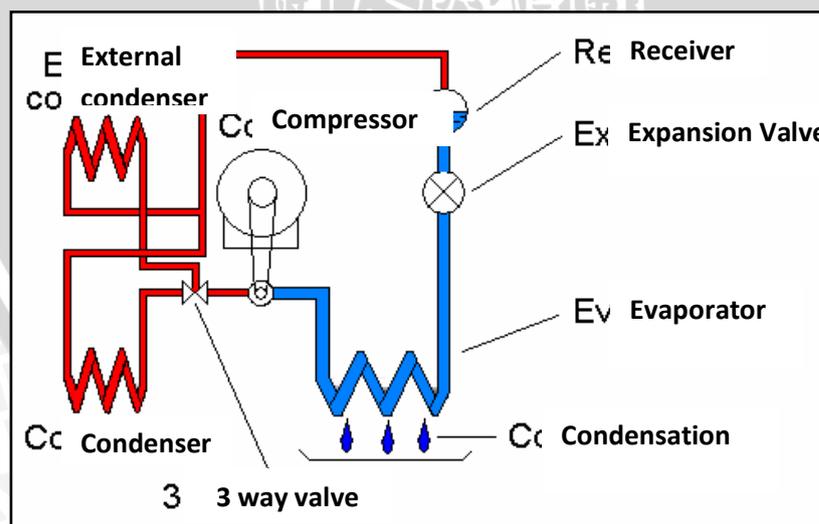
Dengan mengondisikan kelembaban suatu ruangan, kita dapat memperoleh nilai kelembaban yang sesuai untuk tujuan tertentu. Pada dunia industri, pengendalian kelembaban adalah masalah yang penting untuk beberapa proses industri. Sebagai contoh, pada industri tekstil, kelembaban yang tinggi akan menaikkan 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 (www.discount-air-fan.wowshopper.com/htm-pages/how-does-dehumidifier-work.htm).

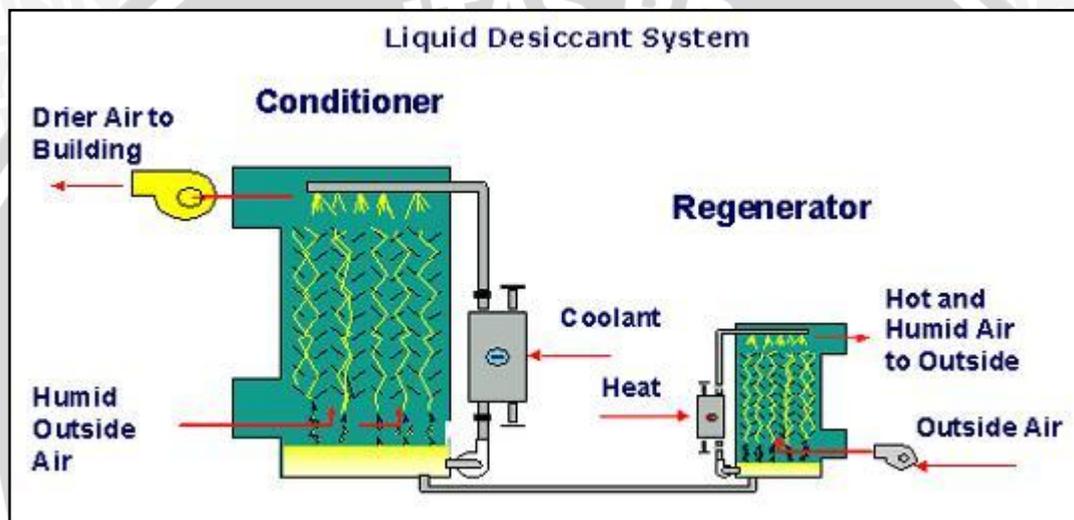


Gambar 2.1 : *Heat Pump Dehumidifier*

Sumber : www.nt.ntnu.no

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). *Dehumidifier* yang digunakan dalam penelitian ini merupakan salah satu dari jenis ini.

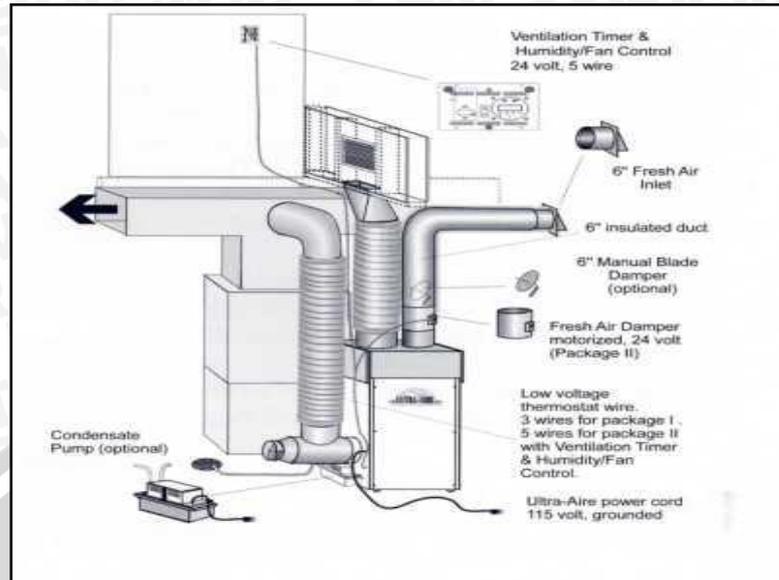


Gambar 2.2 : *Chemical Adsorbent Dehumidifier*

Sumber : www.eere_energy_gov-industry-distributedenergy-images.

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).



Gambar 2.3 : *Dehumidifying Ventilators*
 Sumber : 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).

Terdapat dua jenis *Desiccant Dehumidification System (DDS)*, yaitu *solid* dan *liquid Desiccant Dehumidification System (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). *Liquid Desiccant Dehumidification System (DDS)* lebih banyak digunakan karena *desiccant* yang digunakan lebih mudah didapat, harganya lebih ekonomis dan mampu menghasilkan kapasitas udara yang besar dibanding dengan *Solid Desiccant Dehumidification System (DDS)*.

2.4 Desiccant Cair

Desiccant cair yang biasa digunakan adalah larutan LiCl (*Lithium Chloride*), LiBr (*Lithium Bromide*), CaCl₂ (*Calcium Chloride*) atau TEG (*Triethylene Glycol*). *Desiccant* memiliki tekanan parsial uap air yang lebih rendah daripada udara proses sehingga mampu menyerap uap air dari udara proses. Dalam penelitian ini, *desiccant* yang digunakan adalah larutan CaCl₂ 50% dengan basis massa. Artinya bahwa dalam 1 kg larutan *desiccant* terdapat 0,5 kg CaCl₂. Cara pembuatannya adalah dengan melarutkan tiap 0,5 kg CaCl₂ *anhydrous* dengan pelarut berupa air sebanyak 0,5 kg.

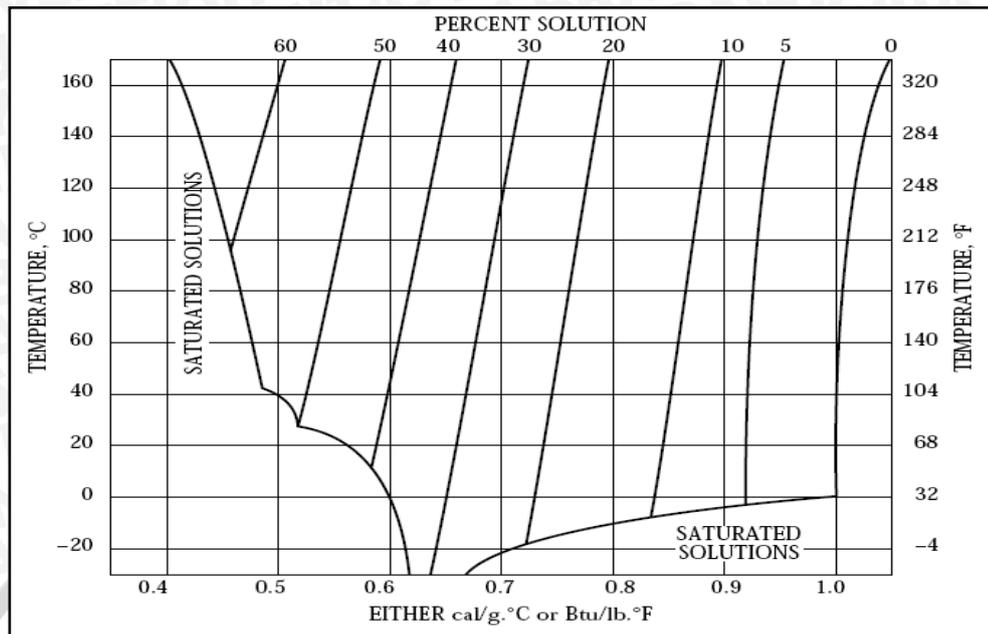
Adapun sifat-sifat beberapa larutan CaCl₂ dijelaskan pada Tabel 2.1 dan Gambar 2.4 di bawah ini.

Tabel 2.1 : Tabel sifat-sifat larutan CaCl₂.

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

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

Sumber : www.dynalene.com/pdf/CalciumChloridHandbook.pdf



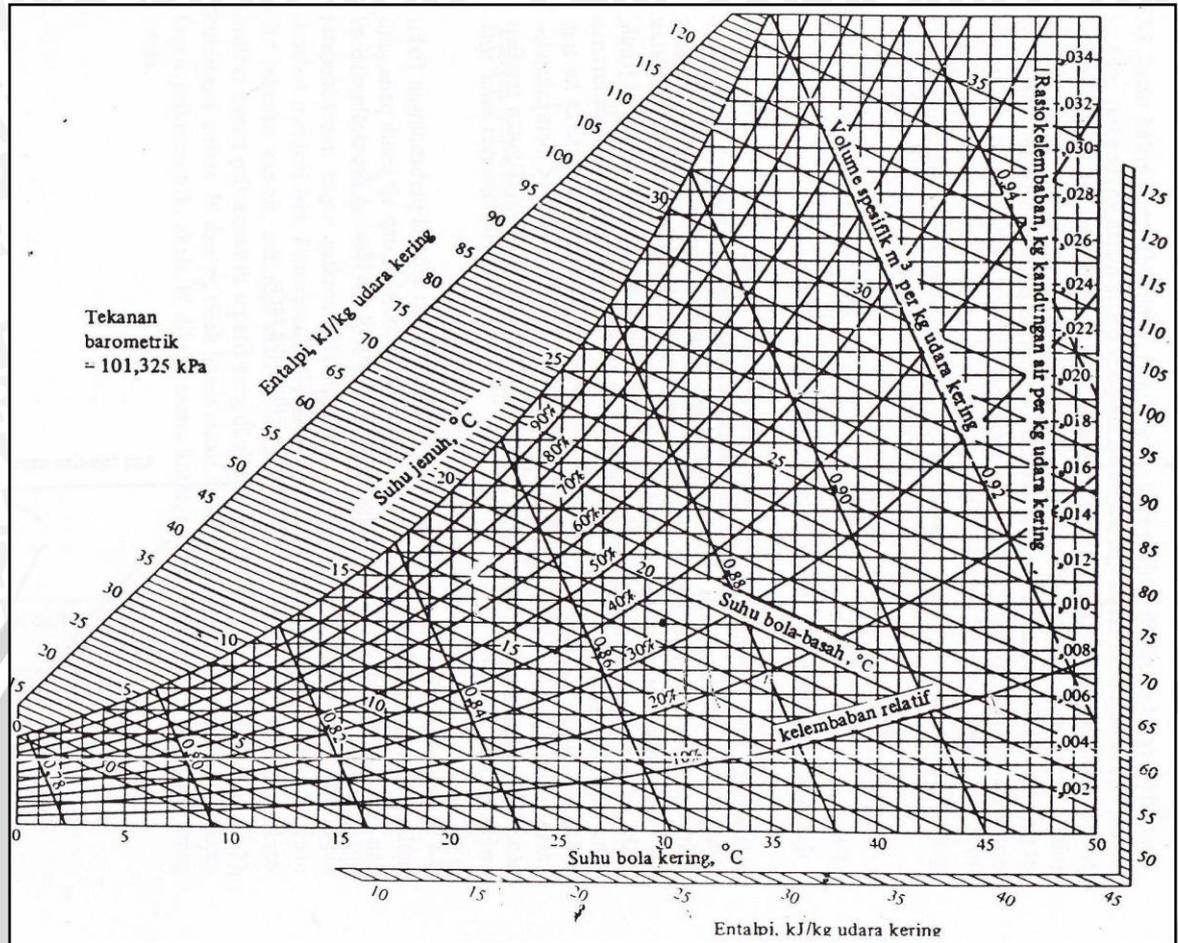
Gambar 2.4 : Diagram Kalor Spesifik Larutan CaCl_2

Sumber : www.dynalene.com/pdf/CalciumChloridHandbook.pdf

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 2.5) 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 2.5 : Diagram *Psychrometric*

Sumber : 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, Φ , dapat dirumuskan sebagai berikut:

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

(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 :

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

(2-2)

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

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

$$\omega = \frac{P_v R_a}{P - P_v R_v}$$

(2-3)

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

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

(2-4)

dimana :

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

V = volume campuran udara uap (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 penjenuh 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 penjenuh 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 :

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

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_{udara kering} K

t = Suhu campuran antara udara dan uap (°C)

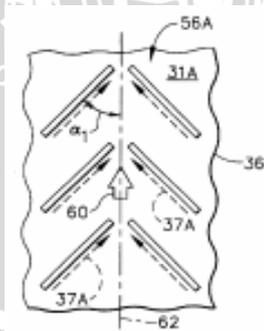
ω = kelembaban absolut (kg_{uap air}/kg_{udara kering})

h_g = entalpi uap (J/kg_{uap})

2.6 Turbulator

Turbulator merupakan alat atau penghalang yang berfungsi untuk meningkatkan turbulensi pada suatu aliran. Dengan adanya peningkatan *turbulensi* 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 2.6 di bawah ini.



Gambar 2.6 : *Turbulator*

Sumber: <http://static.patnap.com/patent/image/small/US5797726&w=120>

Jika *turbulator* 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.

2.7 Spray Nozzle

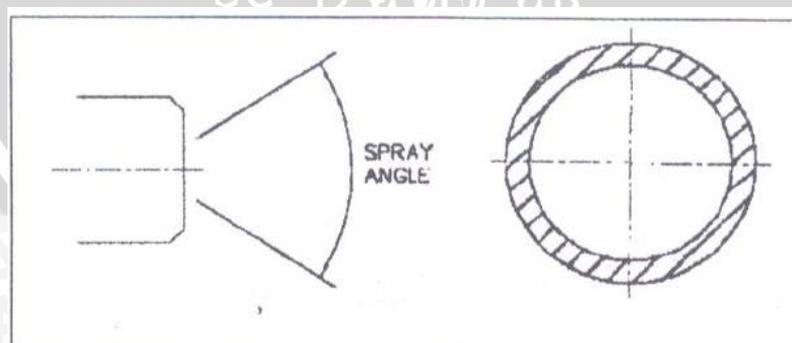
Nozzle merupakan alat yang berbentuk pipa atau tabung dengan diameter masuk dan diameter keluar yang berbeda. Fungsi utama dari *nozzle* adalah mengubah energi tekanan fluida masuk *nozzle* menjadi energi kecepatan fluida keluar *nozzle*.

Spray nozzle merupakan salah satu jenis dari *nozzle* yang memiliki fungsi untuk memecah fluida cair menjadi butiran-butiran halus atau *droplet* dengan sudut semprot tertentu. Pada debit yang sama, semakin besar sudut semprot suatu *nozzle* maka *droplet* yang dihasilkan akan semakin kecil.

Macam-macam pola semprotan (*spray pattern*) :

1. *Hollow cone spray*

Pola semprotan berupa lingkaran dengan konsentrasi *droplet* berada pada sisi luar. Pada sisi tengah hanya sedikit atau bahkan tidak ada sama sekali seperti pada gambar 2.7 dibawah ini.

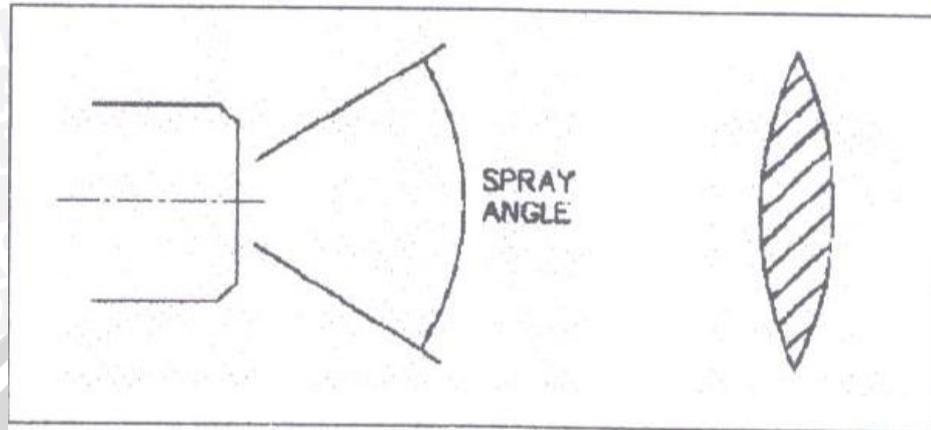


Gambar 2.7 : *Hollow cone spray*

Sumber : <http://www.Delavan.co.uk/pdffs/zNozzleTechnology.pdf>

2. Flat spray

Pola semprotan berupa lembaran tipis yang berbentuk elips atau oval, seperti pada gambar 2.8 dibawah ini.

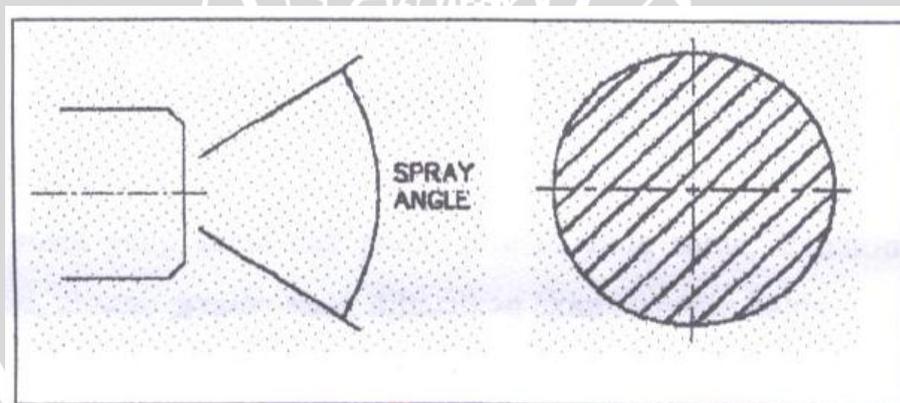


Gambar 2.8 : Flat spray

Sumber : <http://www.Delavan.co.uk/pdffs/zNozzleTechnology.pdf>

3. Solid cone spray

Pola semprotan berupa lingkaran dengan distribusi droplet merata pada seluruh luasan sudut semprot seperti pada gambar 2.9 dibawah ini.



Gambar 2.9 Solid cone spray

Sumber : <http://www.Delavan.co.uk/pdffs/zNozzleTechnology.pdf>

2.8 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 Reynold dari aliran tersebut.

2.8.1 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 Reynold adalah :

$Re < 2 \cdot 10^5$ untuk aliran eksternal.....(Cengel, 2001:745)

$Re < 2300$ untuk aliran internal.....(Cengel, 2001:512)

2.8.2 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 Reynold adalah :

$Re > 5 \cdot 10^5$ untuk aliran eksternal(Cengel, 2001:745)

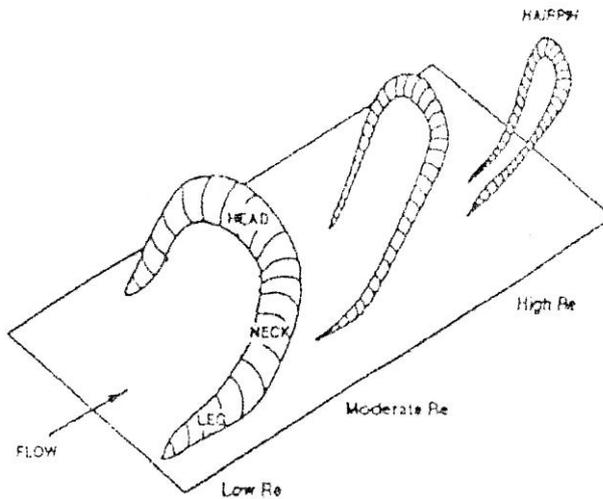
$Re > 4000$ untuk aliran internal(Cengel, 2001:512)

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 Reynold antara 2300 – 4000.

2.8.3 Vortex

Vortex didefinisikan sebagai massa fluida cairan atau gas yang partikel-partikelnya bergerak berputar. Gerakan partikel fluida bergerak berputar disebabkan adanya perbedaan kecepatan antara lapisan-lapisan fluida yang bersebelahan dengan jarak tertentu menimbulkan gaya-gaya yang akhirnya akan menyebabkan puntiran. Torsi ini akan menyebabkan terjadinya *vortex-vortex* pada fluida tersebut. Menurut proses pembentukannya *vortex* dibagi menjadi 2 macam yaitu *vortex* bebas (*free vortex*) dan *vortex* paksa (*forced vortex*). *Vortex* bebas terjadi jika mekanisme pembentukan *vortex* tidak melibatkan energi dari luar sumber. Fluida berputar karena gerakan internalnya contohnya yaitu pusaran air disungai dan pusaran di belokan pipa akibat aliran sekunder. *Vortex* paksa terjadi jika mekanisme pembentukan *vortex* melibatkan energi dari luar misalnya fluida diberi torsi atau puntiran dari luar. Contohnya yaitu fluida dalam suatu wadah diputar dengan pipa silinder.

Sesungguhnya *vortex* berwujud tiga dimensi dan dapat berubah menurut harga bilangan Reynold. Pada bilangan Reynold yang rendah, *vortex* berbentuk seperti tapal kuda dan semakin tinggi harga bilangan Reynold maka *vortex* akan semakin meruncing seperti ditunjukkan pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 : Geometri *Vortex* menurut besar bilangan Reynolds
 Sumber: "H.Schlichting: Boundary Layer Theory," 7th ed.,Mcgraw-Hill,
 New York, 1979.

2.9 Perpindahan Panas dan Massa pada *Liquid Desiccant Dehumidification System*

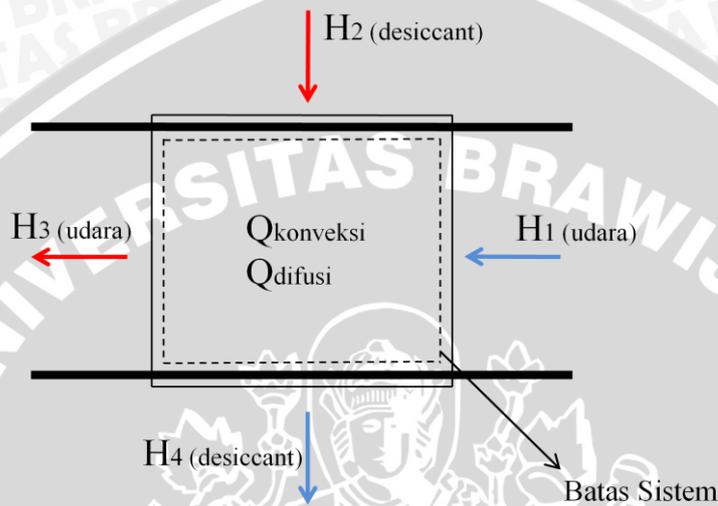
2.9.1 Proses Difusi

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.

2.9.2 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 2.11 menunjukkan kesetimbangan kalor yang terjadi di dalam *dehumidifier*.



Gambar 2.11 : Kesetimbangan 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 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 (ΔT), 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 :

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

(2-6)

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

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

(2-7)

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

(2-8)

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 :

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

(2-9)

dimana :

Re = bilangan Reynold

V = kecepatan udara (m/s)

d_H = diameter hidrolis

$C_{m,n}$ = konstanta

Pr = bilangan Prandtl

h = koefisien perpindahan panas konveksi ($W/m^2 K$)

k = koefisien konduksi ($W/m.K$)

Nu = bilangan Nusselt

ΔT = beda temperatur (K)

q = laju perpindahan kalor konveksi (J/s)

Keseimbangan kalor secara matematik dapat dituliskan sebagai berikut :

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

Sehingga dapat disimpulkan :

\sum Laju kalor keluar = \sum Laju kalor masuk

$$H_3 + H_4 = H_1 + H_2$$

(2-10)

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

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

(2-11)

Sehingga nilai energi kalor udara masuk dihitung dengan rumus :

$$H_1 = \dot{m}_{a1} C_p T_1 + \omega_1 h_{g1}$$

(2-12)

Keterangan :

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

T_1 = temperatur udara inlet ($^{\circ}C$)

ω_1 = kelembaban absolut udara inlet ($kg_{uap\ air}/kg_{udara\ kering}$)

h_{g1} = entalpi uap udara inlet (J/kg)

Nilai kalor udara keluar dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$H_3 = m_{a3} c_p T_3 + \omega_3 h_{g3} \quad (2-13)$$

dimana :

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

T_3 = temperatur udara keluar (°C)

ω_3 = kelembaban absolut udara keluar (kg_{uap air}/kg_{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 :

$$m_{a1} = m_{a3} = m_a \quad (2-14)$$

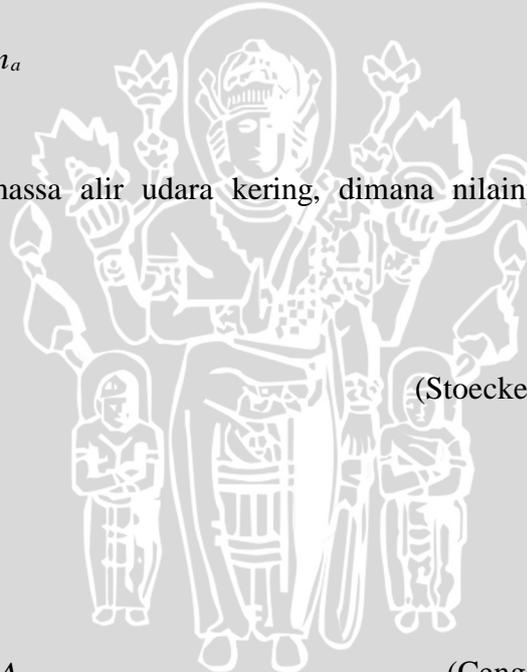
m_a merupakan laju massa alir udara kering, dimana nilainya dapat dihitung dengan rumus :

$$\omega = \frac{m_v}{m_a} \quad (\text{Stoecker,1992} \quad : \quad 41) \quad (2-15)$$

$$\omega \times m_a = m_v \quad (2-16)$$

$$m = \rho \times V \times A \quad (\text{Cengel,1994} \quad : \quad 98) \quad (2-17)$$

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



$$m = m_a + m_v$$

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

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

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

18)

Keterangan :

ω = 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)

ρ = massa jenis campuran udara dan uap air (kg/m^3)

H_2 dan H_4 masing-masing dihitung dengan rumus :

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

19)

Desiccant yang digunakan adalah larutan 50 % CaCl_2 maka energi yang dikandung adalah energi dari *desiccant* dan energi dari air, sehingga :

$$H_2 = H_d + H_w$$

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

20)

Keterangan :

H_d = energi kalor yang dikandung *desiccant* (kJ/s)

H_w = energi kalor yang dikandung air (kJ/s)

m_2 = laju massa alir *desiccant* yang masuk ke dalam sistem (kg/s)

- T_2 = temperatur *desiccant* inlet ($^{\circ}\text{C}$)
 C_{p_d} = kalor spesifik *desiccant*
 C_{p_w} = kalor spesifik air = 4,19 kJ/kg. K

$$H_4 = \dot{m}_4 \times h_4 \quad (2-21)$$

$$H_4 = H_d + H_w$$

$$H_4 = \dot{m}_4 \cdot T_4 (C_{p_d} + C_{p_w})$$

$$(2-22)$$

Keterangan :

- \dot{m}_4 = laju massa alir *desiccant* yang keluar dari sistem (kg/s)
 T_4 = temperatur *desiccant* outlet ($^{\circ}\text{C}$)

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

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

$$\dot{m}_4 = \rho_{desiccant} \times \dot{Q}_4$$

$$(2-23)$$

Sedangkan nilai kalor spesifik *desiccant* dapat dilihat pada diagram kalor spesifik larutan 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 :

$$H_1 + H_2 = H_3 + H_4$$

$$\dot{m}_{a1} \left(c_p T_1 + \omega_1 h_{g1} \right) + \frac{\dot{m}_2 T_2}{2} (C_{p_d} + C_{p_w}) = \dot{m}_{a3} \left(c_p T_3 + \omega_3 h_{g3} \right) + \frac{\dot{m}_4 T_4}{2} (C_{p_d} + C_{p_w})$$

$$(2-24)$$

Nilai *transfer* energi dihitung dengan persamaan :

$$\Delta H = H_1 - H_3 = H_2 - H_4$$

(2-25)

Nilai *transfer* massa dihitung dengan persamaan:

$$\Delta \dot{m} = \dot{m}_1 - \dot{m}_3 = \dot{m}_2 - \dot{m}_4$$

(2-26)

2.9.3 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.

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

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

2.10 Hipotesis

Semakin dekat jarak peletakan turbulator terhadap *spray nozzle* akan menambah tingkat turbulensi yang menyebabkan luas bidang sentuh antara *desiccant* dan udara semakin besar, sehingga kemampuan serap dari *desiccant* akan meningkat dan unjuk kerja dari *liquid desiccant dehumidification system* juga akan 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; 1.5; 2; 2.5; dan 3m/s.
- jarak peletakan *turbulator* dari *spray nozzle*, divariasikan masing-masing sebesar 10; 20; 30 cm, serta tanpa menggunakan *turbulator*.

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 :

- *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

- Fluida kerja adalah larutan 50% CaCl_2 sebagai *liquid desiccant* dengan temperatur 60°C .
- Sudut *turbulator* 50°

3.3 Alat-alat Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari :

1. *Wind tunnel*

Wind tunnel (Gambar 3.1) merupakan suatu alat menyerupai lorong yang digunakan untuk mengalirkan udara (fluida).



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.

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 listrik berupa tegangan.

b. *Anemometer*

Alat ini berfungsi untuk mengukur kecepatan udara masuk sebelum *turbulator* dan setelah *turbulator*

c. Peralatan pendukung

- *Digital Multimeter*

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

- *Thermocontroller*

Fungsi dari alat ini adalah memutus arus listrik yang mengalir pada *heater* secara otomatis ketika temperatur *desiccant* mencapai 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.

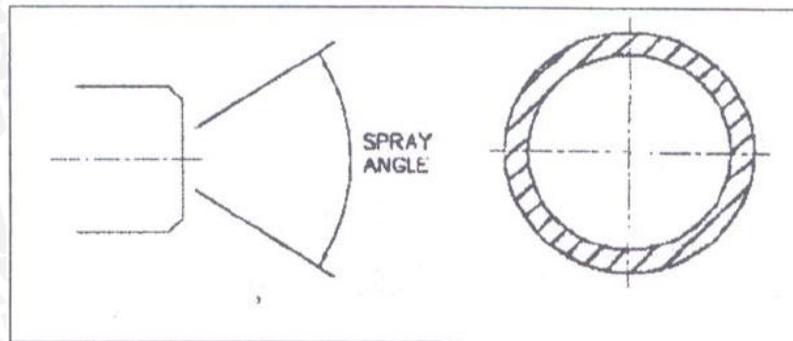
4. Pompa

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 :

- No. Part : MZS38017
- Merk : G
- Daya : 0,175 kW
- Kapasitas : 25 ml/menit

5. *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.



Gambar 3.2 : Spray Nozzle

6. Gelas ukur

Gelas ukur ini (Gambar 3.3) 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* (m³/detik)

V = volume *desiccant* (m³)

t = waktu (detik)



Gambar 3.3 : Gelas Ukur

7. *Heater*

Heater (Gambar 3.4) digunakan untuk meningkatkan temperatur *desiccant* dalam bak penampung. *Heater* ini dihubungkan dengan *thermocontroller* untuk menjaga temperatur *desiccant* agar tetap konstan dalam setiap pengambilan data.



Gambar 3.4 : *Heater*

8. *Preheater*

Alat ini (Gambar 3.5) digunakan untuk mengondisikan udara inlet. *Preheater* ini mengonversi energi listrik menjadi energi panas melalui elemen pemanas yang selanjutnya digunakan untuk memanaskan udara inlet.



Gambar 3.5 : *Preheater*9. *Adaptor*

Adaptor (Gambar 3.6) 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 :

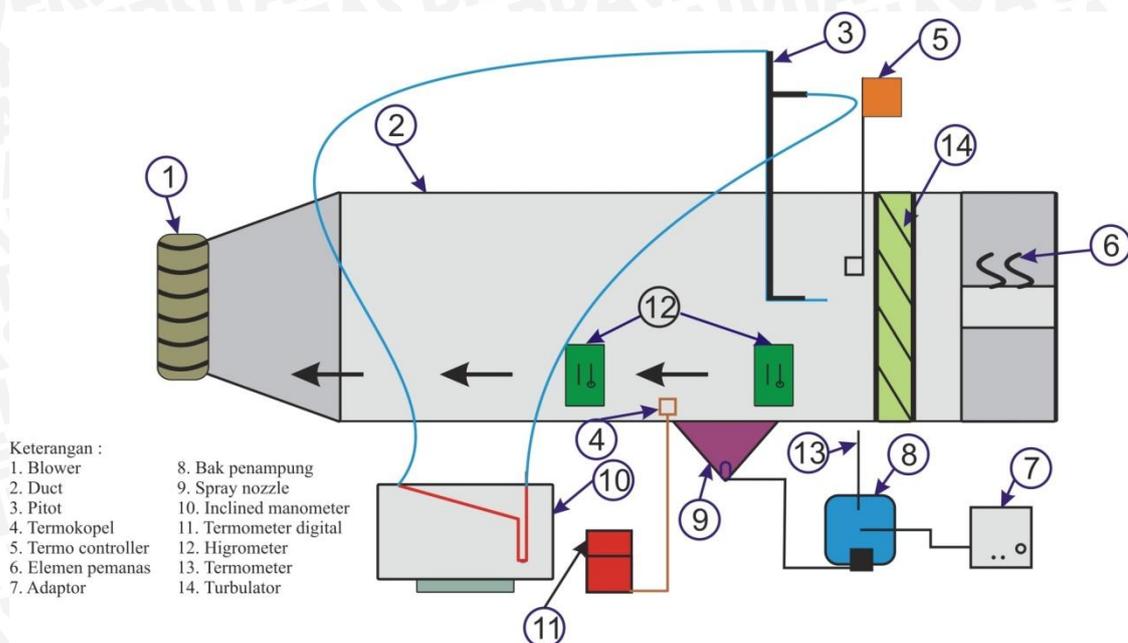
- Arus : 5 A
- Tegangan : 12 Volt

Gambar 3.6 : *Adaptor*11. *Turbulator*

Merupakan plat tipis dari bahan fiberglass dengan bentuk tertentu yang mempunyai tebal (t) 3 mm, lebar 50 mm dan panjang (l) 150 mm.

3.4 Instalasi Penelitian

Instalasi penelitian beserta keterangannya terlihat pada gambar 3.9 yang menunjukkan instalasi penelitian serta alat pendukungnya.



Gambar 3.7 Instalasi Penelitian

3.5 Prosedur penelitian

Persiapan meliputi :

1. Menyiapkan instalasi penelitian dengan berbagai variasi bukaan katup blower.
2. Membuat larutan *desiccant* dengan konsentrasi 50%.
3. Memanaskan *desiccant* dengan *heater* sampai pada temperatur 60 °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 air sesuai dengan yang diinginkan.
3. Hidupkan blower dengan kecepatan udara *inlet* 1 m/s .
4. Setelah keadaan mencapai kondisi *steady*, pengambilan data dapat dilakukan.
5. Mengambil data temperatur udara masuk, temperatur dan udara keluar.

6. Mengulangi langkah 2 sampai 4 pada variasi kecepatan udara *inlet* yang berbeda sebesar 1.5; 2; 2.5; dan 3 m/s.
7. Mengulangi langkah 2 sampai 5 pada variasi jarak peletakan *turbulator* .
8. Data diolah, kemudian dianalisa pengaruh variasi jarak peletakan *turbulator* terhadap unjuk kerja. 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

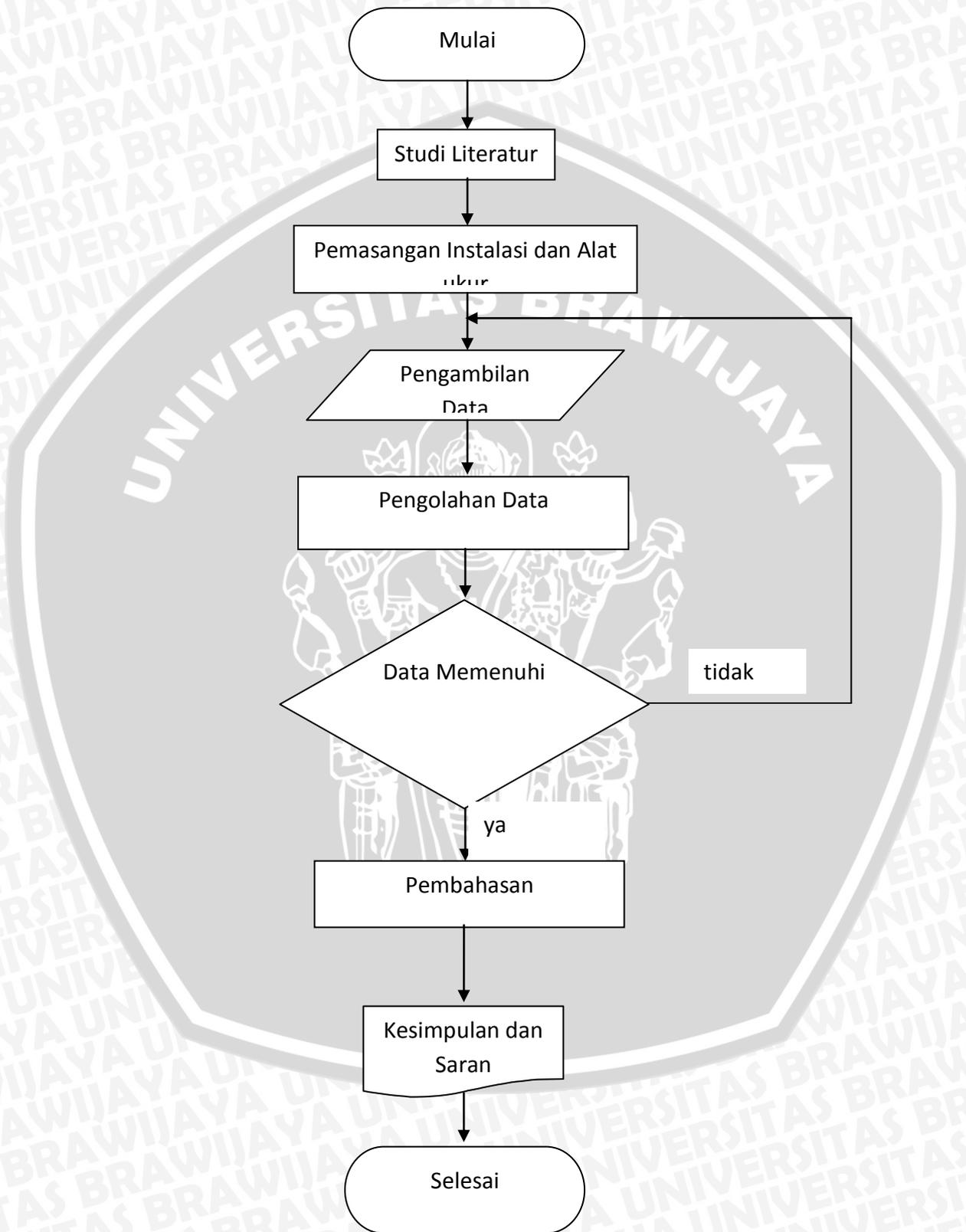
Penelitian dilakukan di Laboratorium Mesin-mesin Fluida, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya.

3.7 Rancangan Penelitian

Model rancangan penelitian ini melibatkan satu variabel bebas yaitu variasi kecepatan udara terhadap *transfer* energi, *transfer* massa dan efisiensi *Desiccant Dehumidification System*.

3.8 Diagram Alir Penelitian

Gambar 3.12, diagram alir penelitian, menunjukkan alur dari proses penelitian.



Gambar 3.9 : Diagram Alir Penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

4.1.1 Data Hasil Pengujian

Berikut ini (Tabel 4.1; 4.2; 4.3; dan 4.4) adalah data hasil pengujian pengaruh jarak peletakan *turbulator* terhadap unjuk kerja dari *Liquid Desiccant Dehumidification System*:

Tabel 4.1 : Tabel hasil pengambilan data yang diperoleh pada instalasi tanpa *turbulator*.
(Lampiran 1)

V (m/s)	Td in (°C)	Tw in (°C)	Td out (°C)	Tw out (°C)
1	32	29	31.5	28
	32	29.5	32	29
1.5	32	29	31.5	28
	32	29.5	32	28.5
2	32	29	32	27.5
	32	29.5	32	28
2.5	32	29	31.5	27
	32	29	32	27.5
3	32	29	31.5	27.5
	32	29	31.5	28

Tabel 4.2 : Tabel hasil pengambilan data yang diperoleh pada instalasi dengan jarak peletakan *turbulator* 10 cm. (Lampiran 2)

V (m/s)	Td in (°C)	Tw in (°C)	Td out (°C)	Tw out (°C)
1	32	29	31	27
	32	29.5	31.5	27.5
1.5	32	29.5	31	27
	32	29.5	31.5	27
2	32	29.5	31	26.2
	32	29.5	31	26.3
2.5	32	29	31.5	26.5
	32	29.5	31.5	26
3	32	29	31	26.2
	32	29.5	31.5	26.2

Tabel 4.3 : Tabel hasil pengambilan data yang diperoleh pada pada instalasi dengan jarak peletakan *turbulator* 20 cm. (Lampiran 3)

V (m/s)	Td in (°C)	Tw in (°C)	Td out (°C)	Tw out (°C)
1	32	29	31.5	27.5
	32	29	31	27
1.5	32	29	31.5	27
	32	29.5	31	27
2	32	29.5	31.5	27
	32	29.5	31.5	27
2.5	32	29	31.5	26.8
	32	29.5	31	26.8
3	32	29	31	26.8
	32	29.5	31	26

Tabel 4.4 : Tabel hasil pengambilan data yang diperoleh pada pada instalasi dengan jarak peletakan *turbulator* 30 cm. (Lampiran 4)

V (m/s)	Td in (°C)	Tw in (°C)	Td out (°C)	Tw out (°C)
1	32	29	31	27.5
	32	29.5	31.5	28.5
1.5	32	29	31	27.5
	32	29.5	31.5	28
2	32	29	31.5	27
	32	29.5	31.5	27.5
2.5	32	29	31	26.5
	32	29	31.5	27
3	32	29	31	27
	32	29	31	27.5

4.1.2 Contoh Perhitungan

Data yang diperoleh dari pengujian pada instalasi dengan menggunakan jarak peletakan *turbulator* 10 cm :

a. Data dari hasil pengujian (Lampiran 2, data pertama)

- Temperatur bola kering inlet (T_{din}) = 32 °C
- Temperatur bola basah inlet (T_{win}) = 29 °C
- Temperatur bola kering outlet (T_{dout}) = 31 °C

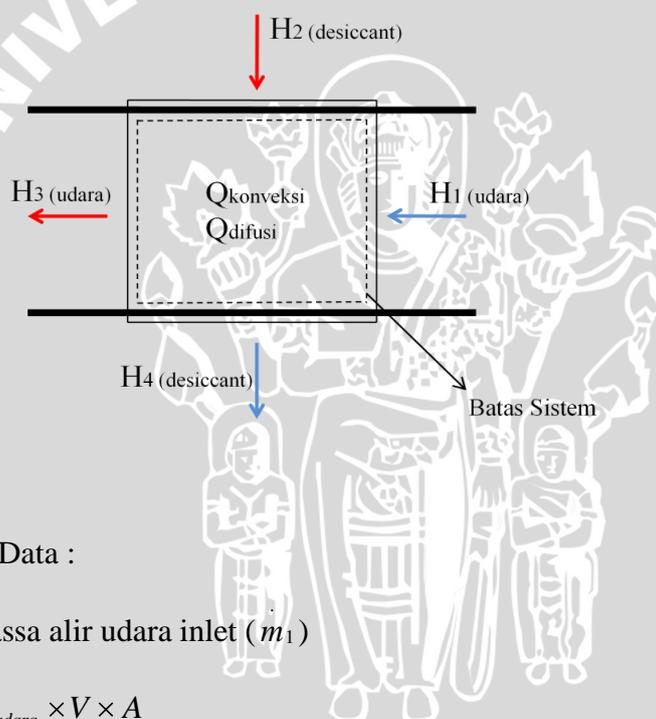
- Temperatur bola basah outlet (T_{wout}) = 27 °C

b. Data yang diambil dari diagram *psycrometric*

- Kelembaban relatif udara inlet (RH_1) = 78 %
- Kelembaban absolute udara inlet (ω_1) = 0,0189 kg_{uap air}/kg_{udara kering}
- Kelembaban relatif udara outlet (RH_3) = 72 %
- Kelembaban absolute udara outlet (ω_3) = 0,0162 kg_{uap air}/kg_{udara kering}

c. Data yang diperoleh dari table A₁ dan table A₂

- Massa jenis udara inlet ($\rho_{udara inlet}$) = 1,103 kg/m³
- Entalphi uap udara inlet (hg_1) = 2554,55 kJ/kg
- Entalphi uap outlet udara (hg_3) = 2550,9 kJ/kg



Pengolahan Data :

1. Laju massa alir udara inlet (m_1)

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

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

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

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)

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

$$m_3 = 0,05034 \times (1 + 0,0162)$$

$$m_3 = 0,0512 \text{ kg/s}$$

4. *Transfer* massa ($\Delta \dot{m}$)

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

$$\Delta \dot{m} = 0,0513 - 0,0512017$$

$$\Delta \dot{m} = 0,0001359 \text{ kg/s}$$

5. Laju energi kalor udara sisi masuk (H_1)

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

$$H_1 = 0,05034 \times (1 \times 32 + 2554,55 \times 0,0189)$$

$$H_1 = 4,0412 \text{ kJ/s}$$

6. Laju energi kalor udara sisi keluar (H_3)

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

$$H_3 = 0,05034 \times (1 \times 31 + 2550,9 \times 0,0162)$$

$$H_3 = 3,64068 \text{ kJ/s}$$

7. *Transfer* Energi (ΔH)

$$\Delta H = H_1 - H_3$$

$$\Delta H = 4,0412 - 3,64068$$

$$\Delta H = 0,4005 \text{ kJ/s}$$

8. Efisiensi DDS (η_{DDS})

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

$$\eta_{DDS} = \frac{0,0189 - 0,0162}{0,0189} \cdot 100\%$$

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

$$\eta_{DDS} = 14,32292\%$$

4.1.3 Hasil Pengolahan Data

Hasil pengolahan data akan ditampilkan dalam bentuk tabel (Tabel 4.5, Tabel 4.6 dan Tabel 4.7) berikut ini :

Tabel 4.5 : Tabel hasil pengolahan data untuk *transfer* massa, $\Delta\dot{m}$ (kg/s).

V (m/s)	Transfer massa (kg/s) pada jarak peletakan <i>turbulator</i>			
	30 cm	20 cm	10 cm	Tanpa <i>turbulator</i>
1	0.00010068	0.00011074	0.00013591	0.000105689
	0.00010036	0.00020856	0.00021616	3.86002E-05
1.5	0.00014346	0.00021897	0.00024903	0.000143464
	0.00022889	0.00037767	0.00040056	0.000228891
2	0.00029196	0.00035216	0.00042259	0.000201432
	0.00046804	0.00058505	0.00073593	0.000334481
2.5	0.00040270	0.00040270	0.00049080	0.00027686
	0.00051447	0.00060281	0.00081557	0.000337065
3	0.00040774	0.00042284	0.00057385	0.000302029
	0.00036407	0.00065111	0.00084262	0.000268264

Tabel 4.6 : Tabel hasil pengolahan data untuk *transfer* energi ΔH (kJ/s).

V (m/s)	Transfer Energi (KJ/s) pada jarak peletakan <i>turbulator</i>			
	30 cm	20 cm	10 cm	Tanpa <i>turbulator</i>
1	0.3099	0.3104	0.4005	0.297505522
	0.2977	0.6146	0.5958	0.10142972
1.5	0.4465	0.6015	0.7175	0.408795412
	0.6478	1.0881	1.0893	0.590539486
2	0.8020	0.9577	1.1387	0.520632488
	1.2900	1.5910	1.9768	0.865285998
2.5	1.1628	1.0997	1.3891	0.778896044
	1.4139	1.7321	2.1887	0.872661344
3	1.2025	1.2410	1.6282	0.85739065
	1.1342	1.8708	2.3619	0.794011779

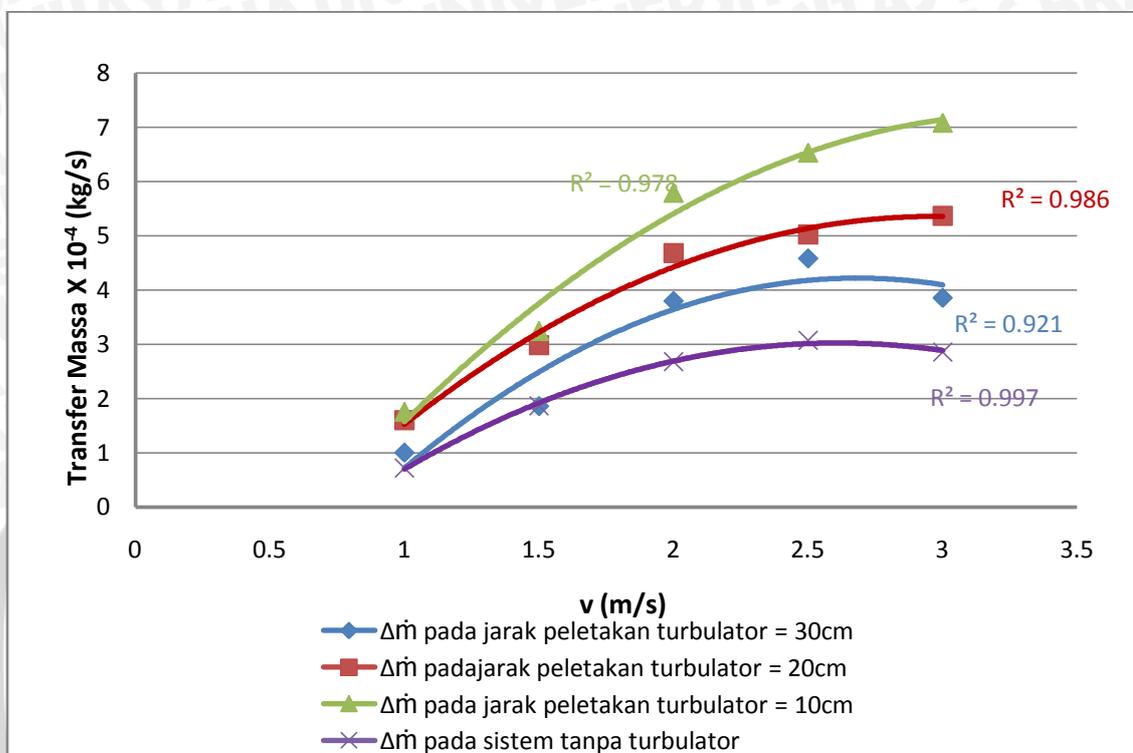
Tabel 4.7 : Tabel hasil pengolahan data untuk efisiensi DDS, η_{DDS} (%).

V (m/s)	Efisiensi DDS pada jarak peletakan <i>turbulator</i>			
	30 cm	20 cm	10 cm	Tanpa <i>turbulator</i>
1	0.1058	0.1164	0.1429	0.109947644
	0.0667	0.1429	0.1436	0.025641026
1.5	0.1005	0.1534	0.1692	0.100529101
	0.1026	0.1692	0.1795	0.102564103
2	0.1534	0.1795	0.2011	0.108108108
	0.1436	0.1795	0.2256	0.105263158
2.5	0.1693	0.1693	0.2154	0.116402116
	0.1534	0.1744	0.2328	0.100529101
3	0.1429	0.1481	0.2063	0.105820106
	0.1005	0.1744	0.2359	0.074074074



4.2 Pembahasan Grafik

4.2.1 Pembahasan Grafik Hubungan antara kecepatan Udara *Inlet* (v) terhadap *Transfer* Massa ($\Delta \dot{m}$)



Gambar 4.1 : Grafik hubungan antara kecepatan udara *inlet* (v) terhadap *transfer* massa

Pada grafik (Gambar4.1) 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 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 *inlet* lebih tinggi dari pada massa udara campuran pada sisi *outlet*. Hal tersebut menunjukkan bahwa jumlah massa uap air pada sisi *inlet* lebih besar daripada jumlah massa uap air pada sisi *outlet*. Proses *transfer* massa sendiri dirumuskan oleh persamaan :

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

Dari rumusan 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 rasio kelembaban (ω). Hal tersebut ditunjukkan oleh persamaan :

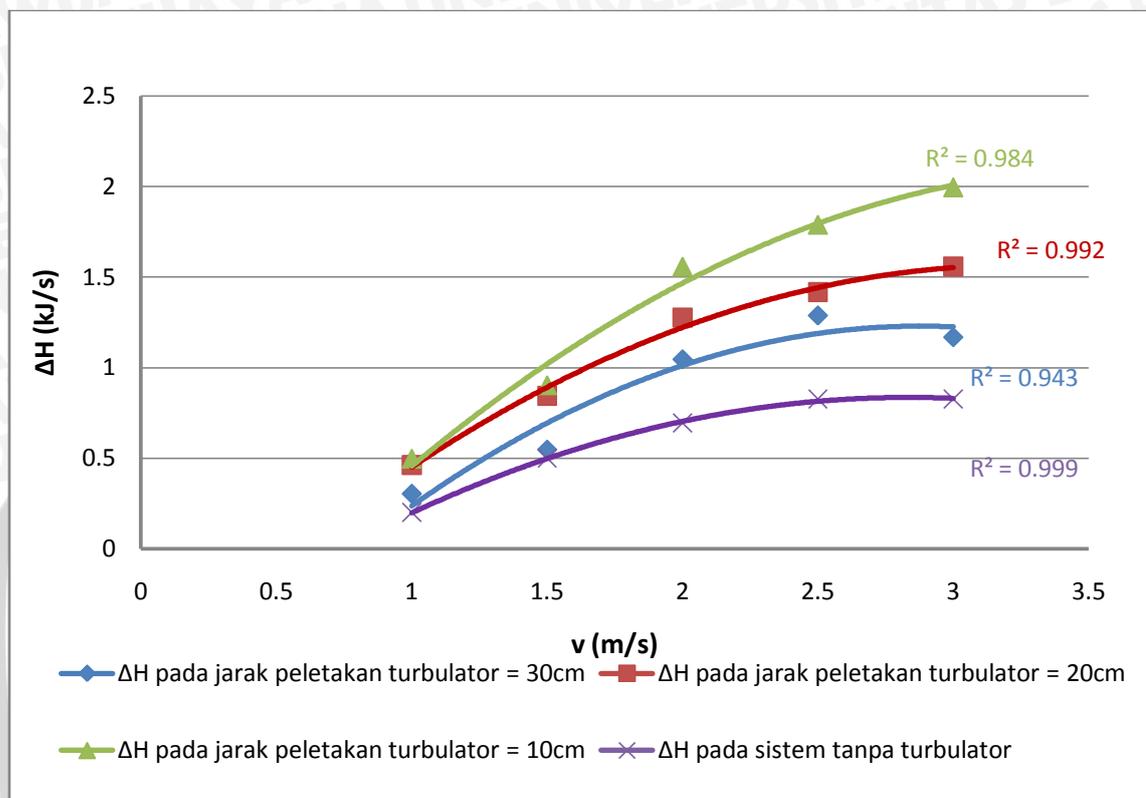
$$m = \rho \times V \times A$$

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

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 (ω). Grafik yang cenderung meningkat menunjukkan massa udara campuran pada sisi *inlet* lebih tinggi daripada massa udara campuran pada sisi *outlet*. Hal tersebut dikarenakan kelembaban absolute 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 juga menunjukkan bahwa semakin dekat jarak peletakan *turbulator* dari *spray nozzle* pada instalasi 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 instalasi tanpa *turbulator* adalah 2.851×10^{-4} kg/s. Pada instalasi dengan jarak peletakan *turbulator* dari *spray nozzle* sebesar 10 cm; 20 cm; 30 cm nilai *transfer* massa masing-masing adalah 7.082×10^{-4} ; 5.37×10^{-4} ; dan 3.86×10^{-4} kg/s. Data tersebut menunjukkan bahwa pada kecepatan udara *inlet* yang sama, proses *transfer* massa yang terbesar adalah pada instalasi dengan jarak peletakan *turbulator* dari *spray nozzle* sebesar 10 cm, kemudian menurun dan yang paling rendah adalah pada instalasi tanpa menggunakan *turbulator*. Hal tersebut dikarenakan dengan jarak peletakan *turbulator* dari *spray nozzle* yang semakin dekat 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.

4.2.2 Pembahasan Grafik Hubungan antara Kecepatan Udara *Inlet* (v) terhadap *Transfer Energi* (ΔH)



Gambar 4.2 : Grafik hubungan antara kecepatan udara *inlet* (v) terhadap *transfer energi* (ΔH)

Dari grafik (gambar 4.2) menunjukkan bahwa nilai *transfer energi* yang terjadi semakin meningkat seiring dengan meningkatnya kecepatan udara *inlet*. Hal tersebut dapat diartikan bahwa energi kalor pada sisi *outlet* lebih kecil daripada sisi *inlet*. Energi kalor pada sisi *outlet* lebih kecil daripada sisi *inlet* dikarenakan udara kehilangan energi kalor pada saat udara melewati semprotan *desiccant*. Kenaikan grafik akibat selisih nilai energi kalor sisi *inlet* dan *outlet* sesuai dengan persamaan :

$$\Delta H = H_1 - H_3$$

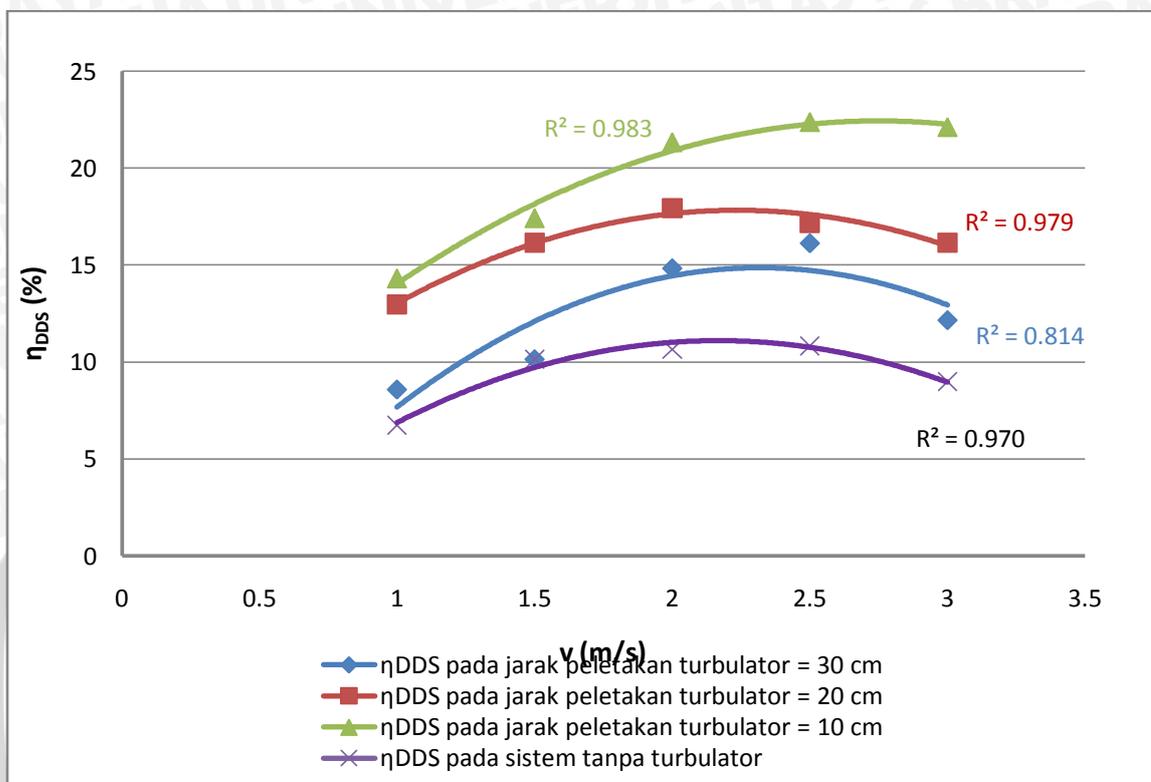
Persamaan di atas menyatakan bahwa *transfer energi* adalah selisih antara energi kalor pada sisi *inlet* dan sisi *outlet* sistem. Nilai energi kalor dipengaruhi oleh massa alir udara, temperatur, kelembaban absolut serta nilai enthalpi udara. Semakin cepat udara mengalir mengakibatkan nilai massa alir udara semakin meningkat dan menjadikan nilai *transfer energi* meningkat. Penurunan energi kalor pada sisi *outlet* diakibatkan semakin

tinggi kecepatan udara *inlet* akan membuat semakin banyak uap air yang diserap oleh *desiccant*. Kejadian tersebut membuat nilai kelembaban absolut (ω_3) dan enthalpi uap air (h_{g3}) menurun. Hal tersebut sesuai dengan persamaan berikut :

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

Pada gambar 4.2 juga terlihat bahwa menunjukkan bahwa semakin dekat jarak peletakan *turbulator* dari *spray nozzle* pada instalasi akan membuat proses transfer energi semakin besar. Pada kecepatan udara *inlet* yang sama, yaitu 3m/s nilai *transfer* energi yang tertinggi dihasilkan pada instalasi dengan jarak peletakan *turbulator* dari *spray nozzle* sebesar 10 cm, yaitu 1.995 kJ/s. Pada instalasi dengan jarak peletakan *turbulator* dari *spray nozzle* sebesar 20 cm dan 30 cm, nilai *transfer* energi yang terjadi masing-masing adalah 1.556 kJ/s dan 1.168 kJ/s. Nilai *transfer* energy yang terkecil adalah sebesar 0.826 kJ/s pada instalasi tanpa menggunakan *turbulator*. Hal tersebut dikarenakan dengan jarak peletakan *turbulator* dari *spray nozzle* yang semakin dekat 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 *outlet* juga semakin menurun. Menurunnya kandungan uap air setelah melewati semprotan *desiccant* tersebut mengakibatkan nilai kelembaban absolut (ω_3) dan enthalpi udara (h_{g3}) pada sisi *outlet* semakin menurun. Dengan menurunnya ω_3 dan h_{g3} maka akan membuat nilai energi kalor pada sisi *outlet* (H_3) menurun. Sehingga beda energi kalor pada sisi *inlet* dan *outlet* (ΔH) yang terjadi akan semakin besar.

4.2.3 Pembahasan Grafik Hubungan antara Kecepatan Udara *Inlet* (v) terhadap Efisiensi *Desiccant Dehumidification System* (η_{DDS})



Gambar 4.3 : Grafik hubungan antara kecepatan udara *inlet* (v) terhadap efisiensi *desiccant dehumidification system* (η_{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 menurun 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. 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* (ω_3) akan semakin turun. Dengan turunnya ω_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 :

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

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

Persamaan di atas menunjukkan bahwa efisiensi *desiccant dehumidification system* adalah selisih kelembaban absolut pada sisi *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 kinerja *desiccant dehumidification system* untuk menyerap uap air pada udara proses dikategorikan buruk.

Pada gambar 4.3 juga terlihat bahwa variasi jarak peletakan *turbulator* dari *spray nozzle* pada instalasi mempengaruhi nilai efisiensi *desiccant dehumidification system* yang terjadi. Semakin dekat jarak peletakan *turbulator* dari *spray nozzle* pada instalasi akan membuat nilai efisiensi *desiccant dehumidification system* semakin meningkat. Dapat dilihat pada nilai kecepatan udara *inlet* yang sama, yaitu 3m/s nilai efisiensi *desiccant dehumidification system* yang tertinggi terdapat pada instalasi dengan jarak peletakan *turbulator* dari *spray nozzle* pada instalasi sebesar 10 cm, yaitu 22.125%. Pada instalasi dengan jarak peletakan *turbulator* dari *spray nozzle* pada instalasi sebesar 20 cm dan 30 cm, nilai efisiensi *desiccant dehumidification system* yang terjadi masing-masing adalah 16.146% kJ/s dan 12.169%. Nilai efisiensi *desiccant dehumidification system* yang terkecil adalah sebesar 8.994% pada instalasi tanpa menggunakan *turbulator*. Peningkatan nilai efisiensi *desiccant dehumidification system* seiring dengan semakin dekatnya jarak peletakan *turbulator* dari *spray nozzle* pada instalasi tersebut dikarenakan semakin dekat jarak peletakan *turbulator* dari *spray nozzle*, 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 *outlet* (ω_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 bahwa :

1. Dengan bertambahnya kecepatan udara *inlet* dan semakin dekat jarak peletakan *turbulator* dari *spray nozzle* pada instalasi, maka nilai *transfer* massa, *transfer* energi, dan efisiensi *liquid desiccant dehumidification system* (DDS) yang dihasilkan semakin meningkat.
2. Nilai *transfer* massa tertinggi terjadi pada instalasi dengan jarak peletakan *turbulator* dari *spray nozzle* sebesar 10 cm ($\Delta\dot{m} = 7.082 \times 10^{-4}$ kg/s pada $V = 3$ m/s). Hal tersebut dikarenakan dengan jarak peletakan *turbulator* dari *spray nozzle* yang semakin dekat 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.
3. Nilai *transfer* energi tertinggi terjadi pada instalasi dengan jarak peletakan *turbulator* dari *spray nozzle* sebesar 10 cm ($\Delta H = 1.995$ kJ/s pada $V = 3$ m/s). Hal tersebut dikarenakan dengan jarak peletakan *turbulator* dari *spray nozzle* yang semakin dekat akan meningkatkan intensitas turbulensi pada aliran, sehingga luas bidang sentuh antara uap air dan *liquid desiccant* semakin besar, sehingga nilai *transfer* energi meningkat.
4. Nilai efisiensi DDS tertinggi terjadi pada instalasi dengan jarak peletakan *turbulator* dari *spray nozzle* sebesar 10 cm ($\eta_{\text{DDS}} = 22.125\%$ pada $V = 2,5$ m/s). Nilai efisiensi DDS berbanding lurus dengan semakin dekatnya jarak peletakan *turbulator* dari *spray nozzle* yang dapat meningkatkan proses *transfer* energi.

5.2 Saran

Untuk memperoleh unjuk kerja pada *Liquid Desiccant Dehumidification System* yang lebih baik, perlu dilakukan beberapa hal sebagai berikut :

1. Dilakukan penelitian tentang distribusi *droplet desiccant* yang mempengaruhi luasan permukaan kontak antara uap air pada udara dengan *desiccant*.
2. Penggunaan proses regenerasi terhadap *desiccant* agar konsentrasinya kembali ke kondisi semula.

DAFTAR PUSTAKA

- Cengel, Yunus A; 1998: *Heat Transfer A Practical Approach*; 2nd edition; McGraw-Hill Companies Inc, New York.
- Cengel, Yunus A. dan Robert H. Turner; 1994: *Fundamentals of Thermal-Fluid Sciences*; McGraw-Hill Companies Inc, New York.
- El-Wakil, M.M; 1992: *Instalasi Pembangkit Daya*; Alih Bahasa: Ir. E. Jasjfi M.Sc.; Erlangga, Jakarta.
- 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; 1984: *Perpindahan Kalor*; Erlangga, Jakarta.
- Kulshrestha, S.K.; 1989: *Termodinamika Terpakai, Teknik Uap dan Panas*, Alih bahasa: Budiarto, I Made Kartika D, Budiarto; Universitas Indonesia, Jakarta.
- Stoecker, W.F.; 1992: *Refrigerasi dan Pengondisian Udara*, Alih Bahasa: Ir. Supratman Hara; Erlangga, Jakarta.

www.chicagolandunique.com/santafe.html

www.discount-air-fan.wowshopper.com/html-pages/how-does-dehumidifier-work.htm

www.dynalene.com/pdf/CalciumChloridHandbook.pdf.

www.eere.energy.gov/industry-distributedenergy-images.jpg

www.en.wikipedia.org/wiki/Dehumidifier

www.fao.org/docrep/S1250E/S1250EEW.GIF

www.nt.ntnu.no

Lampiran 1 : Data pengujian dan hasil pengolahan data pada instalasi tanpa turbulator

tanpa turbulator

Td in (°C)	Tw in (°C)	Td out (°C)	Tw out (°C)	RH ₁ (%)	RH ₃ (%)	Δ RH	rata2 Δ RH	ω ₁	rata2 ω	ω ₃	Δ ω	rata2 Δ ω	η rata2	η
32	29	31.5	28	78	75	3	3	0.0191	0.0193	0.017	0.0021	0.0013	6.735751	0.10995
32	29.5	32	29	82	79	3		0.0195		0.019	0.0005			0.02564
32	29	31.5	28	78	75	3	4	0.0189	0.0192	0.0170	0.0019	0.00195	10.15625	0.10053
32	29.5	32	28.5	82	77	5		0.0195		0.0175	0.0020			0.10256
32	29	32	27.5	78	75	3	6	0.0185	0.0188	0.0165	0.0020	0.002	10.66667	0.10811
32	29.5	32	28	82	73	9		0.019		0.017	0.0020			0.10526
32	29	31.5	27	78	70	8	7	0.0189	0.0189	0.0167	0.0022	0.00205	10.84656	0.1164
32	29	32	27.5	78	72	6		0.0189		0.0170	0.0019			0.10053
32	29	31.5	27.5	78	74	4	5	0.0189	0.0189	0.0169	0.0020	0.0017	8.994709	0.10582
32	29	31.5	28	78	72	6		0.0189		0.0175	0.0014			0.07407

ρudara in (kg/m ³)	V (m/s)	V rata2	ṁ ₁ (kg/s)	ṁ ₂ (kg/s)	ṁ ₃ (kg/s)	Δṁ (kg/s)	rata2 Δṁ	rata2 Δṁ x 10 ⁻⁴	hg1 (kJ/kg)	hg3 (kJ/kg)	H ₁ (kJ/s)	H ₃ (kJ/s)	ΔH (kJ/s)	rata2 ΔH
1.103	1	1	0.0513	0.05033	0.05118	0.0001057	7.21447E-05	0.72145	2554.6	2551.8	4.0661	3.76861	0.2975	0.1995
	1		0.0787	0.0772	0.07867	3.86E-05			2555.5	2553.6	6.3175	6.21605	0.1014	
1.103	1.5	1.5	0.0769	0.07551	0.07679	0.0001435	0.000186177	1.86177	2554.6	2551	6.0618	5.65299	0.4088	0.4997
	1.5		0.1167	0.11445	0.11645	0.0002289			2555.5	2552.7	9.3653	8.7748	0.5905	
1.103	2	2	0.1026	0.10072	0.10238	0.0002014	0.000267956	2.67956	2554.6	2550.9	7.9826	7.46202	0.5206	0.693
	2		0.1704	0.16724	0.17008	0.0003345			2555.5	2551.8	13.472	12.6067	0.8653	
1.103	2.5	2.5	0.1282	0.12585	0.12795	0.0002769	0.000306962	3.06962	2554.6	2550.4	10.103	9.32409	0.7789	0.8258
	2.5		0.1808	0.1774	0.18042	0.0003371			2554.6	2550.7	14.242	13.3694	0.8727	
1.103	3	3	0.1539	0.15101	0.15357	0.000302	0.000285146	2.85146	2554.6	2550.5	12.124	11.2662	0.8574	0.8257
	3		0.1952	0.19162	0.19497	0.0002683			2554.6	2550.7	15.383	14.5892	0.7940	

Lampiran 2 : Data pengujian dan hasil pengolahan data pada instalasi dengan jarak peletakan turbulator 10cm

jarak peletakan turbulator = 10cm

Td in (°C)	Tw in (°C)	Td out (°C)	Tw out (°C)	RH ₁ (%)	RH ₃ (%)	delta RH	rata2 Δ RH	ω ₁	rata2 ω	ω ₃	delta ω	rata2 delta ω	η rata2	η
32	29	31	27	78	72	6	8	0.0189	0.0192	0.0162	0.0027	0.00275	14.32292	0.14286
32	29.5	31.5	27.5	82	72	10		0.0195		0.0167	0.0028			0.14359
32	29.5	31	27	82	72	10	11	0.0195	0.0195	0.0162	0.0033	0.0034	17.4359	0.16923
32	29.5	31.5	27	82	70	12		0.0195		0.0160	0.0035			0.17949
32	29.5	31	26.2	78	67	11	11	0.0189	0.0192	0.0151	0.0038	0.0041	21.35417	0.20106
32	29.5	31	26.3	78	67	11		0.0195		0.0151	0.0044			0.22564
32	29	31.5	26.5	82	65	17	16.5	0.0195	0.0192	0.0153	0.0042	0.0043	22.39583	0.21538
32	29.5	31.5	26	78	62	16		0.0189		0.0145	0.0044			0.2328
32	29	31	26.2	78	67	11	13	0.0189	0.0192	0.0150	0.0039	0.00425	22.13542	0.20635
32	29.5	31.5	26.2	78	63	15		0.0195		0.0149	0.0046			0.2359

ρ udara in (kg/m ³)	V (m/s)	V rata2	m ₁ (kg/s)	m ₂ (kg/s)	m ₃ (kg/s)	Δm (kg/s)	rata2 Δm	rata2 Δm x 10 ⁴	hg1 (kJ/kg)	hg3 (kJ/kg)	H ₁ (kJ/s)	H ₃ (kJ/s)	ΔH (kJ/s)	rata2 ΔH
1.103	1	1	0.0513	0.05034	0.0512	0.0001359	0.000176037		2554.6	2550.9	4.0412	3.64068	0.4005	0.4981
	1		0.0787	0.0772	0.0785	0.0002162		1.76037	2555.5	2551.8	6.3175	5.72171	0.5958	
1.103	1.5	1.5	0.0769	0.07546	0.0767	0.000249	0.000324793		2555.5	2550.9	6.1753	5.45781	0.7175	0.9034
	1.5		0.1167	0.11445	0.1163	0.0004006		3.24793	2555.5	2550.9	9.3653	8.27607	1.0893	
1.103	2	2	0.1026	0.10062	0.1022	0.0004226	0.000579261		2555.5	2550	8.2337	7.09501	1.1387	1.5578
	2		0.1704	0.16726	0.1697	0.0007359		5.79261	2554.6	2549.1	13.428	11.4507	1.9768	
1.103	2.5	2.5	0.1282	0.12585	0.1277	0.0004908	0.000653185		2554.6	2549.5	10.103	8.71384	1.3891	1.7889
	2.5		0.1808	0.1773	0.1799	0.0008156		6.53185	2555.5	2549.5	14.509	12.32	2.1887	
1.103	3	3	0.1539	0.15101	0.1533	0.0005739	0.000708236		2554.6	2549.6	12.124	10.4953	1.6282	1.9951
	3		0.1952	0.1915	0.1944	0.0008426		7.08236	2555.5	2549.6	15.671	13.3093	2.3619	

Lampiran 3 : Data pengujian dan hasil pengolahan data pada instalasi dengan jarak peletakan turbulator 20cm

jarak peletakan turbulator = 20cm

Td in (°C)	Tw in (°C)	Td out (°C)	Tw out (°C)	RH ₁ (%)	RH ₃ (%)	delta RH	rata2 Δ RH	ω ₁	rata2 ω	ω ₃	delta ω	rata2 delta ω	η rata2	η
32	29	31.5	27.5	78	72	6	6	0.0189	0.0189	0.0167	0.0022	0.00245	12.96296	0.1164
32	29	31	27	78	72	6		0.0189		0.0162	0.0027			0.14286
32	29	31.5	27	78	70	8	9	0.0189	0.0192	0.0160	0.0029	0.0031	16.14583	0.15344
32	29.5	31	27	82	72	10		0.0195		0.0162	0.0033			0.16923
32	29.5	31.5	27	82	70	12	12	0.0195	0.0195	0.0160	0.0035	0.0035	17.94872	0.17949
32	29.5	31.5	27	82	70	12		0.0195		0.0160	0.0035			0.17949
32	29	31.5	26.8	78	68	10	10.5	0.0189	0.0192	0.0157	0.0032	0.0033	17.1875	0.16931
32	29.5	31	26.8	82	71	11		0.0195		0.0161	0.0034			0.17436
32	29	31	26.8	78	71	7	9	0.0189	0.0192	0.0161	0.0028	0.0031	16.14583	0.14815
32	29.5	31	26	82	71	11		0.0195		0.0161	0.0034			0.17436

ρudara in (kg/m ³)	V (m/s)	V rata2	m ₁ (kg/s)	m ₂ (kg/s)	m ₃ (kg/s)	Δm (kg/s)	rata2 Δm	rata2 Δm x 10 ⁴	hg1 (kJ/kg)	hg3 (kJ/kg)	H ₁ (kJ/s)	H ₃ (kJ/s)	ΔH (kJ/s)	rata2 ΔH
1.103	1	1	0.0513	0.05034	0.05118	0.0001107	0.000159654		2554.6	2551.8	4.0412	3.73081	0.3104	0.4625
	1		0.0787	0.07725	0.0785	0.0002086		1.59654	2554.6	2550.9	6.2014	5.58677	0.6146	
1.103	1.5	1.5	0.0769	0.07551	0.07672	0.000219	0.000298321		2554.6	2550.9	6.0618	5.46026	0.6015	0.8448
	1.5		0.1167	0.11445	0.1163	0.0003777		2.98321	2555.5	2550.9	9.3653	8.27723	1.0881	
1.103	2	2	0.1026	0.10062	0.10223	0.0003522	0.000468607		2555.5	2550.9	8.2337	7.27606	0.9577	1.2743
	2		0.1704	0.16716	0.16983	0.0005851		4.68607	2555.5	2550.9	13.679	12.088	1.5910	
1.103	2.5	2.5	0.1282	0.12585	0.12782	0.0004027	0.00050276		2554.6	2550.5	10.103	9.00333	1.0997	1.4159
	2.5		0.1808	0.1773	0.18015	0.0006028		5.0276	2555.5	2550.5	14.509	12.7767	1.7321	
1.103	3	3	0.1539	0.15101	0.15345	0.0004228	0.000536977		2554.6	2550.5	12.124	10.8826	1.2410	1.5559
	3		0.1952	0.1915	0.19459	0.0006511		5.36977	2555.5	2550.5	15.671	13.8004	1.8708	

Lampiran 4 : Data pengujian dan hasil pengolahan data pada instalasi dengan jarak peletakan turbulator 30cm

jarak peletakan turbulator = 30cm

Td in (°C)	Tw in (°C)	Td out (°C)	Tw out (°C)	RH ₁ (%)	RH ₃ (%)	Δ RH	rata2 Δ RH	ω ₁	rata2 ω	ω ₃	Δ ω	rata2 Δ ω	η rata2	η
32	29	31	27.5	78	74	4	4	0.0189	0.0192	0.0169	0.0020	0.00165	8.59375	0.10582
32	29.5	31.5	28.5	82	78	4		0.0195		0.0182	0.0013			0.06667
32	29	31	27.5	78	74	4	6	0.0189	0.0192	0.0170	0.0019	0.00195	10.15625	0.10053
32	29.5	31.5	28	82	74	8		0.0195		0.0175	0.0020			0.10256
32	29	31.5	27	78	70	8	9	0.0189	0.0192	0.0160	0.0029	0.00285	14.84375	0.15344
32	29.5	31.5	27.5	82	72	10		0.0195		0.0167	0.0028			0.14359
32	29	31	26.5	78	68	10	10	0.0189	0.0189	0.0157	0.0032	0.00305	16.13757	0.16931
32	29	31.5	27	78	68	10		0.0189		0.0160	0.0029			0.15344
32	29	31	27	78	72	6	6	0.0189	0.0189	0.0162	0.0027	0.0023	12.16931	0.14286
32	29	31	27.5	78	72	6		0.0189		0.0170	0.0019			0.10053

ρudara in (kg/m ³)	V (m/s)	V rata2	m ₁ (kg/s)	m ₂ (kg/s)	m ₃ (kg/s)	Δm (kg/s)	rata2 Δm	rata2 Δm x 10 ⁴	hg1 (kJ/kg)	hg3 (kJ/kg)	H ₁ (kJ/s)	H ₃ (kJ/s)	ΔH (kJ/s)	rata2 ΔH
1.103	1	1	0.0513	0.05034	0.05119	0.0001007	0.000100518		2554.6	2551.8	4.0412	3.73133	0.3099	0.3038
	1		0.0787	0.0772	0.07861	0.0001004		1.00518	2555.5	2553.6	6.3175	6.01974	0.2977	
1.103	1.5	1.5	0.0769	0.07551	0.07679	0.0001435	0.000186177		2554.6	2551	6.0618	5.61524	0.4465	0.5472
	1.5		0.1167	0.11445	0.11645	0.0002289		1.86177	2555.5	2552.7	9.3653	8.71758	0.6478	
1.103	2	2	0.1026	0.10068	0.10229	0.000292	0.000380002		2554.6	2550.9	8.0824	7.28034	0.8020	1.046
	2		0.1704	0.16716	0.16995	0.000468		3.80002	2555.5	2551.8	13.679	12.389	1.2900	
1.103	2.5	2.5	0.1282	0.12585	0.12782	0.0004027	0.000458587		2554.6	2550.4	10.103	8.94021	1.1628	1.2883
	2.5		0.1808	0.1774	0.18024	0.0005145		4.58587	2554.6	2550.7	14.242	12.8282	1.4139	
1.103	3	3	0.1539	0.15101	0.15346	0.0004077	0.000385905		2554.6	2550.5	12.124	10.9211	1.2025	1.1684
	3		0.1952	0.19162	0.19487	0.0003641		3.85905	2554.6	2550.7	15.383	14.249	1.1342	

Lampiran 5 : Tabel Sifat-sifat cairan dan uap jenuh

Tabel Sifat-sifat cairan dan uap jenuh

t, °C	Tekanan jenuh, kPa	Volume spesifik, m ³ /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 6 : Tabel Sifat-sifat termodinamika udara jenuh pada tekanan atmosfer
101,325 kPa

Tabel Lembab udara:² sifat-sifat termodinamik udara jenuh pada tekanan atmosfer
101,325 kPa.

$t, ^\circ\text{C}$	Tekanan gas, kPa	Perbandingan kelembaban, kg/kg	Volume spesifik, m^3/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 7 : Diagram Psychrometric.

