PENGARUH TEKANAN PENYEMPROTAN *LIQUID DESICCANT* TERHADAP EFISIENSI *DIRECT CONTACT DEHUMIDIFICATION SYSTEM*

SKRIPSI

KONSENTRASI KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan

memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun Oleh :

RUDI HENDAR RAHADIAN

NIM. 0510623060-62

KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2010

repository.ub.ac.id

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

PENGARUH TEKANAN PENYEMPROTAN *LIQUID DESICCANT* TERHADAP EFISIENSI *DIRECT CONTACT DEHUMIDIFICATION SYSTEM*

SKRIPSI

KONSENTRASI KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun Oleh :

RUDI HENDAR RAHADIAN
NIM. 0510623060-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing

Ir. Ari Wahjudi, MT.
NIP. 19680324 199412 1 001

repository.ub.ac
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

PENGARUH TEKANAN PENYEMPROTAN *LIQUID DESICCANT*

TERHADAP EFISIENSI

DIRECT CONTACT DEHUMIDIFICATION SYSTEM

Disusun oleh :

RUDI HENDAR RAHADIAN

NIM. 0510623060-62

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 3 Agustus 2010

DOSEN PENGUJI

Penguji Skripsi I

Ir. Suharto, MT.
NIP. 19531030 198212 1 001

Penguji Skripsi II

Ir. Made Gunadiarta, MT.
NIP. 19461001 197702 1 001

Penguji Komprehensif

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

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin

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

repository.ub.ac
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

KATA PENGANTAR

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

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

1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
2. Bapak Anindito Purnowidodo, ST., M.Eng., Dr.Eng., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
3. Bapak Ir. I Made Gunadiarta, MT., selaku Ketua Kelompok Dosen Konsentrasi Konversi Energi, yang telah banyak memberikan kritik dan saran yang konstruktif dalam penyusunan judul dan proposal skripsi ini.
4. Bapak Ir. Ari Wahjudi, MT., selaku Dosen Pembimbing , yang telah banyak memberikan masukan, bimbingan dan saran yang sangat bermanfaat dalam penyusunan skripsi ini.
5. Ayah, Ibu dan adik saya yang telah memberikan dukungan moril, nasehat dan doa yang sangat berarti sehingga dapat menyelesaikan skripsi dengan baik dan benar.
6. Ogap H Simanullang, Figur Kamajaya, Pramadi Arif dan Ricky Bayu selaku teman seperjuangan yang banyak sekali membantu dalam penyusunan skripsi ini.
7. Teman-teman asisten laboratorium Fluida lailatul, Feri, Figur, Rizal, Andri yang selalu ada untuk tempat diskusi.
8. Teman-teman kontrakan Candi Mendut VI B8 yang sangat banyak membantu dalam banyak hal.
9. Teman-teman M'OLIMO yang sangat kompak dan banyak membantu dalam kegiatan seminar dan lain-lain.

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

Malang, Juli 2010

Penulis

repository.ub.ac
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

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 *Dehumidifier* 4
2.2.1 *Chemical Adsorbment Dehumidifier* 5
2.2.2 *Dehumidifying Ventilators* 6
2.2.3 *Heat Pump Dehumidifier* 6
2.3 *Direct Contact Dehumudification System* 7
2.4 *Desiccant* Cair 8
2.5 *Spray Nozzle* 9
2.6 Fenomena Deformasi Fluida pada proses penyemprotan Liquid *Desiccant* 9
2.7 *Psycrometric* dan Diagram *Psycrometric* 11
2.8 Perpindahan Panas dan Massa pada *Direct Contact Dehumidifcation System* 14
2.8.1 Proses Difusi 14
2.8.2 Difusi Fluida yang Memiliki Beda Konsentrasi Besar 15
2.8.3 Kesetimbangan Kalor pada System 6

2.9 Efisiensti *Dirrect Contact Dehumidification System* 24
2.10 Hipotesa 25
BAB III METODOLOGI PENELITIAN
3.1 Metode Penelitian 26
3.2 Variabel Penelitian 26
3.3 Alat-alat Penelitian 27
3.4 Instalasi Penelitian 31
3.5 Tempat Penelitian 31
3.6 Prosedur Penelitian 31
3.7 Rancangan Penelitian 32
3.8 Diagram Alir Penelitian 34
BAB IV DATA DAN PEMBAHASAN
4.1 Analisa Data 35
4.1.1 Data Hasil Pengujian 35
4.1.2 Contoh Perhitungan 36
4.1.3 Data Hasil Penelitian 38
4.2 Pembahasan Grafik 40
4.2.1 Pembahasan Grafik Hubungan antara bukaan blower dengan efisiensi *direct contact dehumidification system* 40
4.2.2 Pembahasan Grafik Hubungan antara tekanan penyemprotan dengan efisiensi *direct contact dehumidification system* 43
4.3 Pengujian Hipotesa 44
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN
5.1 Kesimpulan 47
5.2 Saran 47
DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Tabel sifat –sifat larutan $CaCl_2$	8
Tabel 2.2	Hubungan droplet dengan spesifikasi nosel	9
Tabel 3.1	Rancangan penelitian data yang diperoleh	32
Tabel 3.2	Rancangan pengolahan data	33
Tabel 4.1	Tabel hasil pengambilan data yang diperoleh (pada tekanan penyemprotan = 20 psia)	35
Tabel 4.2	Tabel hasil pengambilan data yang diperoleh (pada tekanan penyemprotan = 40 psia)	35
Tabel 4.3	Tabel hasil pengambilan data yang diperoleh (pada tekanan penyemprotan = 60 psia)	36
Tabel 4.4	Tabel hasil pengambilan data yang diperoleh (pada tekanan penyemprotan = 20 psia)	38
Tabel 4.5	Tabel hasil pengambilan data yang diperoleh (pada tekanan penyemprotan = 40 psia)	39
Tabel 4.6	Tabel hasil pengambilan data yang diperoleh (pada tekanan penyemprotan = 60 psia)	39
Tabel 4.7	Tabel pengolahan data pengujian hipotesis pengaruh kecepatan udara inlet dan tekanan penyemprotan *liquid desiccant* terhadap efisiensi *direct contact dehumidification system*.	45
Tabel 4.8	Tabel analisis varian pengaruh kecepatan udara inlet dan tekanan penyemprotan *liquid desiccant* terhadap efisiensi *direct contact dehumidification system* (η).	46

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1.	*Chemical Adsorbent Dehumidifier*	5
Gambar 2.2.	*Dehumidifying Ventilators*	6
Gambar 2.3.	*Heat Pump Dehumidifier*	7
Gambar 2.4.	Diagram Kalor Spesifik Larutan $CaCl_2$	8
Gambar 2.5.	Proses *Atomization* pada Sebuah Droplet	10
Gambar 2.6.	Diagram *pshycometric*	11
Gambar 2.7.	Proses Difusi dengan Fluida yang Memiliki Beda Konsentrasi dan Kecepatan yang Besar	15
Gambar 2.8.	Kesetimbangan Kalor pada Dehumidifier	17
Gambar 2.9.	Kesetimbangan kalor pada *Humidifier* Bentuk *turbulator* yang dipakai dalam penelitian	15
Gambar 3.1.	Wind Tunnel	28
Gambar 3.2.	Inclined Manometer	29
Gambar 3.3.	Gelas Ukur	30
Gambar 3.4.	Heater	30
Gambar 3.5.	Instalasi Penelitian	30
Gambar 3.6.	Grafik Hubungan antara Bukaan Blower dengan(cm) terhadap efisiensi *direct contact dehumidification system*	33
Gambar 3.7.	Diagram Alir Penelitian	34
Gambar 4.1.	Grafik Hubungan Antara Bukaan Blower dengan Efisiensi *Direct Contact Dehumidification System*	40
Gambar 4.2	Grafik Hubungan antara tekanan penyemprotan dengan efisiensi *direct contact dehumidification system*	43

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1	Data pengujian dan hasil pengolahan pada tekanan penyemprotan 20 psia
Lampiran 2	Data pengujian dan hasil pengolahan pada tekanan penyemprotan 40 psia
Lampiran 3	Data pengujian dan hasil pengolahan pada tekanan penyemprotan 60 psia
Lampiran 4	Tabel A-1 : Sifat-sifat cairan dan uap jenuh
Lampiran 5	Tabel A-2 : Sifat-sifat termodinamika udara jenuh pada tekanan atmosfir 101,325 kPa
Lampiran 6	Tabel Sifat-sifat Larutan $CaCl_2$
Lampiran 7	Diagram Kalor Spesifik Larutan $CaCl_2$
Lampiran 8	Diagram *Psycrometric*
Lampiran 9	Tabel Uji F
Lampiran 10	Tabel Uji F (lanjutan)

repository.ub.ac

RINGKASAN

Rudi Hendar Rahadian, Agustus 2010, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, *Pengaruh Tekanan Penyemprotan Liquid Desiccant Terhadap Efisiensi Direct Contact Dehumidificamion System*, Dosen Pembimbing : **Ari Wahjudi**

Ilmu pengetahuan dan teknologi pada saat ini mengalami perkembangan pesat dimana salah satu tujuannya adalah untuk menciptakan suatu kondisi udara yang kelembabannya rendah untuk gudang penyimpanan. Alat tersebut biasa dikenal dengan istilah *dehumidifier* atau alat pengatur atau penambah kelembaban sedangkan sistem pengondisiannya disebut dengan *dehumidification system. Deumidifier* memiliki prinsip kerja dengan sistem pertukaran kalor kontak langsung (*direct contact heating principles*), dimana udara bertemperatur tinggi disinggungkan secara langsung dengan *liquid desiccant* sehingga alat ini disebut *direct contact dehumidifier*. Untuk meningkatkan proses dehumidifikasi yang terjadi bisa dengan berbagai cara, salah satunya adalah dengan memvariasikan tekanan penyemproan *liquid desiccant* yang disemprotkan ke udara.

Dalam penelitian ini digunakan metode eksperimental nyata. Pada penelitian ini digunakan kompersor sebagai alat bantu untuk memompakan *liquid desiccant* dari penampung yang akan disemprotkan melalui *spray nozzle* yang ada pada *spray gun*. Variasi tekanan penyemprotan yang digunakan adalah sebesar 40 psia; 60 psia dan 60 psia. Sedangkan variasi kecepatan udara yang diperoleh dari bukaan *blower* sebesar 5 cm; 6 cm; 7 cm; 8 cm; dan 9 cm.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar tekanan penyemprotan *liquid desiccant* maka transfer energinya semakin besar karena terjadi proses penyerapan uap air oleh *liquid desiccant.* Efisiensi tertinggi yaitu 74,66% didapat pada tekanan penyemprotan sebesar 40 psia dan bukaan blower 8 cm.

Kata kunci : Tekanan penyemprotan, *liquid desiccant*, efisiensi, *direct contact dehumidification system*

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

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 pengkondisian udara dapat diartikan sebagai proses perlakuan terhadap kondisi suatu udara untuk mengatur suhu, kelembaban dan proses pendistribusiannya sehingga dicapai kondisi nyaman yang dibutuhkan oleh penghuni yang berada di dalam suatu ruangan. Pada perkembangan berikutnya pengaturan kelembaban bukan hanya dipakai untuk kenyamanan belaka namun juga dipakai dalam berbagai proses seperti pengeringan. Sasaran utama yang hendak dicapai dalam pengkondisian udara adalah penurunan kelembaban, kelembaban relatif (35%). Udara dengan kelembaban tinggi, kuantitas uap airnya dalam udara sangat tinggi dan berpotensi menyebabkan korosi. Selain itu, udara yang lembab juga menyebabkan bakteri tumbuh subur sehingga dapat merusak kesehatan.

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

Pertimbangan-pertimbangan yang harus dimiliki oleh alat pengkondisi udara adalah hemat energi, tujuan pengkondisian udara terpenuhi dan yang paling penting adalah ramah lingkungan. Untuk itulah makanya perlu dicari solusi yang lebih baik sebagai alternatif untuk sistem penurunan kelembaban yang selain hemat energi juga ramah lingkungan.

Desiccant dehumidification system adalah alternatif yang layak dipakai saat ini. *Desiccant* adalah suatu zat yang memiliki sifat higroskopis yaitu dapat menyerap uap air yang terdapat dalam udara. Terdapat dua jenis *desiccant dehumidification system*, yaitu *liquid desiccant dehumidification system* dan *solid desiccant dehumidification system*. *Liquid desiccant dehumidification system* banyak digunakan karena lebih ekonomis dan mampu menghasilkan kapasitas udara yang besar. Contoh dari *liquid desiccant* antara lain LiCl, $CaCl_2$, dan LiBr.

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

Pada penelitian ini, kelembaban udara diturunkan dengan menyemprotkan *desiccant* menuju aliran udara. Alat yang digunakan adalah *wind tunnel* yang berfungsi untuk mengalirkan udara dari lingkungan menuju sistem dan *spray nozzle* untuk menyemprotkan *desiccant* sebagai penurun kelembaban udara. Proses penurunan kelembaban terjadi akibat adanya transfer massa (berupa uap air) dari udara ke *desiccant.* Perpindahan massa tersebut juga diikuti dengan transfer kalor.

Pada penelitian ini, tekanan penyemprotan *liquid desiccant* divariasikan karena secara tidak langsung akan meningkatkan massa alir dari *liquid desiccant.* Maka dari itu perlu dilakukan penelitian mengenai bagaimana pengaruh tekanan penyemprotan *liquid desiccant* terhadap efisiensi *direct contact dehumidification system*

1.2 Rumusan Masalah

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

Bagaimana pengaruh tekanan penyemprotan *liquid desiccant* terhadap efisiensi *direct contact dehumidification system* ?

1.3 Batasan Masalah

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

1. Fluida kerja adalah larutan $CaCl_2$ sebagai *liquid desiccant*.
2. Konsentrasi *liquid desiccant* adalah 50%
3. Temperatur *desiccant* sebesar 50 ^oC,
4. Tekanan penyemprotan yang dikontrol adalah sebesar 30 psia; 40 psia dan 50 psia
5. Variasi kecepatan diperoleh dari bukaan blower 5; 6; 7; 8 dan 9 cm.
6. Kondisi dianggap *steady state.*
7. Cara distribusi *liquid desiccant* dengan menggunakan *spray nozzle*.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh pengaruh tekanan penyemprotan *liquid desiccant* terhadap efisiensi *direct contact 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 transfer energi dan massa.
2. Sumbangan pemikiran dunia industri dalam mendesain *dehumidifier* untuk mendapatkan transfer energi dan massa yang besar dengan temperatur yang optimal.
3. 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, lju aliran *desiccant,*, 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.

2.2 *Dehumidifier*

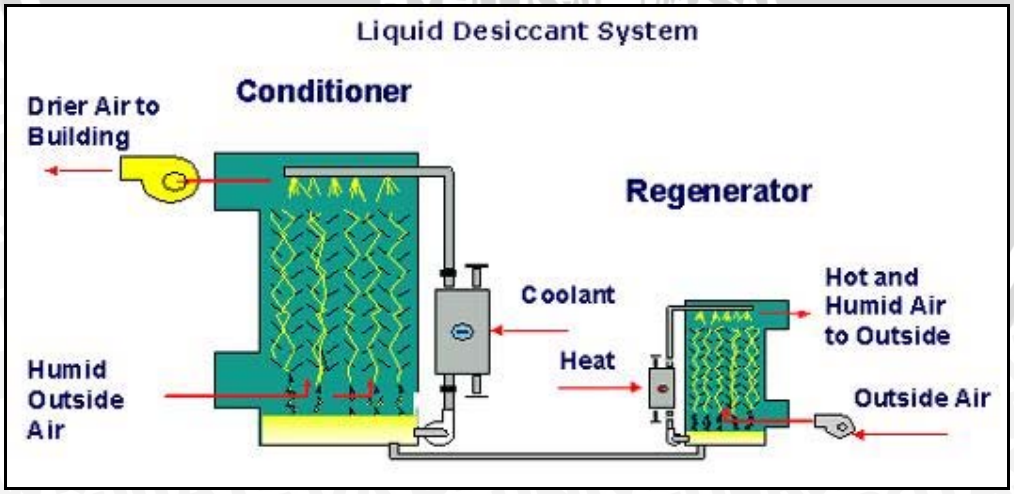
Dehumidifier merupakan kebanyakan perangkat rumah tangga yang berfungsi mengurangi tingkat kelembaban pada udara, biasanya karena alasan kesehatan, seperti udara lembab dapat menyebabkan jamur tumbuh di dalam rumah yang mana memiliki berbagai resiko kesehatan. *Dehumidifier* juga digunakan untuk menjaga 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 elektrostatik 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 ºC – 30 ºC. Ditinjau dari cara kerjanya, terdapat beberapa jenis *dehumidifier*, antara lain :

2.2.1 *Chemical Adsorbent Dehumidifier*

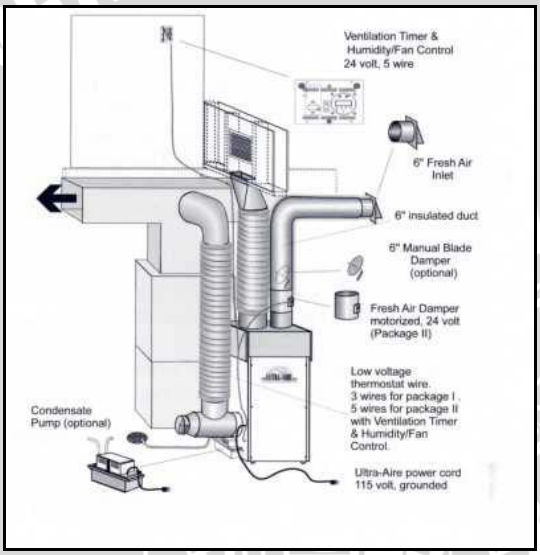
Jenis ini dirancang untuk iklim panas dan lembab. *Chemical Adsorbent Dehumidifier* (*CAD*) (Gambar 2.1) menyerap uap air dari udara menggunakan *desiccant*, yaitu sebuah zat pengering seperti *silica gel*. *Dehumidifier* ini membutuhkan lebih banyak energi dibanding *HPD*. Namun biayanya lebih efektif jika menggunakan gas alam untuk penukaran panas dan jika gas alam tersedia saat musim panas (www.discount-air-fan.wowshopper.com/htm-pages/how-does-dehumidifier-work.htm). *Dehumidifier* yang digunakan dalam penelitian ini merupakan salah satu dari jenis ini.



Gambar 2.1 : *Chemical Adsorbent Dehumidifier*
Sumber : www.eere_energy_gov-industry-distributedenergy-images.

2.2.2 *Dehumidifying Ventilators*

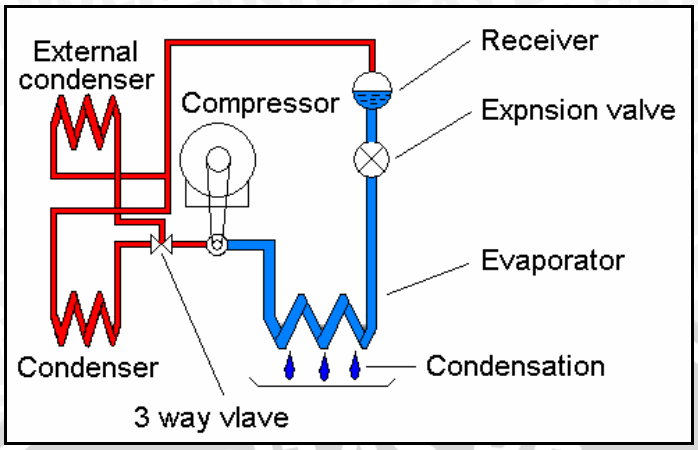
Alat ini (Gambar 2.2) memiliki sebuah *sensor-controller* dan kipas. *Sensor-controller* dapat diatur ketika kelembaban mencapai tingkat pengaturan. Sebuah *dehumidifying ventilators* sangat efektif jika sumber kelembaban berada di ruang bawah tanah. *Dehumidifier* ini tidak dapat mengondisikan panas 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/htm-pages/how-does-dehumidifier-work.htm).



Gambar 2.2 : *Dehumidifying Ventilators*
Sumber : www.chicagolandunique.com/santafe.html

2.2.3 *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 2.3) 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 2.3 : *Heat Pump Dehumidifier*
Sumber : www.nt.ntnu.no

2.3 *Dirrect Contact Dehumidification System*

Dirrect Contact Dehumidification System merupakan suatu sistem penurunan kelembaban udara yang menggunakan *desiccant* sebagai media penyerap uap air dalam udara dengan system pemindahan panas secara langsung,antara *liquid dessicant* dengan 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 *Dirrect Contact Dehumidification System*, yaitu *solid* dan *liquid Dirrect Contact Dehumidification System*. 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* menyerap uap air melalui reaksi kimia maupun perubahan fisik(www.masstech.org/renewableenergy/public_policy/DG/resources/2005-DGMD-Nayak-2957.pdf). *Liquid Dirrect Contact Dehumidification System* lebih banyak digunakan karena *desiccant* yang digunakan lebih mudah didapat, harganya lebih ekonomis dan mampu menghasilkan kapasitas udara yang besar dibanding dengan *Solid Dirrect Contact Dehumidification System.*

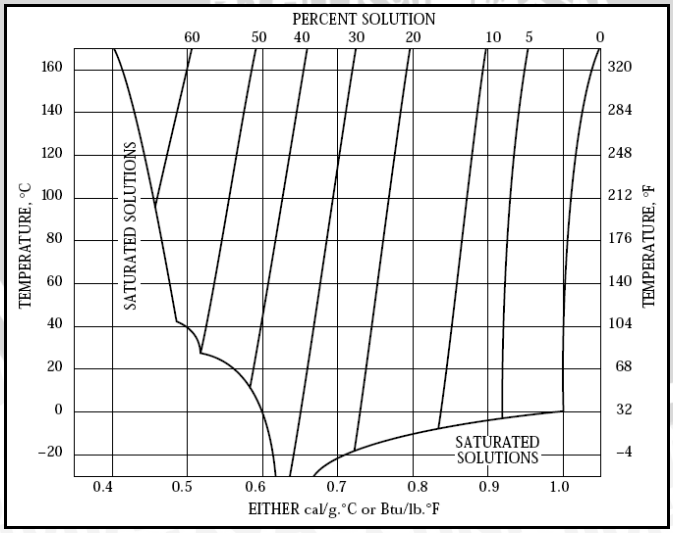
2.4 *Desiccant* cair

Desiccant cair yang biasa digunakan adalah larutan LiCl (*Lithium Chloride*), LiBr (*Lithium Bromide*), $CaCl_2$ (*Calcium Chloride*) atau TEG (*Triethylene Glycol*). *Desiccant* memiliki tekanan parsial uap air yang lebih rendah daripada udara proses sehingga mampu menyerap uap air dari udara proses. Dalam penelitian ini, *desiccant* yang digunakan adalah larutan $CaCl_2$ 50% dengan basis massa. Artinya bahwa dalam 1 kg larutan *desiccant* terdapat 0,5 kg $CaCl_2$. Cara pembuatannya adalah dengan melarutkan tiap 0,5 kg $CaCl_2$ *anhydrous* dengan pelarut berupa air sebanyak 0,5 kg. Adapun sifat-sifat beberapa larutan $CaCl_2$ dijelaskan pada Tabel 2.1 dan Gambar 2.4 di bawah ini.

Tabel 2.1 : Tabel sifat-sifat larutan $CaCl_2$.

Property	$CaCl_2 \cdot 6H_2O$	$CaCl_2 \cdot 4H_2O$	$CaCl_2 \cdot 2H_2O$	$CaCl_2 \cdot H_2O$	$CaCl_2$
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)	29.9	45.3	176	187	773
(°F)	85.8	113.5	349	369	1424
Boiling Point[2] (°C)	—	—	174	183	1935
(°F)	—	—	345	361	3515
Density at 25°C (77°F), g/cm³	1.71	1.83	1.85	2.24	2.16
Heat of Fusion (cal/g)	50	39	21	32	61.5
(Btu/lb)	90	70	38	58	110.6
Heat of Solution[3] in H_2O (cal/g)	17.2	–14.2	–72.8	–96.8	–176.2
(to infinite dilution) (Btu/lb)	31.0	–25.6	–131.1	–174.3	–317.2
Heat of Formation[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

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



Gambar 2.4 : Diagram Kalor Spesifik Larutan $CaCl_2$
Sumber : www.dynalene.com/pdf/CalciumChloridHandbook.pdf

2.5 *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 nosel menjadi energi kecepatan fluida keluar nosel.

Spray nozzle merupakan salah satu jenis dari nosel 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. Hal ini dapat dilihat pada tabel 2.2 berikut ini

Tabel 2.2 Hubungan *Droplet* Dengan Spesifikasi Nosel

Ukuran droplet	***Orifice nozzle***	**Sudut *spray***	**Kecepatan aliran fluida**
Semakin kecil	Semakin kecil	Semakin besar	Semakin besar
Semakin besar	Semakin besar	Semakin kecil	Semakin kecil

Pada *spray nozzle* massa alir dari *liquid desiccant* yang disemprotkan akan semakin besar, hal tersebut disebabkan luas penampang pada ujung *spray nozzle* yang semakin mengecil hal tersebut dapat diketahui dari hukum kekekalan energi yaitu.

$$P_1 + 1/2\rho\ V_1^2 = P_2 + 1/2\rho\ V_2^2 \qquad (2.1)$$

Dimana :

P_1 = Tekanan Penyemprotan *liquid desiccant* (atm)

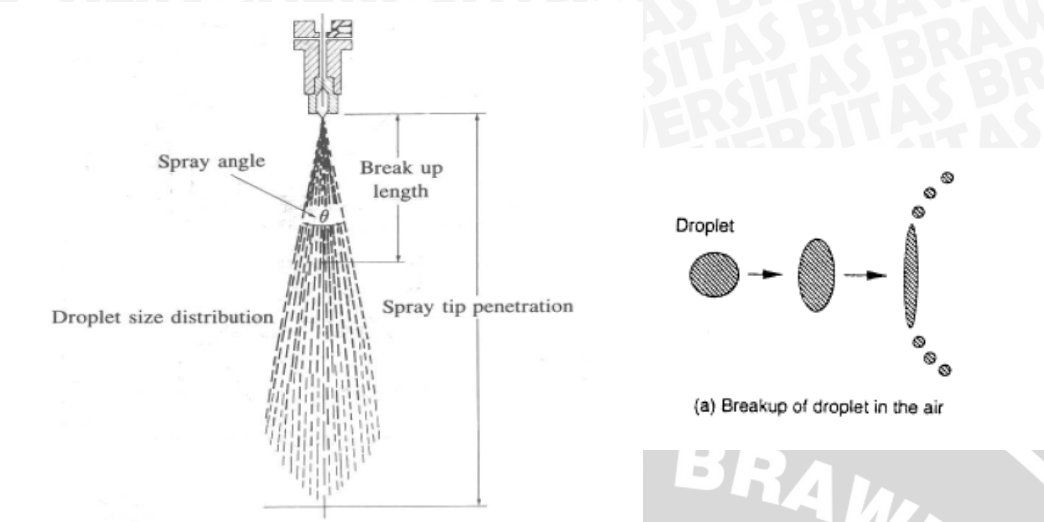
V_1 = Kecepatan *liquid desiccant* sebelum disemprotkan (m/s)

P_2 = Tekanan udara sekitar (atm)

V2 = kecepatan *liquid desiccant*setelah disemprotkan (m/s)

2.6 Fenomena Deformasi fluida Pada Proses Penyemprotan *Liquid Desiccant*

Ketika sebuah *droplet* bergerak dengan kecepatan tertentu maka sangat besar kemungkinan terjadinya proses pemecahan *droplet* (*break up*) menjadi partikel-partikel yang berukuran lebih kecil lagi. Hal ini dapat dilihat dari model pemecahan *droplet* seperti halnya yang ditunjukkan oleh gambar 2.5 dibawah ini:



Gambar 2.5 : Proses *Atomization* Pada Sebuah *Droplet*

Sumber: Ken Naitoh, *Cytofluid Dynamic Theory of Fuel Atomization Processes*, 1998

Mekanisme pemecahan *droplet* sendiri sangat dipengaruhi oleh *Weber number* yang dirumuskan sebagai berikut:

$$We = \frac{\rho . U^2 . d}{\sigma} = \frac{gaya\ dinamik}{tegangan\ permukaan}$$ (Kuo, 1986) (2.2)

Dimana:

ρ_f = densitas gas sekeliling ($^{kg}/_{m^3}$)

σ = tegangan permukaaan *droplet* ($^{N}/_{m}$)

U = kecepatan relative *droplet* dengan gas sekitar ($^{m}/_{s}$)

d = diameter *droplet* (m)

Disini terlihat bahwa *Weber number* sangat berpengaruh terhadap proses pemecahan cairan menjadi partikel *droplet* dimana semakin tinggi nilai *Weber number* maka gaya dinamik yang berfungsi untuk memecah cairan menjadi partikel-partikel *droplet* dan semakin dominan pula jika dibandingkan dengan nilai tegangan permukaannya yang cenderung bersifat mengikat cairan agar tidak terdeformasi. Sedangkan untuk kecepatan dari fluida yang melewati nosel dirumuskan dengan persamaan:

$$U = (2\Delta p\ Cd/\rho_f)^{1/2}$$ (Komiyama , 1977) (2.3)

Dimana :

U = kecepatan fluida ($^{m}/_{s}$)

Δp = perbedaan tekanan ($^{N}/_{m^2}$)

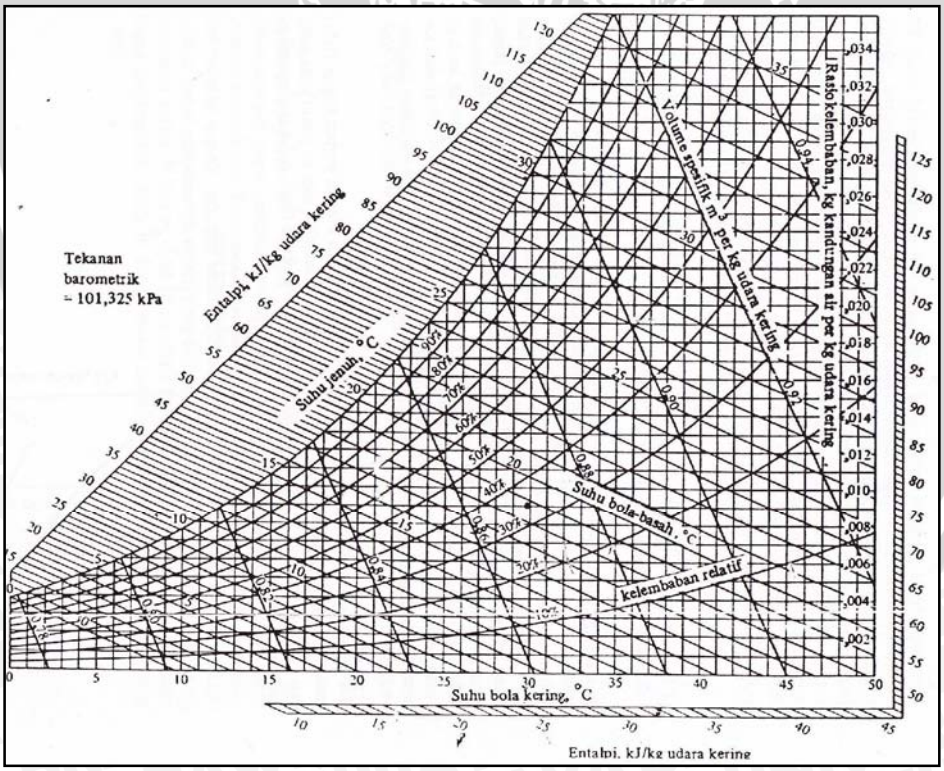
C_d = *Discharge coefficient*, bernilai 0.6 ~1

ρ_f = densitas fluida ($^{kg}/_{m^3}$)

Sehingga terlihat dengan semakin tingginya perbedaan tekanan maka akan menyebabkan nilai kecepatan dari cairan saat meninggalkan nosel akan meningkat pula.

2.7 *Psycrometric* dan Diagram *Psycrometric*

Psycrometric 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*.



Gambar 2.6 : Diagram *Psycrometric*
Sumber : www.fao.org/docrep/S1250E/S1250EEW.GIF

Diagram psikrometri (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.

Berikut ini parameter-parameter udara yang terdapat pada diagram psikrometri :

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 rumuskan sebagai berikut:

$\Phi = P_v/P_{sat}$ (El-Wakil, 1992 : 284) (2-4)

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 :

$\omega = m_v/m_a$ (El- Wakil, 1992 : 266) (2-5)

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

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

$$\omega = \frac{P_v R_a}{(P - P_v) R_v} \qquad (2\text{-}6)$$

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

$\omega = 0{,}622\ P/(p-p_v)$ (Kulshrestha, 1989 : 422) (2-7)

dimana :

ω = kelembaban absolut (kg uap air/kg 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 :

$$h = C_p T_C + \omega h_g \qquad \text{(Stoecker, 1992 : 42)} \qquad (2\text{-}8)$$

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

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

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

2.8 Perpindahan Panas dan Massa pada *Direct Contact Dehumidification System*

Pada *direct contact dehumidification system* terjadi perpindahan panas dan massa, untuk dapat mengetahui jumlah perpindahan massa dan energi maka kita perlu diketahui beberapa hal, antara lain :

2.8.1 Proses Difusi

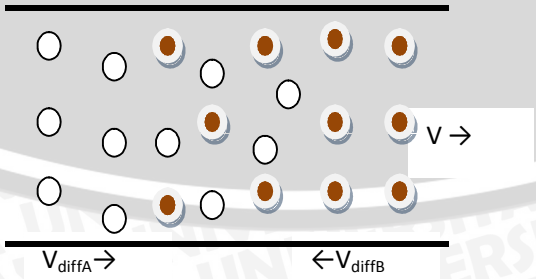
Bila udara kering pada temperatur konstan dijenuhkan oleh air pada temperatur yang sama pada alat perpindahan kalor kontak langsung (*direct contact heat transfer)*, uap air memasuki udara dengan membawa kalor latennya untuk penguapan. Kelembaban campuran udara-uap air meningkat selama penjenuhan. Hal 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 perpindahaan massa (untuk memisahkannya dengan konsep perpindahan panas). Pada sebuah sistem dengan fase tidak homogen, maka akan memungkinkan terjadinya difusi sendiri (*self-diffusion*) sampai fase mendekati homogen.

2.8.2 Difusi fluida yang memiliki beda konsentrasi dan kecepatan besar

Pada sistem ini (Gambar 2.6), terjadi proses difusi molekul dan konveksi. Kecepatan masing-masing zat sama dengan jumlah antara kecepatan pergerakan volume dan kecepatan difusi. Kecepatan aliran dan kecepatan difusi dapat searah atau berlawanan arah tergantung pada gradien konsentrasi. Kecepatan difusi akan bernilai negatif ketika aliran volume pada arah x positif dan gradien konsentrasi bernilai positif.



Gambar 2.7 : Gambar proses difusi dengan fluida yang memiliki beda konsentrasi dan kecepatan yang besar.
Sumber : Cengel, 1998 : 651

Keterangan:

● = fluida A

○ = fluida B

Pada sistem tersebut berlaku :

$$\rho_A \neq const$$

$$\rho_B \neq const$$

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

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

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

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

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

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

$$V = V$$

(Cengel, 1998: 651) (2-9)

Dimana :

ρ_A = massa jenis fluida A (kg/m^3)

ρ_B = massa jenis fluida B (kg/m^3)

ρ = massa jenis fluida campuran (kg/m^3)

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

$\dot{m}_B$ = laju massa alir fluida B (kg/s)

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

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

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

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

v = volume campuran antara udara dengan uap air (m^3)

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

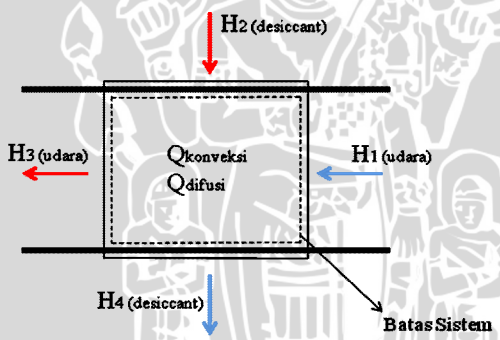
$$V = \frac{\rho_A V_A + \rho_B V_B}{\rho_m}$$

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

$$V = w_A V_A + w_B V_B \qquad \text{(Cengel, 1998: 651)} \qquad (2\text{-}10)$$

2.8.3 Kesetimbangan 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 2.9 menunjukkan kesetimbangan kalor yang terjadi di dalam *dehumidifier*.



Gambar 2.8 : Kesetimbangan kalor pada *Dehumidifier*

Keterangan :

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

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

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

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

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

a. Perpindahan Kalor Difusi (q_d)

Perpindahan kalor ini terjadi antara udara dengan *desiccant*, dimana udara bercampur dengan pertikel *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.

Dengan memvariasikan bukaan blower, berarti kecepatan udara antara bukaan satu dengan yang lain berbeda. Semakin besar kecepatan udara maka bilangan *Reynold* akan semakin meningkat karena kecepatan udara berbanding lurus dengan bilangan *Reynold*, dimana dapat dirumuskan :

$$\mathrm{Re} = \frac{V d_H}{\nu} \qquad \text{(Holman, 1984 : 174)} \quad (2\text{-}11)$$

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

$$Nu = C\,\mathrm{Re}^m\,\mathrm{Pr}^n \qquad \text{(Holman, 1984 : 230)} \quad (2\text{-}12)$$

$$Nu = \frac{h d_H}{k} \qquad \text{(Holman, 1984 : 212)} \quad (2\text{-}13)$$

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 :

$q = h.A.\Delta T$ (Holman, 1984 : 229) (2-14)

dimana :

Re = bilangan *Reynold*

V = kecepatan udara (m/s)

d_H = diameter hidrolik

C,m,n = konstanta

Pr = bilangan *Prandlt*

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 sebagi berikut :

∑ Kalor keluar :

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

Sehingga dapat disimpulkan :

∑Kalor keluar = ∑ Kalor masuk

$H_3 + H_4 = H_1 + H_2$ (2-15)

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

$h = C_p T_C + \omega h_g$ (Stoecker, 1992 : 42) (2-16)

Sehingga nilai energi kalor udara masuk dihitung dengan rumus :

$H_1 = \dot{m}_{a1}\left(C_p T_1 + \omega_1 h_{g1}\right)$ (Stoecker, 1992 : 42) (2-17)

Keterangan :

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

T_1 = temperatur udara inlet (˚C)

ω_1 = kelembaban absolut udara inlet (%)

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

Nilai kalor udara keluar dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$H_3 = \dot{m}_{a3}\left(C_p T_3 + \omega_3 h_{g3}\right)$$ (Stoecker, 1992 : 42) (2-18)

dimana :

$\dot{m}_{a3}$ = laju massa alir udara kering yang keluar dari sistem (kg/s)

T_3 = temperatur udara keluar (˚C)

ω_3 = kelembaban absolut udara keluar (%)

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

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

$$\dot{m}_{a1} = \dot{m}_{a3} = \dot{m}_a$$ (2-19)

$\dot{m}_a$ merupakan laju massa alir udara kering, dimana nilainya dapat dihitung dengan rumus:

$$\omega = \frac{\dot{m}_v}{\dot{m}_a}$$ (Stoecker,1992 : 41) (2-20)

$$\omega \times \dot{m}_a = \dot{m}_v$$ (2-21)

$$\dot{m} = \rho \times V \times A$$ (Cengel,1994 : 98) (2-22)

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

$$\dot{m} = \dot{m}_a + \dot{m}_v$$

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

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

$$\dot{m}_a = \frac{\dot{m}}{(1+\omega)} \qquad (2\text{-}23)$$

Keterangan :

ω = kelembaban absolut campuran udara dan uap air (%)

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

$\dot{m}_a$ = laju massa alir udara kering (kg/s)

$\dot{m}_v$ = laju massa alir uap air (kg/s)

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

ρ = massa jenis campuran udara dan uap air

Sedangkan V, kecepatan campuran antara udara dan uap air, diperoleh dari rumus :

$$V = c \times \sqrt{2gh} \qquad (2\text{-}24)$$

$$V = c \times \sqrt{2g\frac{\Delta P}{\gamma}} \qquad (2\text{-}25)$$

$$V = c \times \sqrt{2g\frac{\rho_{MINYAK}.g.h_{MINYAK}}{g\rho_{udara}}} \qquad (2\text{-}26)$$

$$V = c \times \sqrt{2g\frac{\rho_{air}SG_{MINYAK}(z\sin 3{,}75/1000)}{\rho_{udara}}} \qquad (2\text{-}27)$$

dimana :

c = konstanta tabung pitot (0,85)

ΔP = beda tekanan rata-rata fluida.

γ = berat jenis udara dan uap air pada saat pengujian

ρ_{minyak} = massa jenis minyak pada manometer

z = beda tekanan yang diukur oleh tabung pitot (mm minyak manometer)

ρ_{udara} = massa jenis udara outlet (campuran antara air dan uap air)

SG_{minyak} = *spesific gravity* (0,826)

H_2 dan H_4 masing-masing dihitung dengan rumus :

$$H_2 = \dot{m}_2 \times h_2 \qquad (2\text{-}28)$$

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

$$H_2 = H_d + H_w$$

$$H_2 = \left(\dot{m}_2 .h_d\right) + \left(.\dot{m}_2 .h_w\right)$$

$$H_2 = \left(\dot{m}_2 .Cp_d .T_2\right) + \left(\dot{m}_2 .Cp_w .T_2\right)$$

$$H_2 = \dot{m}_2 .T_2 .(Cp_d + Cp_w) \qquad (2\text{-}29)$$

Keterangan :

H_d = energi yang dikandung *liquid desiccant* (watt)

H_w = energi yang dikandung air (watt)

h_d = entalpi *liquid desiccant* (J/kg)

h_w = entalpi air (J/kg)

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

T_2 = temperatur *liquid desiccant* inlet (^oC)

Cp_d = kalor spesifik *liquid desiccant*

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

$$H_4 = \dot{m}_4 \times h_4 \qquad (2\text{-}30)$$

$$H_4 = H_d + H_w$$

$$H_4 = \left(\dot{m}_4 . h_d\right) + \left(\dot{m}_4 . h_w\right)$$

$$H_4 = \left(\dot{m}_4 . Cp_d . T_4\right) + \left(\dot{m}_4 . Cp_w . T_4\right)$$

$$H_4 = \dot{m}_4 . T_4 . (Cp_d + Cp_w) \qquad (2\text{-}31)$$

Keterangan :

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

T_4 = temperatur *desiccant* outlet (^oC)

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

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

$$\dot{m}_4 = \rho_{desiccant} \times \dot{Q}_4 \qquad (2\text{-}32)$$

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 :

$$H_1 + H_2 = H_3 + H_4$$

$$\dot{m}_{a1}\left(C_p T_1 + \omega_1 h_{g1}\right) + \frac{\dot{m}_2 . T_2}{2}(Cp_d + Cp_w) = \dot{m}_{a3}\left(C_p T_3 + \omega_3 h_{g3}\right) + \frac{\dot{m}_4 . T_4}{2}(Cp_d + Cp_w)$$

(2-33)

Nilai *transfer* energi dihitung dengan persamaan :

$\Delta H = H_3 - H_1 = H_4 - H_2$ (2-34)

2.9 Efisiensi *Direct Contact Dehumidification System*

Efisiensi merupakan perbandingan antara kerja yang dihasilkan dengan energi yang dikorbankan. Dalam sebuah sistem efisiensi disebut juga sebuah keadaan aktual disbanding keadaan teoritis. Sedangkan efisiensi dalam dehumidifier sendiri dapat dilihat dari kemampuan *liquid desiccant* menyerap uap air yang dapat dilihat dari jumlah kalor yang diserap saat kontak langsung dengan udara dibanding dengan kemampuan maksimal *liquid desiccant* dalam menyerap uap air.

Efisiensi dari *liquid desiccant dehumidification system* dapat dilihat dari efektifitas perpindahan panas dalam sebuah sistem. Efektifitas perpindahan panas adalah perbandingan antara perpindahan panas yang terjadi dibanding dengan kemampuan maksimal fluida dalam memindahkan panas.

NTU = perpindahan panas aktual : perpindahan panas maksimal

$$\text{NTU} = \frac{U.A.\Delta T}{m.Cp.\Delta T}$$

Jadi, karena U.A.ΔT = ΔH maka :

$$\text{NTU} = \frac{\Delta H}{m(des).Cp(des).\Delta T} \qquad (2\text{-}35)$$

dimana :

ΔH = Nilai transfer energi actual (watt)

m_{des} = Laju massa alir *liquid desiccant* (Kg/s)

Cp_{des} = Kalor spesifik *liquid desiccant* (kJ/kg. K)

ΔT = Perbedaan temperatur *liquid desiccant* (^{o}C)

Sedangkan Efisiensi dari *direct contact dehumidification system* dapat diketahui dari :

$$\eta = 1 - e^{-NTU} \qquad \text{(Holman,1992 : 564)} \quad (2\text{-}36)$$

dimana :

NTU = Number of transfers unit

η = Efisiensi perpindahan panas (%)

2.9 Hipotesa

Variasi tekanan penyemprotan *liquid desiccant* akan menyebabkan laju massa alir *liquid desiccant* semakin besar dan ukuran droplet *liquid desiccant* menjadi lebih kecil sehingga meningkatkan nilai perpindahan panas antara *liquid desiccant* dengan udara secara konveksi dan difusi, akibatnya efisiensi dari *direct contact dehumidification system* juga semakin meningkat.

repository.ub.ac
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

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* pada bukaan *blower* sebesar 5 cm; 6 cm; 7 cm; 8 cm dan 9 cm.

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 :

- Efektifitas perpindahan panas dari *liquid desiccant dehumidification system*
- Efisiensi *direct contact dehumidification system*

3. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol pada penelitian ini nilainya dikonstankan selama penelitian dilakukan. Variabel yang dikontrol dalam penelitian ini adalah tekanan penyemprotan *liquid desiccant*, divariasikan masing-masing sebesar 2 atm,4 atm dan 6 atm.

3.3 Alat-alat Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari :

1. *Wind tunnel*

Wind tunnel (Gambar 3.1) merupakan suatu alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan aliran udara yang mengalir di dalamnya. Kecepatan udara dapat dihitung melalui beda tekanan yang diukur dengan *inclined manometer*. Dimana kecepatan udara dapat dihitung dengan rumus :

$$V = c \times \sqrt{2gh}$$

$$V = c \times \sqrt{2g\frac{\Delta P}{\gamma}}$$

$$V = c \times \sqrt{2g\frac{\rho_{MINYAK}.g.h_{MINYAK}}{g.\rho_{udara}}}$$

$$V = c \times \sqrt{2g\frac{\rho_{air}.SG_{MINYAK}(z.\sin 3{,}75/1000)}{\rho_{udara}}}$$

dimana :

c = Konstanta tabung pitot (0,85)

ΔP = Beda tekanan rata-rata fluida yang diukur oleh tabung pitot

γ = Berat jenis udara dan uap air pada saat pengujian

ρ_{air} = Massa jenis air (1000 kg/m^3)

ρ_{minyak} = Massa jenis minyak pada manometer

z = beda tekanan yang diukur oleh tabung pitot (mm minyak manometer)

ρ_{udara} = Massa jenis udara outlet (campuran antara air dan uap air)

SG_{minyak} = *spesific gravity* (0,826)

sedangkan ρ_{udara} dapat kita peroleh dari tabel uap air.

Gambar 3.1 : *Wind Tunnel*

2. *Drift Eliminator*

Drift eliminator digunakan untuk mencegah *droplet- droplet desiccant* atau air agar tidak terbawa 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 elektris berupa tegangan.

b. Peralatan pendukung

- *Digital Multimeter*

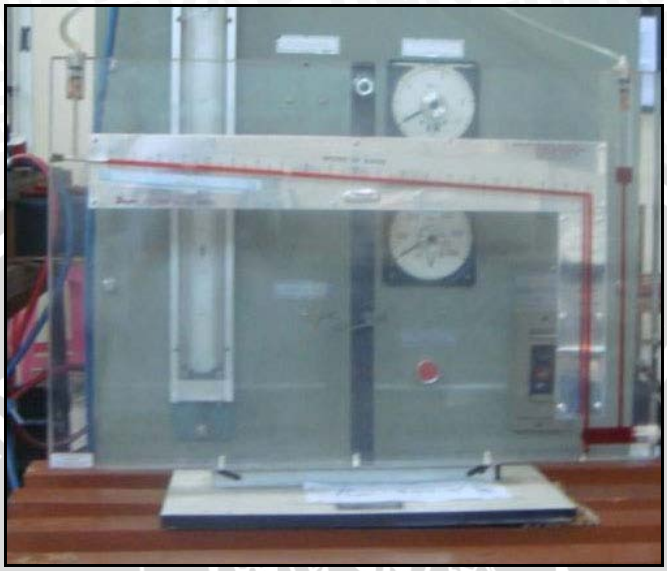
Alat ini berfungsi untuk mengubah data *analog* dari *termocouple* menjadi temperatur dengan tampilan *digital*.

- *Thermocontroller*

Fungsi dari alat ini adalah memutus arus listrik yang mengalir pada *heater* secara otomatis ketika heater sudah mencapai temperature yang diinginkan sehingga menyebabkan temperatur dari suatu sistem akan cenderung konstan. Pada penelitian ini, *thermocontroller* berfungsi untuk mengontrol temperatur dari *liquid desiccant* dan udara masuk.

4. *Inclined Manometer*

Pada prinsipnya *inclined manometer* (Gambar 3.2) digunakan untuk mengukur beda tekanan udara *inlet* yang ditunjukkan oleh perbedaan ketinggian cairan, yang selanjutnya digunakan untuk menentukan kecepatan udara *inlet*.



Gambar 3.2 : *Inclined Manometer*

5. Kompresor

Kompresor digunakan untukmemvariasikan tekanan penyemprotan, tekanan yang diberikan kompresor digunakan untuk mendorong *liquid desiccant* pada *spray gun.*

6. *Spray Gun*

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

7. 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* (m^3/detik)

V = volume *desiccant* (m^3)

t = waktu (detik)

Gambar 3.3 : Gelas Ukur

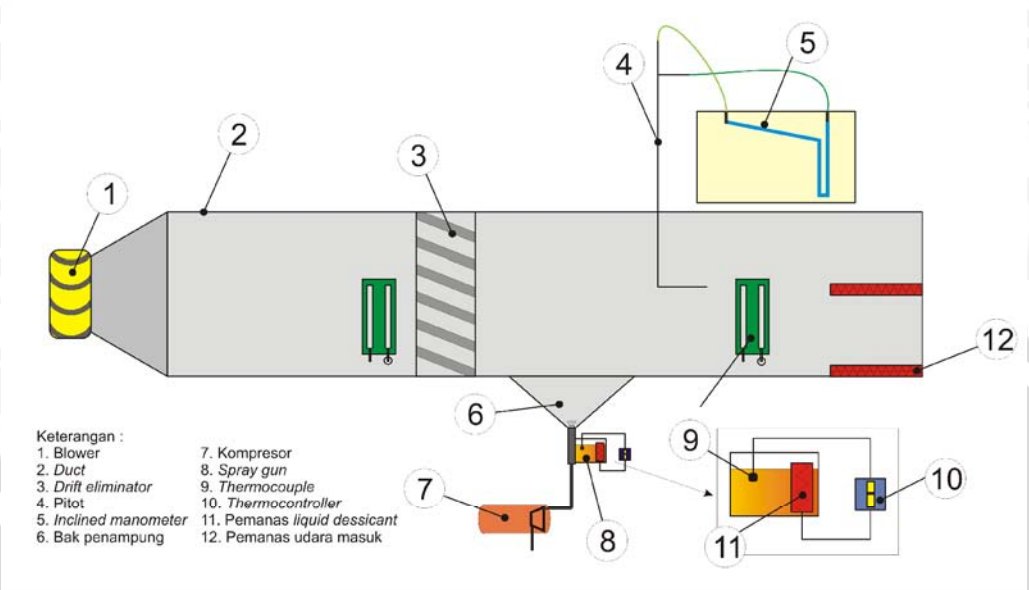
8. *Heater*

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*

3.4 Instalasi Penelitian

Gambar 3.5 menjelaskan instalasi penelitian beserta keterangannya dan beberapa alat pendukungnya.



Gambar 3.5 : Instalasi Penelitian

3.5 Tempat Penelitian

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

3.6 Prosedur penelitian

Persiapan meliputi :

1. Menyiapkan instalasi penelitian dengan berbagai variasi bukaan katup blower.
2. Memanaskan *liquid desiccant* 50 ºC.
3. Mengatur tekanan penyemprotan sebsear 30 psia
4. Pengecekan kondisi alat ukur meliputi manometer dan sensor beserta alat pendukungnya.
5. Ulangi langkah 1 sampai 3 untuk setiap pengesetan tekanan penyemprotan *liquid desiccant* sebesar 40 psia dan 50 psia.

Pelaksanaan percobaan :

1. Memasang semua instalasi penelitian pada *wind tunnel* dengan temperatur *liquid desiccant* sebesar 50 ^{o}C.
2. Menghidupkan pompa dan mengatur tekanan penyemprotan *liquid desiccant* sebesar 30 psia
3. Hidupkan blower dengan bukaan 5 cm.
4. Setelah keadaan mencapai kondisi *steady*, pengambilan data dapat dilakukan.
5. Mengambil data temperatur udara masuk, temperatur udara keluar dan perbedaan tekanan udara keluar pada *inclined manometer*.
6. Mengulangi langkah 2 sampai 4 pada variasi bukaan blower sebesar sebesar 6 cm; 7 cm; 8 cm dan 9 cm untuk mendapatkan kecepatan udara inlet yang berbeda.
7. Mengulangi langkah 2 sampai 5 pada tekanan penyemprotan *liquid desiccant* sebesar 40 psia dan 50 psia.
8. Data diolah, kemudian dianalisa pengaruh tekanan penyemprotan *liquid desiccant* ($CaCl_2$) terhadap efisiensi *direct contact dehumidification system*. 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.

3.7 Rancangan Penelitian

Model rancangan penelitian ini melibatkan satu variabel yaitu variasi kecepatan udara terhadap efisiensi *thermal* dari *liquid desiccant dehumidification system*.

Tabel 3.1 : Rancangan Penelitian Data yang Diperoleh

Tekanan penyemprotan *liquid desiccant* = ... atm

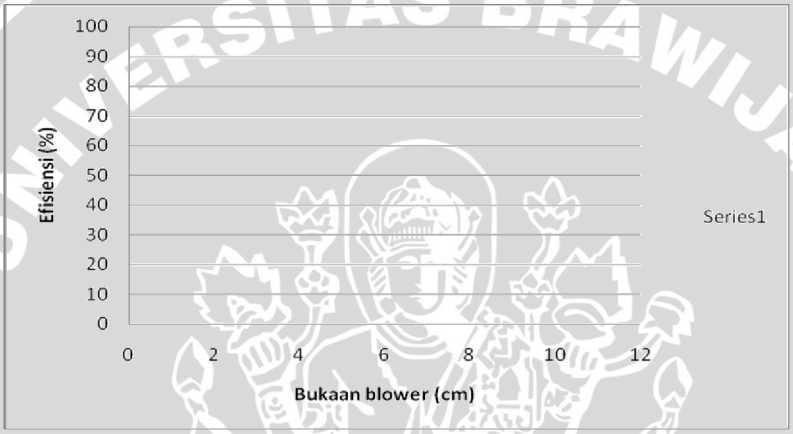
Bukaan Blower (cm)	**$T_{d\ in}$ (°C)**	**$T_{w\ in}$ (°C)**	**$T_{d\ out}$ (°C)**	**$T_{w\ out}$ (°C)**	**Z (mm minyak manometer)**
5					
6					
7					
8					
9					

Tabel 3.2 : Pengolahan Data

Tekanan penyemprotan *liquid desiccant* = ... atm

Bukaan Blower (cm)	**V_1 (m/s)**	**η_{th} (%)**
5		
6		
7		
8		
9		

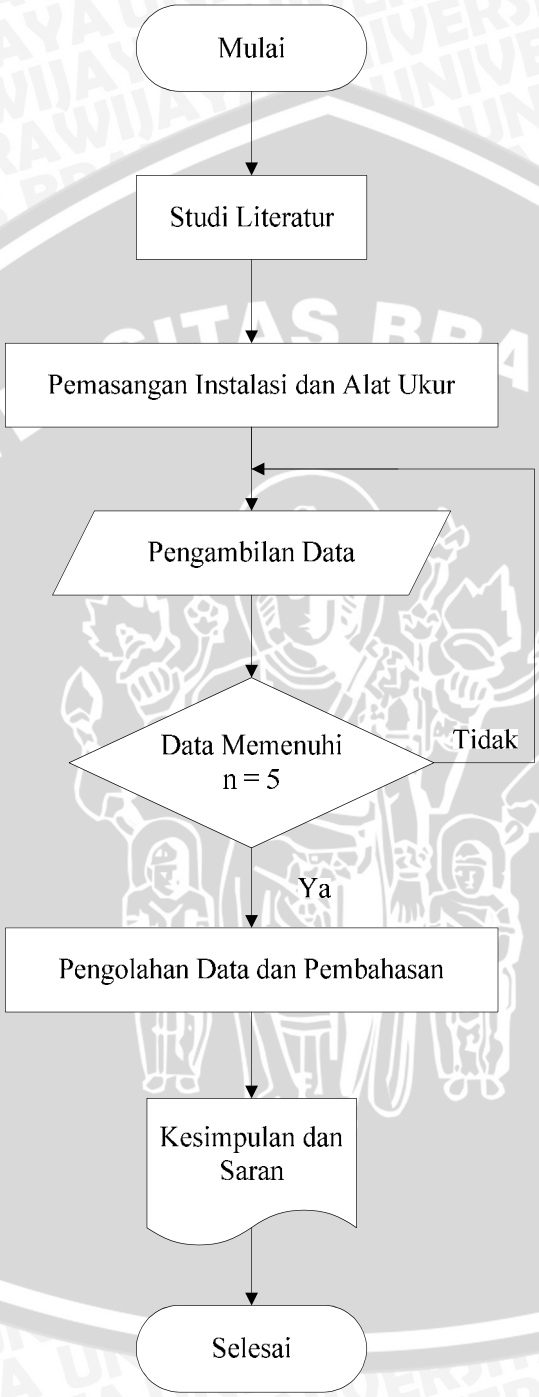
Grafik Hubungan Antar Variabel



Gambar 3.6 : Grafik Hubungan Antara Bukaan Blower (cm) terhadap Efisiensi *Dirrect contact dehumidification system* (η)

3.8 Diagram Alir Penelitian

Gambar 3.7, diagram alir penelitian, menunjukkan alur dari proses penelitian.



Gambar 3.7 : Diagram Alir Penelitian

BAB IV
DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

4.1.1 Data hasil pengujian

Berikut ini adalah data hasil pengujian pengaruh kecepatan udara terhadap transfer energi dan massa pada *direct contact dehumidification system* :

Tabel 4.1 Tabel Hasil Pengambilan Data yang Diperoleh

Tekanan penyemprotan = 20 psia

bukaan blower (cm)	$T_{d\ in}$ (^oC)	$T_{w\ in}$ (^oC)	$T_{d\ out}$ (^oC)	$T_{w\ out}$ (^oC)	$T_{des\ in}$ (^oC)	$T_{des\ out}$ (^oC)	Z (mm minyak manometer)
5	36	34	33	30	50	39	3
6	36	34	33	30	50	38	3.5
7	36	33	32	29	50	38	4
8	36	33	32	29	50	36	5
9	36	33	32	28	50	35	5.5

Tabel 4.2 Tabel Hasil Pengambilan Data yang Diperoleh

Data yang Diperoleh

Tekanan penyemprotan = 40psia

bukaan blower (cm)	$T_{d\ in}$ (^oC)	$T_{w\ in}$ (^oC)	$T_{d\ out}$ (^oC)	$T_{w\ out}$ (^oC)	$T_{des\ in}$ (^oC)	$T_{des\ out}$ (^oC)	Z (mm minyak manometer)
5	36	34	33	31	50	43	3
6	36	33	33	30	50	43	3.5
7	36	33	33	29	50	42	4
8	36	33	32	28	50	41	5
9	36	32	32	28	50	40	5.5

Tabel 4.3 Tabel Hasil Pengambilan Data yang Diperoleh

Data yang Diperoleh

Tekanan penyemprotan = 60 psia

bukaan blower (cm)	$T_{d\ in}$ (^oC)	$T_{w\ in}$ (^oC)	$T_{d\ out}$ (^oC)	$T_{w\ out}$ (^oC)	$T_{des\ in}$ (^oC)	$T_{des\ out}$ (^oC)	Z (mm minyak manometer)
5	36	34	33	29	50	41	3
6	36	33	33	29	50	40	3.5
7	36	33	33	29	50	39	4
8	36	32	32	28	50	38	5
9	36	32	31	28	50	36	5.5

4.1.2 Contoh perhitungan

Data yang diperoleh dari pengujian humidifier untuk dengan pemasangan angular turbulator dengan sudut 17° :

a. Data dari hasil pengujian

- T_{din} = 36°C
- T_{win} = 34°C
- T_{dout} = 33°C
- T_{wout} = 30°C
- Z_1 = 3 cm
- A = 30 cm x 15,5 cm

b. Data yang diambil dari diagram psycrometri

- RH_1 = 87%
- RH_2 = 80%
- ω_1 = 0,034
- ω_2 = 0,026

c. Data yang diperoleh dari table A_1 dan A_2 sifat-sifat cairan dan uap jenuh

- $\rho_{udara\ inlet}$ = 1,046 kg/m^3
- hg_1 = 2554,5kJ/kg
- hg_2 = 2550,9 kJ/kg

Pengolahan Data :

1. Perhitungan Kecepatan (V_1)

$$V_1 = c\sqrt{2g\frac{\rho_{air} SG_{MINYAK}(Z\sin 3{,}75)\times 10^{-3}}{\rho_{UDARA}}}$$

$$V_1 = 0{,}85\times\sqrt{2\times 9{,}81\frac{1000\times 0{,}826\times(3\sin 3{,}75)\times 10^{-3}}{1{,}046}}$$

$$V_1 = 1{,}736 m/s$$

2. Laju massa alir udara inlet ($\dot{m}_1$)

$$\dot{m}_1 = \rho_{udara}\times V_1\times A$$

$$\dot{m}_1 = 1{,}046\times 1{,}736\times 0{,}3\times 0{,}155$$

$$\dot{m}_1 = 0{,}0738 kg/s$$

3. Laju massa alir udara kering inlet ($\dot{m}_a$)

$$\dot{m}_a = \frac{\dot{m}_1}{(1+\omega_1)}$$

$$\dot{m}_a = \frac{0{,}0829}{(1+0{,}015)}$$

$$\dot{m}_a = 0{,}0316 kg/s$$

4. Laju massa alir udara outlet ($\dot{m}_2$)

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_a\times(1+\omega_2)$$

$$\dot{m}_2 = 0{,}0817\times(1+0{,}022)$$

$$\dot{m}_2 = 0{,}0324 kg/s$$

5. Transfer Massa ($\Delta\dot{m}$)

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

$$\Delta\dot{m} = 0{,}0834 - 0{,}0829$$

$$\Delta\dot{m} = 0{,}0008 kg/s$$

6. Entalpi total udara sisi masuk (H_1)

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

$$H_1 = 0{,}0738\times(1\times 36 + 2554{,}5\times 0{,}034)$$

$$H_1 = 2662{,}97 J/s$$

7. Entalpi total sisi keluar (H_3)

$$H_2 = \dot{m}_a \times (C_p T_{d3} + h_{g3} \times \omega_3)$$
$$H_2 = 0{,}0738 \times (1 \times 33 + 2550{,}9 \times 0{,}034)$$
$$H_2 = 1074{,}22\, J/s$$

8. Transfer Energi (ΔH)

$\Delta H = H_1 - H_3$

$\Delta H = 2662{,}97 - 1074{,}22$

$\Delta H = 1558{,}75 J/s$

9. Number of transfer unit (NTU)

$$NTU = \frac{\Delta H}{m\,d\,e\,s\,.Cp\,.(T2 - T4)}$$

$$NTU = \frac{1588{,}75}{0.001.133977.(50-39)}$$

NTU = 1,07803

10. Efisiensi *direct contact dehumidification system* (η)

$\eta = 1 - e^{-NTU}$

$\eta = 1 - e^{-1{,}07803}$

$= 61\%$

4.1.3 Data Hasil Penelitian

Tabel 4.4 Tabel Hasil Pengolahan Data yang Diperoleh

Pada tekanan penyemprotan 20 psia

bukaan blower	ΔH_{air}	ΔH_{LD}	NTU	η
cm	J/s	J/s		(%)
5	1588.74	1473.75	1.0780	61.26
6	1807.99	1607.72	1.1246	62.81
7	2135.94	1680.23	1.3285	68.92
8	2507.43	1875.68	1.3368	69.15
9	2681.567	2009.66	1.3343	69.08

Tabel 4.5 Tabel Hasil Pengolahan Data yang Diperoleh

Pada tekanan penyemprotan 40 psia

bukaan blower	ΔH_{air}	ΔH_{LD}	NTU	η
cm	J/s	J/s		(%)
5	1586.48	1250.45	1.2687	67.24
6	1901.65	1250.45	1.5208	73.76
7	2107.18	1429.09	1.4745	72.67
8	2509.88	1689.98	1.5611	74.67
9	2740.62	1786.36	1.5342	74.06

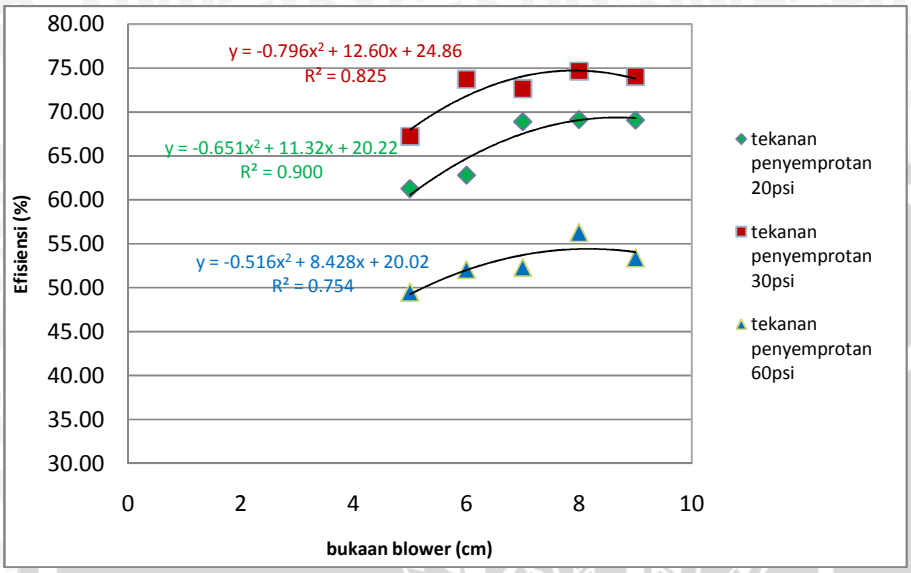
Tabel 4.6 Tabel Hasil Pengolahan Data yang Diperoleh

Pada tekanan penyemprotan 60 psia

bukaan blower	ΔH_{air}	ΔH_{LD}	NTU	η
cm	J/s	J/s		(%)
5	1591.00	2049.85	0.7762	49.48
6	1903.70	2277.61	0.8358	52.06
7	2109.22	2505.37	0.8419	52.31
8	2569.21	2733.13	0.9400	56.26
9	2766.68	3188.65	0.8677	53.38

4.2 Pembahasan Grafik

4.2.1 Pembahasan Grafik Hubungan antara bukaan blower dengan efisiensi *direct contact dehumidification system*



Gambar 4.1: Grafik Hubungan antara bukaan blower dengan efisiensi *direct contact dehumidification system*

Hubungan antara kecepatan udara inlet (V) terhadap efisiensi *direct contact dehumidification system* tersaji dalam grafik pada Gambar 4.1. Pada Gambar 4.1, sumbu absis pada grafik di atas menyatakan kecepatan udara inlet pada bukaan blower 5,6,7 ,8 dan 9 cm, namun sumbu ordinat menyatakan efisiensi *direct contact dehumidification system.* Dari Gambar 4.1 dapat diketahui bahwa pada bukaan blower dari bukaan kecil hingga besar, efisiensi *direct contact dehumidification system* pada sistem cenderung meningkat untuk masing-masing variabel kontrol. Peningkatan ini terjadi karena semakin besar bukaan blower, maka kecepatan udara yang masuk ke dalam sistem akan semakin tinggi akibatnya laju massa alir udara yang masuk ke dalam sistem akan semakin meningkat. Dengan peningkatan laju massa alir udara inlet, maka uap air yang dibawa oleh udara akan semakin meningkat pula. Dengan peningkatan massa uap air maka massa uap air yang diikat oleh *desiccant* akan semakin besar, akibatnya udara pada sisi keluar akan memiliki kelembaban absolut yang lebih rendah dibandingkan dengan kelembaban absolut pada sisi masuk karena kelembaban absolut merupakan perbandingan antara massa uap dengan massa udara kering. Jumlah massa udara kering pada sisi masuk dan keluar bernilai sama, dengan massa uap yang semakin rendah maka akan terjadi penurunan kelembaban absolut udara.

Hal tersebut sesuai dengan rumus :

$\omega = m_v/m_a$

Nilai dari kelembaban absolut ini akan mempengaruhi nilai *transfer* energi yang dihasilkan. Semakin besar selisih kelembaban absolut antar sisi inlet dan outlet maka *transfer* 11energi yang dihasilkan akan semakin besar.

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

$\Delta H = H_1 - H_3$

Transfer energi berbanding lurus dengan nilai efisiensi *direct contact dehumidification system*. Hal ini sesuai dengan rumus dimana nilai efisiensi dapat dilihat dari Number of transfer unit dimanan merupakan perbandingan antara nilai *transfer* energi pada udara dengan transfer energi pada *liquid desiccant* yang digunakan untuk mengikat uap air dalam udara. Semakin tinggi *transfer* energi yang dihasilkan maka nilai efisiensi *direct contact dehumidification system* juga semakin besar.

$$\text{NTU} = \frac{\Delta H}{m(des).Cp(des).\Delta T}$$

$$\eta = 1 - e^{-\text{NTU}}$$

Dimana ΔH merupakan transfer energi dari udara dan ΔT adalah perbedaan temperatur *liquid desicant* setelah dan sebelum disemprotkan yang digunakan untuk mengikat uap air dalam udara dan T_2 adalah temperatur *desiccant*.

Nilai efisiensi *direct contact dehumidification system* juga dipengaruhi oleh tekanan penyenyemprotan *liquid desiccant* yang disemprotkan. Semakin besar tekanan penyemprotan *liquid desiccant* maka akan menyebabkan transfer energi yang terjadi akan semakin besar dikarenakan semakin tinggi tekanan penyempotan *liquid desiccant*akan menyebabkan laju massa alir dari *liquid desiccant* akan semakin besar . Sesuai dengan rumus di atas bahwa dengan bertambahnya tekanan penyemprotan *liquid desiccant* maka nilai ΔH akan semakin meningkat.

Pada penelitian ini, peningkatan tekanan penyemprotan *liquid desiccant* tidak berbanding lurus dengan NTU , nilai NTU cenderung berubah pada tekanan penyemprotan yang berbeda dikarenakan NTU adalah perbandingan antara transfer kalor pada udara dibanding dengan transfer kalor yang terjadi pada *liquid desiccant*.

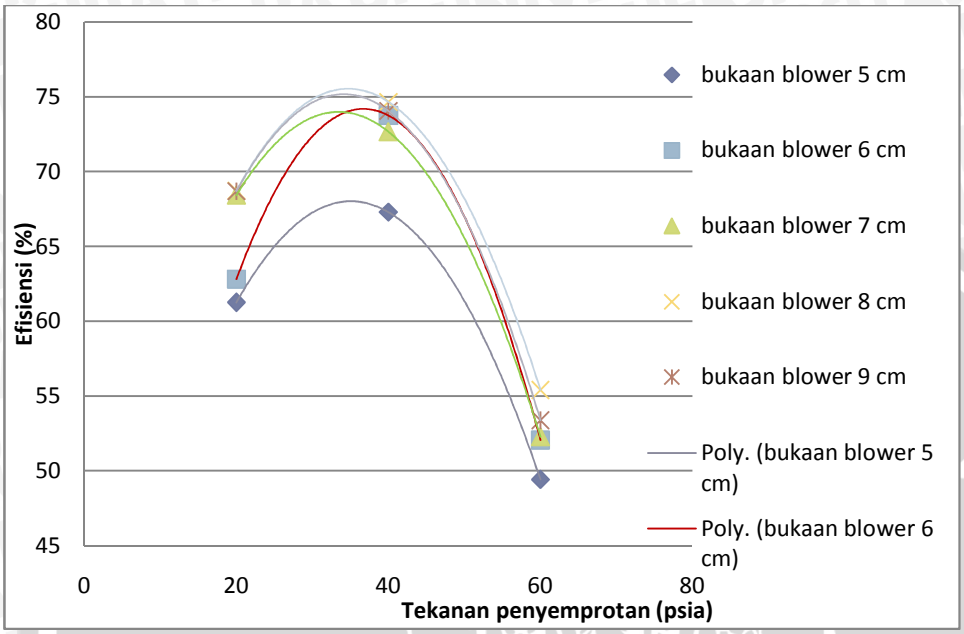
Sedangkan efisiensi *direct contact dehumidification system* berbanding lurus dengan NTU sesuai dengan rumus :

$$\eta = 1 - e^{-NTU}$$

Pada tekanan penyemprotan *liquid desiccant* 20 psi dengan 40 psi *efisiensi direct contact dehumidification system* cenderung meningkat, hal tersebut dikarenakan pada tekanan penyemprotan 20 psi *liquid desiccant* massa alir yang dikeluarkan cenderung lebih sedikit daripada 40 psi. Sedangkan pada tekanan penyemprotan 60 psi efisiensi direct contact dehumidification system cenderung menurun,hal tersebut dikarenakan perbedaan laju kalor pada udara lebih kecil jika dibandingkan dengan perbedaan laju kalor pada *liquid desiccant.* Sedangkan laju kalor sendiri adalah dipengaruhi oleh laju massa alir. Selain itu pada tekanan penyemprotan 60 psi menyebabkan droplet dari *liquid desiccant* lebih halus sehingga menyebabkan air pada campuran *liquid desiccant* akan lebih mudah menguap dan lebih mudah terbawa oleh udara yang melewati *wind tunnel.*

Dari grafik Gambar 4.1 dapat diketahui bahwa pada masing-masing grafik memiliki koefisien determinasi sebesar R^2_{20psi}= 0,825 (82,5 %), R^2_{40psi} = 0,936 (93,6 %) dan R^2_{60psi}= 0,825 (82,5 %), dimana ketiga koefisien tersebut bernilai lebih dari 40%, sehingga dapat disimpulkan bahwa penelitian ini tidak menyimpang dengan dugaan secara teoritis yaitu semakin besar kecepatan udara inlet dan tekanan penyemprotan *liquid desiccant* yang disemprotkan ke dalam sistem maka akan mempengaruhi nilai efisiensi *direct contact dehumidification system.*

4.2.2 Pembahasan Grafik Hubungan antara tekanan penyemprotan dengan efisiensi *direct contact dehumidification system*



Gambar 4.2 : Grafik Hubungan antara tekanan penyemprotan dengan efisiensi *direct contact dehumidification system*

Hubungan antara tekanan penyemprotan terhadap efisiensi *direct contact dehumidification system* tersaji dalam grafik pada Gambar 4.2. Pada Gambar 4.2, sumbu absis pada grafik di atas menyatakan tekanan penyemprotan pada 20 psia; 40 psia dan 60 psia, dan sumbu ordinat menyatakan efisiensi *direct contact dehumidification system.* Dari Gambar 4.2 dapat diketahui bahwa pada variasi tekanan penyemprotan dari 20 psia hingga 40 psia, efisiensi *direct contact dehumidification system* pada sistem cenderung meningkat untuk masing-masing variabel control. Peningkatan ini terjadi karena semakin tekanan penyemprotan, maka kecepatan *liquid desiccant* yang masuk ke dalam sistem akan semakin tinggi akibatnya laju massa alir udara yang masuk ke dalam sistem akan semakin meningkat. Dengan peningkatan laju massa alir udara inlet, maka uap air yang dibawa oleh udara akan semakin meningkat pula. Dengan peningkatan massa uap air maka massa uap air yang diikat oleh *desiccant* akan semakin besar, akibatnya udara pada sisi keluar akan memiliki kelembaban absolut yang lebih rendah dibandingkan dengan kelembaban absolut pada sisi masuk karena kelembaban absolut merupakan perbandingan antara massa uap dengan massa udara kering. Jumlah massa udara kering pada sisi masuk dan keluar bernilai sama, dengan massa uap yang semakin rendah maka akan terjadi penurunan kelembaban absolut udara.

4.3 Pengujian Hipotesa

Dalam pengujian hipotesis ini faktor yang diteliti adalah tekanan penyemprotan *liquid desiccant* dan kecepatan udara inlet yang diperoleh dari bukan blower. Masing-masing faktor memiliki beberapa kondisi (perlakuan) yang berbeda. Temperatur *desiccant* memiliki 3 kondisi yaitu 20 psia, 40 psia dan 60 psia. Sedangkan kecepatan udara inlet memiliki 5 kondisi yaitu 1,439; 1,554; 1,661; 1,857 dan 1,948 m/s. Langkah-langkah pengujian hipotesisnya adalah sebagai berikut :

1. Penentuan Formulasi Hipotesis
   a. H_{01} : $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5$

      H_{11} : sekurang-kurangnya ada satu $\alpha_i \neq 0$

      Dimana α_i = rata-rata kondisi ke-*i* pada faktor kecepatan udara inlet
   b. H_{02} : $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3$

      H_{12} : sekurang-kurangnya ada satu $\beta_j \neq 0$

      Dimana β_j = rata-rata kondisi ke-*j* pada faktor tekanan penyemprotan *liquid desiccant*
2. Taraf nyata dan nilai F_{tabel} (α = 5%)
   a. Faktor kecepatan udara inlet

      $F_{0,05}(4,8) = 3,84$
   b. Faktor tekanan penyemprotan *liquid desiccant*

      $F_{0,05}(2,8) = 4,46$
3. Kriteria pengujian
   a. H_0 diterima apabila $F_{hitung} \leq F_{\alpha}(v_1, v_2)$
   b. H_0 ditolak apabila $F_{hitung} > F_{\alpha}(v_1, v_2)$
4. Uji statistik

   Tabel di bawah ini (Tabel 4.7) adalah tabel hasil data perhitungan

Tabel 4.7 : Tabel pengolahan data pengujian hipotesis pengaruh kecepatan udara inlet dan tekanan penyemprotan *liquid desiccant* terhadap efisiensi *direct contact dehumidification system.*

Kecepatan	*Efisiensi*, η(%), pada tekanan penyemprotan (psia)			Σ
	20	40	60	
1,439	61,26	67,24	49,48	
Σ_{K1}	**61,26**	**67,24**	**49,48**	**177,98**
1,554	62,81	73,76	52,06	
Σ_{K2}	**62,81**	**73,76**	**52,06**	**188,63**
1,661	68,92	72,67	52,31	
Σ_{K3}	**68,92**	**72,67**	**52,31**	**193,9**
1,857	69,15	74,67	56,26	
Σ_{K4}	**69,15**	**74,67**	**56,26**	**200,08**
1,948	69,08	74,06	53,38	
Σ_{K5}	**69,08**	**74,06**	**53,38**	**196,52**
Σ_{KT}	**331,22**	**362,4**	**263,49**	**957,11**

$$F\ K = \frac{957{,}11^2}{5.3} = 61070{,}64$$

$$J\ K\ T = (61{,}26^2 + 67{,}24^2 + \cdots + 53{,}38^2) - 61070{,}64$$

$$= 1143{,}621$$

$$J\ K\ B = \frac{(177{,}98^2 + 188{,}63^2 + 193{,}9^2 + 200{,}08^2 + 196{,}52^2)}{3} - 61070{,}64$$

$$= 98{,}53$$

Dimana B = baris, yaitu faktor kecepatan udara inlet

$$J\ K\ K = \frac{(331{,}22^2 + 362{,}4^2 + 263{,}49^2)}{5} - 61070{,}64$$

$$= 1022{,}85$$

Dimana K = kolom, yaitu faktor tekanan penyemprotan *liquid desiccant*

$$J\ K\ G = 1143{,}621 - 98{,}53 - 1022{,}85 = 22{,}25$$

5. Kesimpulan

Dari tabel analisis varian (Tabel 4.8) terlihat masing-masing perlakuan $F_{hitung} > F_{tabel}$ dengan keyakinan 95 %.

Tabel 4.8 : Tabel analisis varian pengaruh kecepatan udara inlet dan tekanan penyemprotan *liquid desiccant* terhadap efisiensi *direct contact dehumidification system* (η).

Sumber varian	JK	Db	KT	F_{hitung}	$F_{\alpha,5\%}$
Efek kecepatan udara inlet	98,53	4	24,63114	8,857159	3,837853
Efek tekanan penyemprotan *liquid desiccant*	1022,85	2	511,4244	183,9041	4,45897
Galat	22,25	8	2,78093		
Total	1143,621	14			

Atau dapat dinyatakan sebagai berikut :

a. Faktor kecepatan udara inlet

H_0 ditolak maka H_1 diterima, artinya ada pengaruh variasi kecepatan udara inlet terhadap efisiensi *direct contact dehumidification system*.

b. Faktor tekanan penyemprotan *liquid desiccant*

H_0 ditolak maka H_1 diterima, artinya ada pengaruh variasi tekanan penyemprotan *liquid desiccant* terhadap efisiensi *direct contact dehumidification system*.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa :

Dengan bertambahnya kecepatan udara inlet dan tekanan penyemprotan *liquid desiccant* yang disemprotkan ke dalam sistem maka akan mempengaruhi proses *transfer* energi dan efisiensi *direct contact dehumidification system*.

- Nilai *transfer* energi tertinggi dilihat dari 60 psia pada bukaan blower 9 cm yaitu sebesar 2766.68 J/s. Hal ini disebabkan karena semakin besar tekanan penyemprotan *liquid desiccant* maka akan memperbesar laju massa alir dari *liquid desiccant*, sehingga akan menyebabkan laju perpindahan kalor semakin besar yang nantinya akan menyebabkan kelembaban udara semakin menurun dengan konsumsi *liquid dessicant* yang sesuai.
- Nilai efisiensi *direct contact dehumidification system* tertinggi terjadi pada tekanan penyemprotan *liquid desiccant* 40 psia pada bukaan blower 8 cm yaitu sebesar 74,67%. Hal itu dikarenakan transfer energy pada bukaan blower 8 cm dan tekanan 40 psia memiliki transfer energi pada udara yang besar dan juga nilai transfer energi pada *liquid desiccant* yang cenderung kecil,sehingga meningkatkan NTU dan efisiensi *direct contact dehumidification system.*

5.2 Saran

Untuk memperoleh *transfer* energy, Number of transfer unit dan efisiensi *direct contact dehumidification system* yang lebih baik, perlu dilakukan beberapa hal sebagai berikut :

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

DAFTAR PUSTAKA

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

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

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

El-Wakil, M.M; 1992: Instalasi Pembangkit Daya; Alih bahasa: Ir. E. Jasfi M. Sc; Erlangga, Jakarta.

Holman, J.P; 1992; Heat Transfer 7th Edition,Holman; McGraw-Hill Book Company, New York.

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

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

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

Stoecker, W.F.; 1992: *Refrigerasi dan Pengondisian Udara*, Alih bahasa: Ir. Supratman Hara; Erlangga, Jakarta.

www.discount-air-fan.wowshopper.com

www.dynalene.com

www.masstech.org

www.nt.ntnu.no

Lampiran 1

Data pada tekanan penyemprotan 20 psia

bukaan blower	$T_{d\ in}$	$T_{w\ in}$	RH_{in}	$T_{d\ out}$	$T_{w\ out}$	RH_{out}	$T_{LD\ in}$	$T_{LD\ out}$	z	ω1	ω2
cm	C	C	%	C	C	%	C	C		kg u/kg uk	kg u/kg uk
5	36	34	87	33	30	80	50	39	3	0.034	0.026
6	36	34	87	33	30	80	50	38	3.5	0.034	0.026
7	36	33	81	32	29	79	50	38	4	0.031	0.0245
8	36	33	81	32	29	79	50	36	5	0.031	0.0245
9	36	33	81	32	28	68	50	35	5.5	0.031	0.022

hg_1	hg_3	$C_{p\ air}$	$C_{p\ des}$	$m_{air\ in}$	$m_{air\ out}$	m_{uk}	m_{LD}
J/kg	J/kg	$J/kg_{udara\ kering}$ K	$J/kg_{udara\ kering}$ K	kg/s	kg/s	kg/s	kg/s
2554.55	2550.9	1000	133977	0.0738	0.03255	0.03166	0.00133
2554.6	2550.9	1000	133977	0.0797	0.02946	0.02871	0.00133
2555.5	2552.7	1000	133977	0.0852	0.02925	0.02857	0.00133
2556.4	2552.7	1000	133977	0.0953	0.02893	0.0283	0.00133
2556.4	2550.9	1000	133977	0.0999	0.02695	0.02637	0.00133

H_1	H_2	H_3	H_4	ΔH	NTU	η
J/s	J/s	J/s	J/s	J/s		%
2662.97	8931.80	1076.48	7681.35	1586.49	1.268733	61.26
2875.72	8931.80	974.07	7623.22	1901.65	1.520772	62.81
3074.28	8931.80	967.09	7502.71	2107.19	1.474496	68.92
3437.15	8931.80	927.27	7324.08	2509.88	1.56114	69.15
3604.40	8931.80	863.77	7145.44	2740.63	1.534196	69.08

Lampiran 2

Data pada tekanan penyemprotan40 psia

bukaan blower	$T_{d\ in}$	$T_{w\ in}$	RH_{in}	$T_{d\ out}$	$T_{w\ out}$	RH_{out}	$T_{LD\ in}$	$T_{LD\ out}$	z	ω1	ω2
cm	C	C	%	C	C	%	C	C		kg u/kg uk	kg u/kg uk
5	36	34	87	33	31	86	50	43	3	0.034	0.028
6	36	33	81	33	30	80	50	43	3.5	0.031	0.026
7	36	33	81	33	29	75	50	42	4	0.031	0.024
8	36	33	81	32	28	68	50	41	5	0.031	0.022
9	36	32	75	32	28	68	50	40	5.5	0.029	0.022

hg_1	hg_3	$C_{p\ air}$	$C_{p\ des}$	$m_{air\ in}$	$m_{air\ out}$	m_{uk}	m_{LD}
J/kg	J/kg	$J/kg_{udara\ kering}$ K	$J/kg_{udara\ kering}$ K	kg/s	kg/s	kg/s	kg/s
2554.55	2550.9	1000	133977	0.0738	0.03255	0.03166	0.00133
2554.6	2550.9	1000	133977	0.0797	0.02946	0.02871	0.00133
2555.5	2552.7	1000	133977	0.0852	0.02925	0.02857	0.00133
2556.4	2552.7	1000	133977	0.0953	0.02893	0.0283	0.00133
2556.4	2550.9	1000	133977	0.0999	0.02695	0.02637	0.00133

H_1	H_2	H_3	H_4	ΔH	NTU	η
J/s	J/s	J/s	J/s	J/s		%
2662.97	8931.80	1076.48	7681.35	1586.49	1.268733	67.24
2875.72	8931.80	974.07	7606.24	1901.65	1.520772	73.76
3074.28	8931.80	967.09	7502.71	2107.19	1.474496	72.67
3437.15	8931.80	927.27	7324.08	2509.88	1.56114	74.67
3604.40	8931.80	863.77	7145.44	2740.63	1.534196	74.06

Lampiran 3

Data pada tekanan penyemprotan 60 psia

bukaan blower	$T_{d\ in}$	$T_{w\ in}$	RH_{in}	$T_{d\ out}$	$T_{w\ out}$	RH_{out}	$T_{LD\ in}$	$T_{LD\ out}$	z	ω1	ω2
cm	C	C	%	C	C	%	C	C		kg u/kg uk	kg u/kg uk
5	36	34	87	33	29	75	50	41	3	0.034	0.024
6	36	33	81	33	29	75	50	40	3.5	0.031	0.024
7	36	33	81	33	28	69	50	39	4	0.031	0.022
8	36	32	75	32	28	68	50	38	5	0.029	0.022
9	36	32	75	31	28	80	50	36	5.5	0.029	0.023

hg_1	hg_3	$C_{p\ air}$	$C_{p\ des}$	$m_{air\ in}$	$m_{air\ out}$	m_{uk}	m_{LD}
J/kg	J/kg	$J/kg_{udara\ kering}$ K	$J/kg_{udara\ kering}$ K	kg/s	kg/s	kg/s	kg/s
2554.55	2550.9	1000	133977	0.0738	0.03242	0.03166	0.0017
2554.6	2550.9	1000	133977	0.0797	0.02945	0.02871	0.0017
2555.5	2552.7	1000	133977	0.0852	0.02919	0.02857	0.0017
2556.4	2552.7	1000	133977	0.0953	0.02706	0.02648	0.0017
2556.4	2550.9	1000	133977	0.099	0.02697	0.02637	0.0017

H_1	H_2	H_3	H_4	ΔH	NTU	η
J/s	J/s	J/s	J/s	J/s		%
2662.97	11388.05	1071.96	9338.20	1591.01	0.776159	49.48
2875.72	11388.05	972.02	9110.44	1903.70	0.835833	52.06
3074.28	11388.05	965.05	8882.68	2109.22	0.841881	52.31
3436.66	11388.05	867.44	8654.91	2569.22	0.940028	56.26
3604.40	11388.05	837.72	8199.39	2766.69	0.867666	53.38

Lampiran 4 : Tabel A-1 : Sifat-sifat cairan dan uap jenuh

APPENDIKS

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

t, °C	Tekanan jenuh, kPa	Volume spesifik, m^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 5 : Tabel A-2 : Sifat-sifat termodinamika udara jenuh pada tekanan atmosfir 101,325 kPa

Tabel A-2 Lembab udara:[2] sifat-sifat termodinamik udara jenuh pada tekanan atmosfir 101,325 kPa.

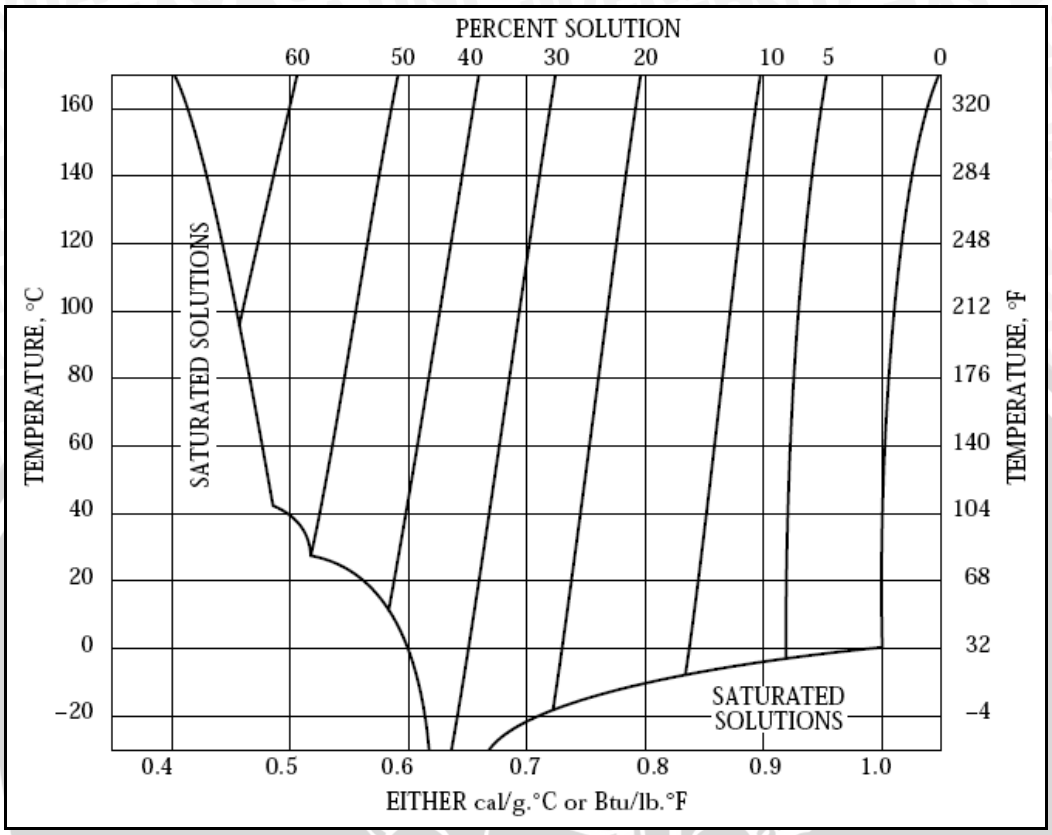
t, °C	Tekanan gas, kPa	Perbandingan kelembaban, kg/kg	Volume spesifik, m^3/kg	Entalpi, kJ/kg
-40	0,01283	0,000079	0,6597	-40,041
-35	0,02233	0,000138	0,6740	-34,868
-30	0,03798	0,000234	0,6884	-29,600
-25	0,06324	0,000390	0,7028	-24,187
-20	0,10318	0,000637	0,7173	-18,546
-18	0,12482	0,000771	0,7231	-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 6 : Tabel Sifat-sifat Larutan $CaCl_2$.

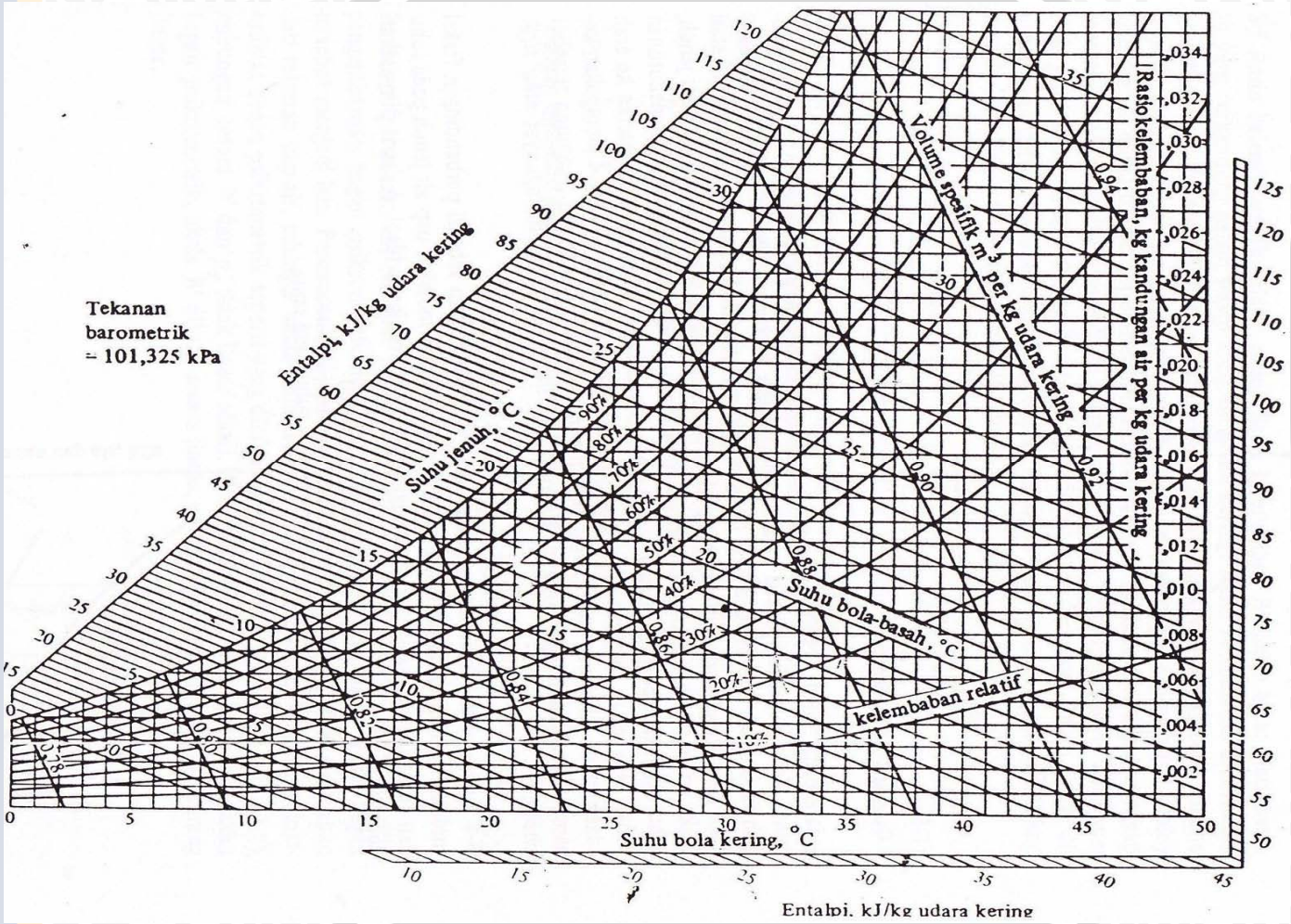
Property	$CaCl_2 \cdot 6H_2O$	$CaCl_2 \cdot 4H_2O$	$CaCl_2 \cdot 2H_2O$	$CaCl_2 \cdot H_2O$	$CaCl_2$
Composition (% $CaCl_2$)	50.66	60.63	75.49	86.03	100
Molecular Weight	219.09	183.05	147.02	129	110.99
Melting Point[1] (°C) (°F)	29.9 85.8	45.3 113.5	176 349	187 369	773 1424
Boiling Point[2] (°C) (°F)	— —	— —	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_2O (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

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

Lampiran 7 : Diagram Kalor Spesifik Larutan $CaCl_2$.



Lampiran 8 : Diagram *Psycrometric*.



Lampiran 9 : Tabel Uji F.

F distribution critical value landmarks

Table entries are critical values for F^* with probably p in right tail of the distribution.

Figure of *F* distribution (like in Moore, 2004, p. 656) here.

Degrees of freedom in denominator (df2)	p	Degrees of freedom in numerator (df1): 1	2	3	4	5	6	7	8	12	24	1000
1	0.100	39.86	49.50	53.59	55.83	57.24	58.20	58.91	59.44	60.71	62.00	63.30
	0.050	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	243.9	249.1	254.2
	0.025	647.8	799.5	864.2	899.6	921.8	937.1	948.2	956.6	976.7	997.3	1017.8
	0.010	4052	4999	5404	5624	5764	5859	5928	5981	6107	6234	6363
	0.001	405312	499725	540257	562668	576496	586033	593185	597954	610352	623703	636101
2	0.100	8.53	9.00	9.16	9.24	9.29	9.33	9.35	9.37	9.41	9.45	9.49
	0.050	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.41	19.45	19.49
	0.025	38.51	39.00	39.17	39.25	39.30	39.33	39.36	39.37	39.41	39.46	39.50
	0.010	98.50	99.00	99.16	99.25	99.30	99.33	99.36	99.38	99.42	99.46	99.50
	0.001	998.38	998.84	999.31	999.31	999.31	999.31	999.31	999.31	999.31	999.31	999.31
3	0.100	5.54	5.46	5.39	5.34	5.31	5.28	5.27	5.25	5.22	5.18	5.13
	0.050	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.74	8.64	8.53
	0.025	17.44	16.04	15.44	15.10	14.88	14.73	14.62	14.54	14.34	14.12	13.91
	0.010	34.12	30.82	29.46	28.71	28.24	27.91	27.67	27.49	27.05	26.60	26.14
	0.001	167.06	148.49	141.10	137.08	134.58	132.83	131.61	130.62	128.32	125.93	123.52
4	0.100	4.54	4.32	4.19	4.11	4.05	4.01	3.98	3.95	3.90	3.83	3.76
	0.050	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	5.91	5.77	5.63
	0.025	12.22	10.65	9.98	9.60	9.36	9.20	9.07	8.98	8.75	8.51	8.26
	0.010	21.20	18.00	16.69	15.98	15.52	15.21	14.98	14.80	14.37	13.93	13.47
	0.001	74.13	61.25	56.17	53.43	51.72	50.52	49.65	49.00	47.41	45.77	44.09
5	0.100	4.06	3.78	3.62	3.52	3.45	3.40	3.37	3.34	3.27	3.19	3.11
	0.050	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.68	4.53	4.37
	0.025	10.01	8.43	7.76	7.39	7.15	6.98	6.85	6.76	6.52	6.28	6.02
	0.010	16.26	13.27	12.06	11.39	10.97	10.67	10.46	10.29	9.89	9.47	9.03
	0.001	47.18	37.12	33.20	31.08	29.75	28.83	28.17	27.65	26.42	25.13	23.82
6	0.100	3.78	3.46	3.29	3.18	3.11	3.05	3.01	2.98	2.90	2.82	2.72
	0.050	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.00	3.84	3.67
	0.025	8.81	7.26	6.60	6.23	5.99	5.82	5.70	5.60	5.37	5.12	4.86
	0.010	13.75	10.92	9.78	9.15	8.75	8.47	8.26	8.10	7.72	7.31	6.89
	0.001	35.51	27.00	23.71	21.92	20.80	20.03	19.46	19.03	17.99	16.90	15.77
7	0.100	3.59	3.26	3.07	2.96	2.88	2.83	2.78	2.75	2.67	2.58	2.47
	0.050	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.57	3.41	3.23
	0.025	8.07	6.54	5.89	5.52	5.29	5.12	4.99	4.90	4.67	4.41	4.15
	0.010	12.25	9.55	8.45	7.85	7.46	7.19	6.99	6.84	6.47	6.07	5.66
	0.001	29.25	21.69	18.77	17.20	16.21	15.52	15.02	14.63	13.71	12.73	11.72
8	0.100	3.46	3.11	2.92	2.81	2.73	2.67	2.62	2.59	2.50	2.40	2.30
	0.050	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.28	3.12	2.93
	0.025	7.57	6.06	5.42	5.05	4.82	4.65	4.53	4.43	4.20	3.95	3.68
	0.010	11.26	8.65	7.59	7.01	6.63	6.37	6.18	6.03	5.67	5.28	4.87
	0.001	25.41	18.49	15.83	14.39	13.48	12.86	12.40	12.05	11.19	10.30	9.36
9	0.100	3.36	3.01	2.81	2.69	2.61	2.55	2.51	2.47	2.38	2.28	2.16
	0.050	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.07	2.90	2.71
	0.025	7.21	5.71	5.08	4.72	4.48	4.32	4.20	4.10	3.87	3.61	3.34
	0.010	10.56	8.02	6.99	6.42	6.06	5.80	5.61	5.47	5.11	4.73	4.32
	0.001	22.86	16.39	13.90	12.56	11.71	11.13	10.70	10.37	9.57	8.72	7.84

Critical values computed with Excel 9.0

repository.ub.ac
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Lampiran 10 (lanjutan) : Tabel Uji F.

Degrees of freedom in denominator (df2)	p	Degrees of freedom in numerator (df1): 1	2	3	4	5	6	7	8	12	24	1000
10	0.100	3.29	2.92	2.73	2.61	2.52	2.46	2.41	2.38	2.28	2.18	2.06
	0.050	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	2.91	2.74	2.54
	0.025	6.94	5.46	4.83	4.47	4.24	4.07	3.95	3.85	3.62	3.37	3.09
	0.010	10.04	7.56	6.55	5.99	5.64	5.39	5.20	5.06	4.71	4.33	3.92
	0.001	21.04	14.90	12.55	11.28	10.48	9.93	9.52	9.20	8.45	7.64	6.78
12	0.100	3.18	2.81	2.61	2.48	2.39	2.33	2.28	2.24	2.15	2.04	1.91
	0.050	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.69	2.51	2.30
	0.025	6.55	5.10	4.47	4.12	3.89	3.73	3.61	3.51	3.28	3.02	2.73
	0.010	9.33	6.93	5.95	5.41	5.06	4.82	4.64	4.50	4.16	3.78	3.37
	0.001	18.64	12.97	10.80	9.63	8.89	8.38	8.00	7.71	7.00	6.25	5.44
14	0.100	3.10	2.73	2.52	2.39	2.31	2.24	2.19	2.15	2.05	1.94	1.80
	0.050	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.53	2.35	2.14
	0.025	6.30	4.86	4.24	3.89	3.66	3.50	3.38	3.29	3.05	2.79	2.50
	0.010	8.86	6.51	5.56	5.04	4.69	4.46	4.28	4.14	3.80	3.43	3.02
	0.001	17.14	11.78	9.73	8.62	7.92	7.44	7.08	6.80	6.13	5.41	4.62
16	0.100	3.05	2.67	2.46	2.33	2.24	2.18	2.13	2.09	1.99	1.87	1.72
	0.050	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.42	2.24	2.02
	0.025	6.12	4.69	4.08	3.73	3.50	3.34	3.22	3.12	2.89	2.63	2.32
	0.010	8.53	6.23	5.29	4.77	4.44	4.20	4.03	3.89	3.55	3.18	2.76
	0.001	16.12	10.97	9.01	7.94	7.27	6.80	6.46	6.20	5.55	4.85	4.08
18	0.100	3.01	2.62	2.42	2.29	2.20	2.13	2.08	2.04	1.93	1.81	1.66
	0.050	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.34	2.15	1.92
	0.025	5.98	4.56	3.95	3.61	3.38	3.22	3.10	3.01	2.77	2.50	2.20
	0.010	8.29	6.01	5.09	4.58	4.25	4.01	3.84	3.71	3.37	3.00	2.58
	0.001	15.38	10.39	8.49	7.46	6.81	6.35	6.02	5.76	5.13	4.45	3.69
20	0.100	2.97	2.59	2.38	2.25	2.16	2.09	2.04	2.00	1.89	1.77	1.61
	0.050	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.28	2.08	1.85
	0.025	5.87	4.46	3.86	3.51	3.29	3.13	3.01	2.91	2.68	2.41	2.09
	0.010	8.10	5.85	4.94	4.43	4.10	3.87	3.70	3.56	3.23	2.86	2.43
	0.001	14.82	9.95	8.10	7.10	6.46	6.02	5.69	5.44	4.82	4.15	3.40
30	0.100	2.88	2.49	2.28	2.14	2.05	1.98	1.93	1.88	1.77	1.64	1.46
	0.050	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.09	1.89	1.63
	0.025	5.57	4.18	3.59	3.25	3.03	2.87	2.75	2.65	2.41	2.14	1.80
	0.010	7.56	5.39	4.51	4.02	3.70	3.47	3.30	3.17	2.84	2.47	2.02
	0.001	13.29	8.77	7.05	6.12	5.53	5.12	4.82	4.58	4.00	3.36	2.61
50	0.100	2.81	2.41	2.20	2.06	1.97	1.90	1.84	1.80	1.68	1.54	1.33
	0.050	4.03	3.18	2.79	2.56	2.40	2.29	2.20	2.13	1.95	1.74	1.45
	0.025	5.34	3.97	3.39	3.05	2.83	2.67	2.55	2.46	2.22	1.93	1.56
	0.010	7.17	5.06	4.20	3.72	3.41	3.19	3.02	2.89	2.56	2.18	1.70
	0.001	12.22	7.96	6.34	5.46	4.90	4.51	4.22	4.00	3.44	2.82	2.05
100	0.100	2.76	2.36	2.14	2.00	1.91	1.83	1.78	1.73	1.61	1.46	1.22
	0.050	3.94	3.09	2.70	2.46	2.31	2.19	2.10	2.03	1.85	1.63	1.30
	0.025	5.18	3.83	3.25	2.92	2.70	2.54	2.42	2.32	2.08	1.78	1.36
	0.010	6.90	4.82	3.98	3.51	3.21	2.99	2.82	2.69	2.37	1.98	1.45
	0.001	11.50	7.41	5.86	5.02	4.48	4.11	3.83	3.61	3.07	2.46	1.64
1000	0.100	2.71	2.31	2.09	1.95	1.85	1.78	1.72	1.68	1.55	1.39	1.08
	0.050	3.85	3.00	2.61	2.38	2.22	2.11	2.02	1.95	1.76	1.53	1.11
	0.025	5.04	3.70	3.13	2.80	2.58	2.42	2.30	2.20	1.96	1.65	1.13
	0.010	6.66	4.63	3.80	3.34	3.04	2.82	2.66	2.53	2.20	1.81	1.16
	0.001	10.89	6.96	5.46	4.65	4.14	3.78	3.51	3.30	2.77	2.16	1.22

Use StaTable, WinPepi > Whatis, or other reliable software to determine specific p values