

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

SKRIPSI

KONSENTRASI KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

FIGUR KAMAJAYA

NIM. 0510620043-62

KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2010

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

SKRIPSI

KONSENTRASI KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

FIGUR KAMAJAYA

NIM. 0510620043-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

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

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



**PENGARUH TEMPERATUR CaCl₂ TERHADAP
EFISIENSI *THERMAL* DARI
*LIQUID DESICCANT DEHUMIDIFICATION SYSTEM***

Disusun oleh :

FIGUR KAMAJAYA
NIM. 0510620043-62

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 28 Juli 2010

DOSEN PENGUJI

Penguji Skripsi I

Penguji Skripsi II

Ir. Saifuddin Baedowie
NIP. 19460703 197009 1 001

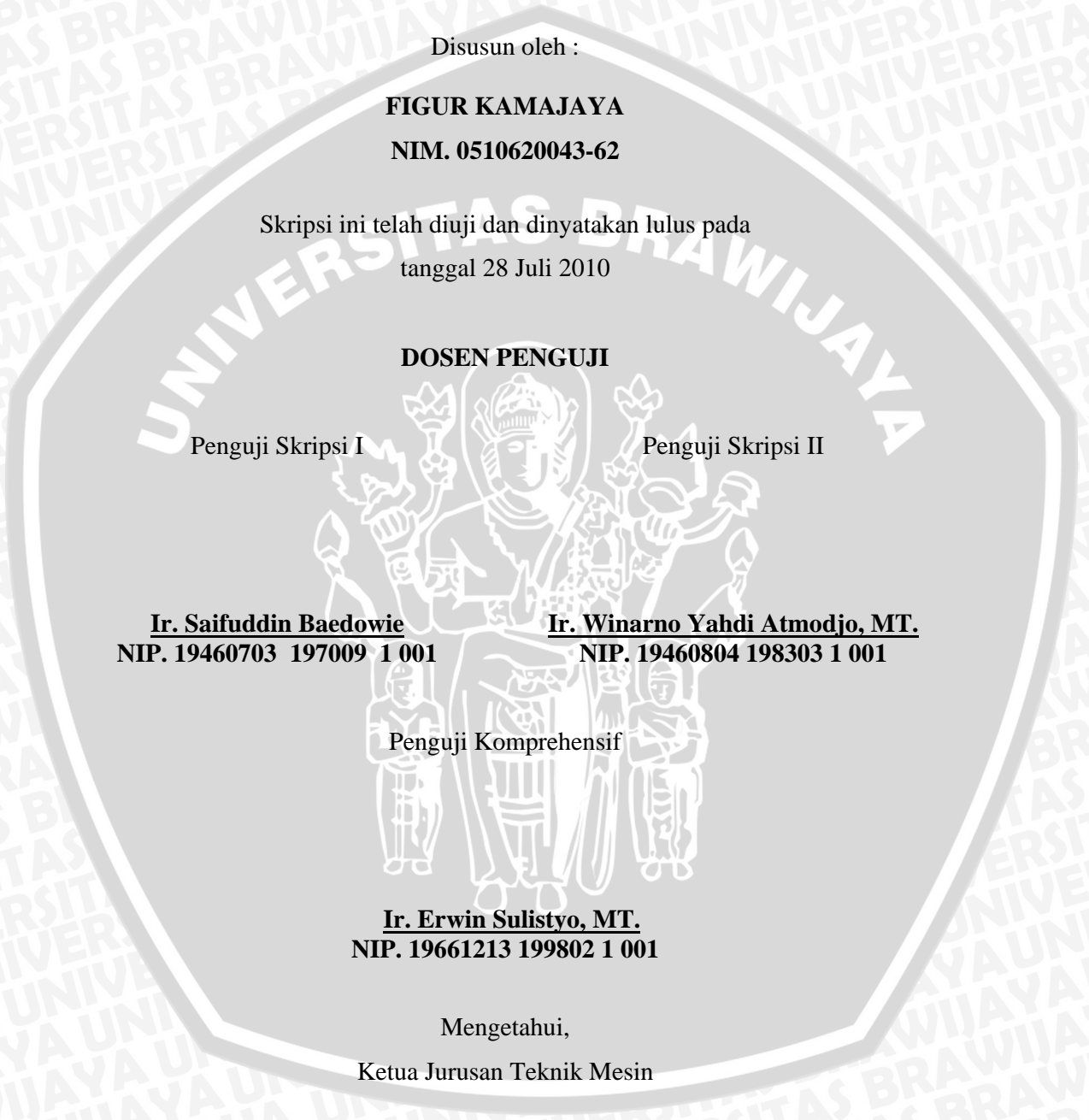
Ir. Winarno Yahdi Atmodjo, MT.
NIP. 19460804 198303 1 001

Penguji Komprehensif

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

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin

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



KATA PENGANTAR

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

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

1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang sekaligus Dosen Pembimbing I, yang telah memberikan bimbingan dan saran yang bermanfaat dalam penyusunan skripsi ini.
2. Bapak Dr.Eng. Anindito Purnowidodo, ST., M.Eng, selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
3. Bapak Dr.Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing II, yang telah memberikan kritik dan saran yang bermanfaat dalam penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Ir. I Made Gunadiarta, MT., selaku Ketua Kelompok Dasar Keahlian Konversi Energi, yang meluangkan banyak waktu untuk bimbingan.
5. Bapak Agus Purwoko dan Ibu Sri Utari selaku kedua orang tua penulis, dek Fidi, dek Jalu, Tyasinta Susilastuti beserta kedua orang tua dan semua keluarga di Malang dan Nganjuk yang telah memberikan dukungan moril dan motivasi yang sangat berarti sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik.
6. Teman-teman asisten Laboratorium Mesin-mesin Fluida yang kreatif dan selalu ada untuk tempat diskusi.
7. Teman-teman MOLIMO yang sangat kompak dan banyak membantu dalam kegiatan seminar dan lain-lain.
8. 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, Juli 2010

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> 7
2.4	<i>Desiccant Cair</i> 8
2.5	<i>Psychrometric</i> dan Diagram <i>Psychrometric</i> 9
2.6	Perpindahan Panas dan Massa pada <i>Liquid Desiccant Dehumidification System</i> 13
2.6.1	Proses Difusi 13
2.6.2	Difusi Fluida yang Memiliki Beda Konsentrasi dan Kecepatan Besar 14
2.6.3	Keseimbangan Kalor pada Sistem 15
2.6.4	Efisiensi <i>Thermal</i> 21
2.7	Hipotesis 21
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN
3.1	Metode Penelitian 22
3.2	Variabel Penelitian 22
3.3	Alat-alat Penelitian 23

3.4	Instalasi Penelitian	28
3.5	Prosedur Penelitian	29
3.6	Tempat Penelitian	29
3.7	Diagram Alir Penelitian	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Analisa Data	31
4.1.1	Data Hasil Pengujian	31
4.1.2	Contoh Perhitungan	32
4.1.3	Hasil Pengolahan Data	35
4.1.4	Pengujian Hipotesis	36
4.2	Pembahasan Grafik	42
4.2.1	Pembahasan Grafik Hubungan antara Kecepatan Udara Inlet (V) terhadap <i>Transfer Energi</i> (ΔH)	42
4.2.2	Pembahasan Grafik Hubungan antara Kecepatan Udara Inlet (V) terhadap Efisiensi <i>Thermal</i> (η_{th})	45
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan	48
5.2	Saran	49
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

DAFTAR TABEL

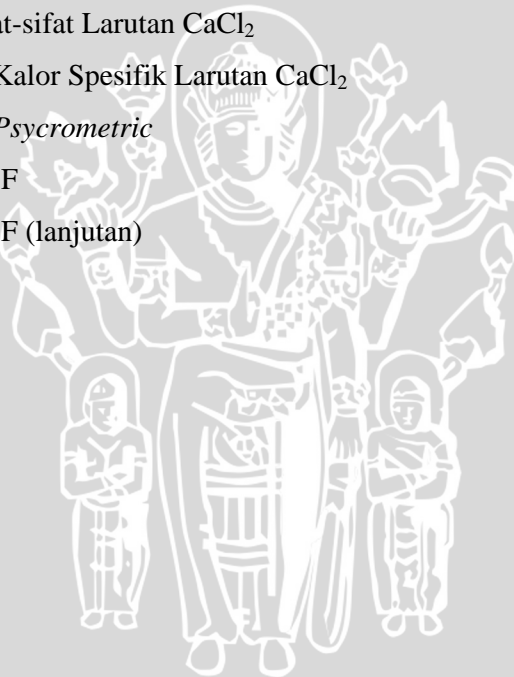
No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Sifat-sifat larutan CaCl_2	8
Tabel 4.1	Hasil pengambilan data yang diperoleh pada $T_{\text{desiccant inlet}} = 40^\circ\text{C}$	31
Tabel 4.2	Hasil pengambilan data yang diperoleh pada $T_{\text{desiccant inlet}} = 50^\circ\text{C}$	31
Tabel 4.3	Hasil pengambilan data yang diperoleh pada $T_{\text{desiccant inlet}} = 60^\circ\text{C}$	32
Tabel 4.4	Hasil pengolahan data untuk <i>transfer</i> energi, ΔH (kJ/s)	35
Tabel 4.5	Hasil pengolahan data untuk efisiensi <i>thermal</i> , η_{th} (%)	36
Tabel 4.6	Pengolahan data pengujian hipotesis pengaruh kecepatan udara inlet dan temperatur <i>desiccant</i> terhadap <i>transfer</i> energi (ΔH)	37
Tabel 4.7	Analisis varian pengaruh kecepatan udara inlet dan temperatur <i>desiccant</i> terhadap <i>transfer</i> energi (ΔH)	38
Tabel 4.8	Pengolahan data pengujian hipotesis pengaruh kecepatan udara inlet dan temperatur <i>desiccant</i> terhadap efisiensi <i>thermal</i> (η_{th})	40
Tabel 4.9	Analisis varian pengaruh kecepatan udara inlet dan temperatur <i>desiccant</i> terhadap efisiensi <i>thermal</i> (η_{th})	41

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	<i>Heat Pump Dehumidifier</i>	6
Gambar 2.2	<i>Chemical Adsorbent Dehumidifier</i>	6
Gambar 2.3	<i>Dehumidifying Ventilators</i>	7
Gambar 2.4	Diagram Kalor Spesifik Larutan CaCl_2	9
Gambar 2.5	Diagram <i>Psychrometric</i>	10
Gambar 2.6	Gambar proses difusi dengan fluida yang memiliki beda konsentrasi dan kecepatan yang besar.	14
Gambar 2.7	Kesetimbangan kalor pada <i>Dehumidifier</i>	16
Gambar 3.1	<i>Wind Tunnel</i>	23
Gambar 3.2	<i>Inclined Manometer</i>	24
Gambar 3.3	<i>Spray Nozzle</i>	26
Gambar 3.4	Gelas Ukur	26
Gambar 3.5	<i>Heater</i>	27
Gambar 3.6	<i>Preheater</i>	27
Gambar 3.7	Adaptor	28
Gambar 3.8	Instalasi Penelitian	28
Gambar 3.9	Diagram Alir Penelitian	30
Gambar 4.1	Grafik Hubungan antara Kecepatan Udara Inlet (V) terhadap <i>Transfer Energi</i> (ΔH)	42
Gambar 4.2	Grafik Hubungan antara Kecepatan Udara Inlet (V) terhadap Efisiensi <i>Thermal</i> (η_{th})	45

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1	Data pengujian dan hasil pengolahan data pada temperatur <i>desiccant</i> 40 °C
Lampiran 2	Data pengujian dan hasil pengolahan data pada temperatur <i>desiccant</i> 50 °C
Lampiran 3	Data pengujian dan hasil pengolahan data pada temperatur <i>desiccant</i> 60 °C
Lampiran 4	Tabel A-1 : Sifat-sifat cairan dan uap jenuh
Lampiran 5	Tabel A-2 : Sifat-sifat termodinamika udara jenuh pada tekanan atmosfer 101,325 kPa
Lampiran 6	Tabel Sifat-sifat Larutan CaCl ₂
Lampiran 7	Diagram Kalor Spesifik Larutan CaCl ₂
Lampiran 8	Diagram <i>Psychrometric</i>
Lampiran 9	Tabel Uji F
Lampiran 10	Tabel Uji F (lanjutan)



RINGKASAN

Figur Kamajaya, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2010, *Pengaruh Temperatur CaCl_2 Terhadap Efisiensi Thermal Dari Liquid Desiccant Dehumidification System*, Dosen Pembimbing : Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT. dan Dr.Eng. Nurkholis Hamidi, ST., 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 temperatur *desiccant* yang disemprotkan ke dalam sistem. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh dari temperatur CaCl_2 terhadap efisiensi *thermal* dari sistem.

Dalam penelitian ini digunakan metode eksperimental. Pada penelitian ini digunakan *wiper washer assy* sebagai alat bantu untuk memompakan *desiccant* dari penampung yang akan disemprotkan melalui *spray nozzle*. Variasi kecepatan udara inlet yang digunakan sebesar 1,439 m/s; 1,554 m/s; 1,661 m/s; 1,857 m/s dan 1,948 m/s. Sedangkan variasi temperatur *desiccant* yang disemprotkan ditentukan sebesar 40 °C, 50 °C dan 60 °C.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar kecepatan udara inlet dan temperatur *desiccant* yang disemprotkan maka *transfer* energinya semakin tinggi karena uap air yang diikat *desiccant* semakin banyak. Dari peningkatan *transfer* energi maka akan diiringi peningkatan efisiensi *thermal* dari sistem. *Transfer* energi tertinggi yaitu 1,654 kJ/s didapatkan pada kecepatan udara inlet sebesar 1,948 m/s dan temperatur *desiccant* 60 °C. Sedangkan efisiensi *thermal* terbesar yaitu 92,3 % didapatkan pada kecepatan udara inlet sebesar 1,948 m/s dan temperatur *desiccant* 60 °C.

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

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Pengondisian udara pada tempat-tempat yang memiliki keadaan udara yang panas dan lembab, amatlah dibutuhkan. Hal ini dilakukan mengingat faktor kenyamanan yang dirasakan oleh penghuninya. Proses pengondisian udara dapat diartikan sebagai proses perlakuan terhadap kondisi suatu udara untuk mengatur suhu, kelembaban dan proses pendistribusiannya sehingga dicapai kondisi nyaman yang dibutuhkan oleh penghuni yang berada di dalam suatu ruangan. Pada perkembangan berikutnya pengaturan kelembaban bukan hanya dipakai untuk kenyamanan belaka namun juga dipakai dalam berbagai proses seperti pengeringan. Sasaran utama yang hendak dicapai dalam pengondisian udara adalah penurunan kelembaban, kelembaban relatif berkisar 40%-70%. Udara dengan kelembaban tinggi, kuantitas uap airnya dalam udara sangat tinggi dan berpotensi menyebabkan korosi. Selain itu, udara yang lembab juga menyebabkan bakteri tumbuh subur sehingga dapat merusak kesehatan.

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, energi yang dipakai juga sangat besar jika menggunakan sistem pendinginan konvensional.

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

Desiccant Dehumidification System (DDS) adalah alternatif yang layak dipakai saat ini. *Desiccant* adalah suatu zat yang dapat menyerap uap air yang terdapat dalam udara (higroskopis). Ada dua jenis *DDS*, yaitu *liquid* dan *solid DDS*. *DDS* banyak digunakan karena lebih ekonomis dan mampu menghasilkan kapasitas udara yang besar. Contoh dari *liquid desiccant* antara lain LiCl , LiBr , dan CaCl_2 .

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

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

Pada penelitian ini, kelembaban udara diturunkan dengan 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 *thermal* juga akan semakin meningkat.

Oleh karena perpindahan kalor mengalir dari temperatur tinggi ke rendah maka temperatur *desiccant* dikondisikan lebih tinggi daripada temperatur udara masuk. Pada temperatur *desiccant* yang berbeda akan menghasilkan *transfer* kalor yang berbeda pula. Oleh karena itu, perlu diteliti pengaruh temperatur *desiccant* yang disemprotkan ke dalam sistem terhadap *transfer* kalor yang dihasilkan sehingga dapat diperoleh efisiensi *thermal* yang optimal.

1.2 Rumusan Masalah

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

Bagaimana pengaruh temperatur CaCl_2 terhadap efisiensi *thermal* 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*.
2. Temperatur *desiccant* yang dikontrol sebesar 40 °C; 50 °C dan 60 °C.
3. Temperatur udara *inlet* selama pengujian adalah konstan.
4. Variasi kecepatan udara diperoleh dari bukaan blower 5 cm; 6 cm; 7 cm; 8 cm dan 9 cm.
5. Kondisi dianggap *steady state*.
6. Cara distribusi *liquid desiccant* menggunakan *spray nozzle*.
7. Debit *liquid desiccant* selama pengujian adalah konstan.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh temperatur CaCl_2 terhadap efisiensi *thermal* 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 efisiensi *thermal* yang besar dengan temperatur yang optimal.
3. Menambah wawasan serta dasar penelitian selanjutnya mengenai *dehumidification system* khususnya menggunakan *liquid desiccant*.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

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. Untuk meningkatkan proses dehumidifikasi maka penelitian dalam skripsi ini menggunakan variasi temperatur *desiccant*.

2.2 Dehumidifier

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

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

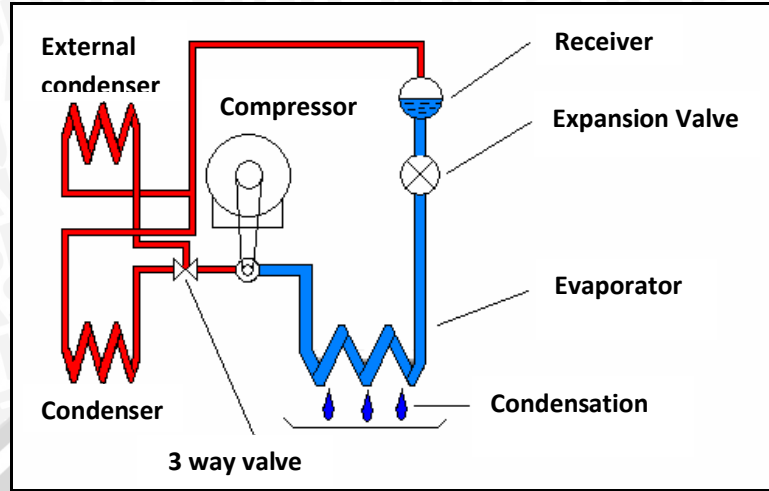
daripada tekanan uap air pada permukaan *desiccant*, maka uap air akan mengalir dari permukaan *desiccant* ke udara (www.masstech.org/renewableenergy/public_policy/DG/resources/2005-DG-MD-Nayak-2957.pdf).

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 °C – 30 °C.

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

1. *Heat Pump Dehumidifier*

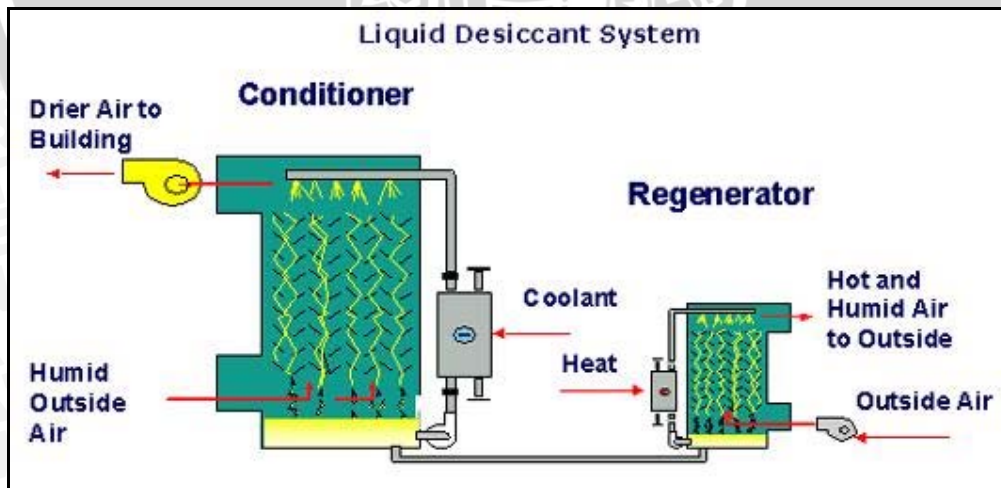
Dehumidifier ini menggunakan pompa panas (mirip dengan pompa panas pada pengondisi udara) atau *chemical absorbent* untuk menghilangkan uap air dalam udara tanpa mendinginkannya. *Heat Pump Dehumidifier (HPD)* (Gambar 2.1) menggunakan *fan* untuk mengalirkan udara dalam ruangan melalui koil penukar panas. 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/html-pages/how-does-dehumidifier-work.htm).



Gambar 2.1 : Heat Pump Dehumidifier
 Sumber : www.nt.ntnu.no

2. *Chemical Adsorbent Dehumidifier*

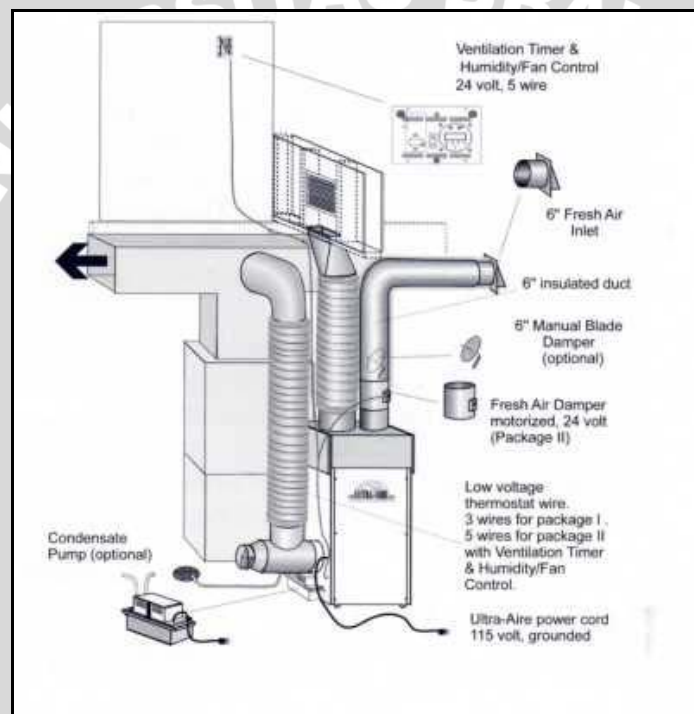
Jenis ini dirancang untuk iklim panas dan lembab. *Chemical Adsorbent Dehumidifier (CAD)* (Gambar 2.2) menyerap uap air dari udara menggunakan *desiccant*, yaitu sebuah zat pengering seperti *silica gel*. *Dehumidifier* ini membutuhkan lebih banyak energi dibanding *HPD*. Namun biayanya lebih efektif 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 *DDS*, yaitu *solid* dan *liquid DDS*. Pada kedua jenis sistem ini, masing-masing *desiccant* yang digunakan memiliki persamaan, yaitu tekanan uap airnya merupakan fungsi temperatur dan kandungan embun (uap air). Namun, perbedaan antara *solid desiccant* dan *liquid desiccant* adalah reaksi pengembunannya. *Solid desiccant* seperti *silica gel* kebanyakan menyerap uap air tanpa reaksi kimia. Sedangkan *liquid desiccant* biasanya menyerap uap air melalui reaksi kimia maupun perubahan fisik (www.masstech.org/renewableenergy/public_policy/DG/resources/2005-DG-MD-Nayak-2957.pdf). *Liquid DDS* lebih banyak digunakan karena *desiccant* yang digunakan lebih mudah didapat, harganya lebih ekonomis dan mampu menghasilkan kapasitas udara yang besar dibanding dengan *Solid DDS*.

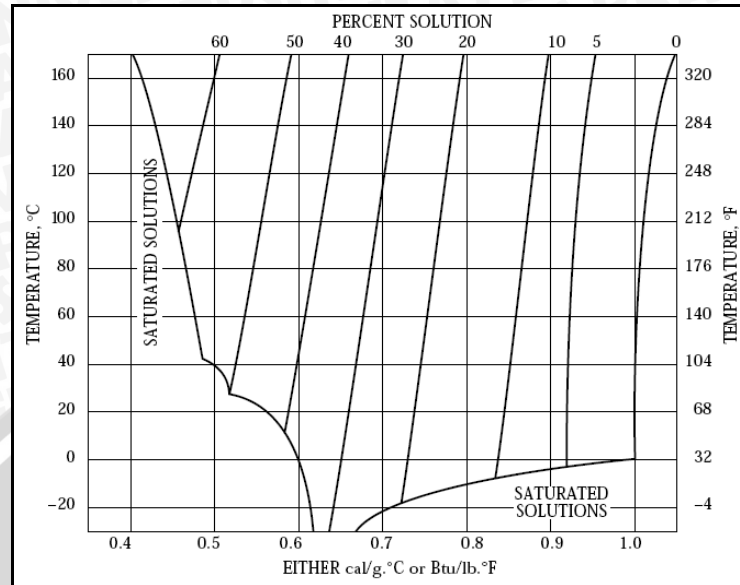
2.4 Desiccant Cair

Desiccant 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	$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	$\text{CaCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	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)	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/cm ³	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

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

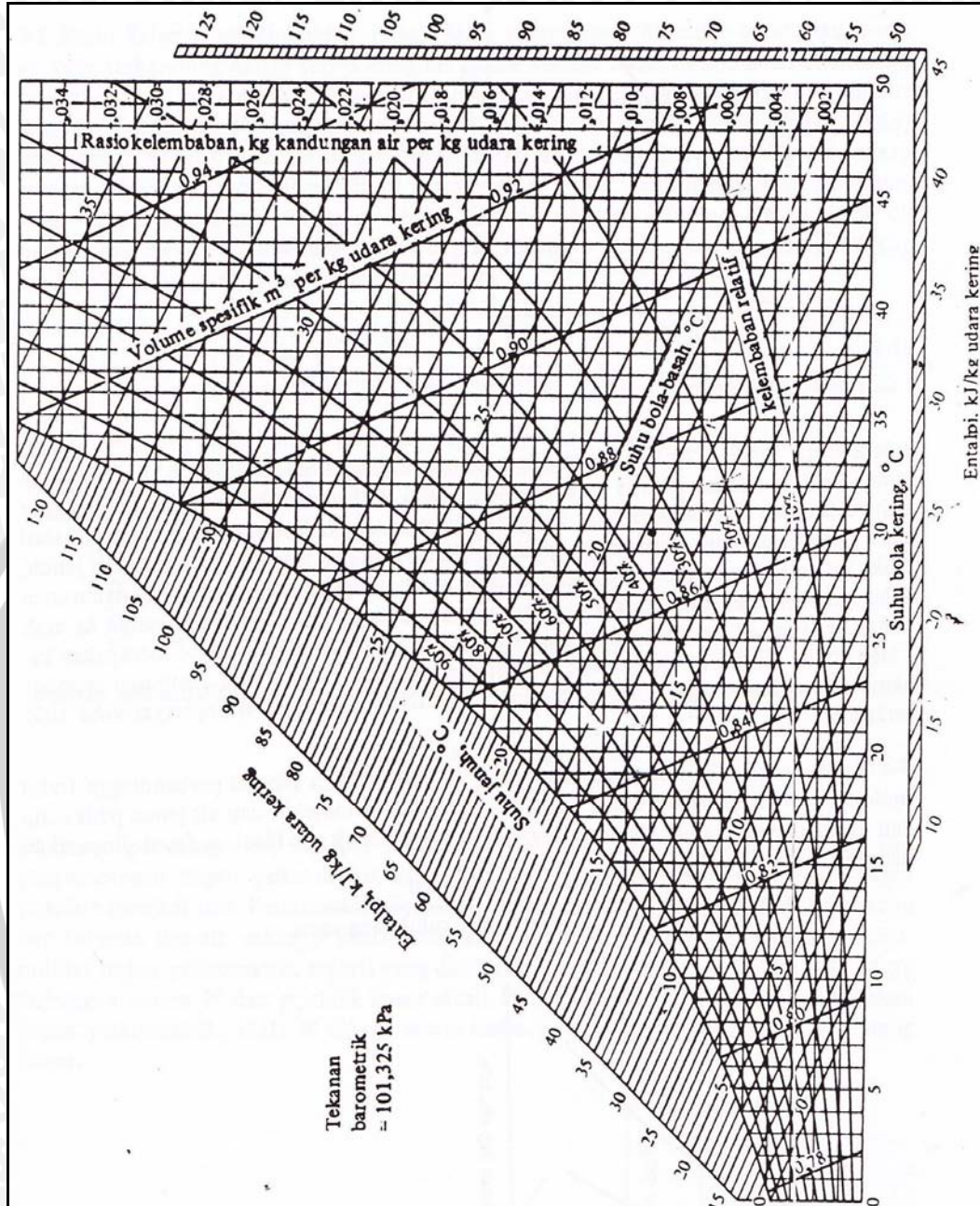


Gambar 2.4 : Diagram Kalor Spesifik Larutan CaCl_2
 Sumber : www.dynalene.com/pdf/CalciumChloridHandbook.pdf

2.5 *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:

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

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

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

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

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

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

$$\omega = \frac{P_v R_a}{(P - P_v) R_v} \quad (2-3)$$

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

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

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 penjunuh 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 penjunuh adiabatik. Selama udara yang ada di sekitarnya belum jenuh, maka temperatur yang ditunjukkan selalu di bawah temperatur bola keringnya. Hal ini terjadi karena apabila udara tidak jenuh dan sumbu yang digunakan selalu basah, maka tekanan parsial uap air di sekitar sumbu bola basah akan lebih besar dari pada tekanan parsial di atmosfer, sehingga terjadilah penguapan.

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

f. Titik Embun (*Dew Point*)

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

g. Entalpi

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

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

Keterangan :

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

C_p = kapasitas spesifik udara kering pada tekanan konstan = $1,0 \text{ kJ/kg}_{\text{udara kering}} \text{ K}$

T_c = Suhu campuran antara udara dan uap ($^{\circ}\text{C}$)

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

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

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

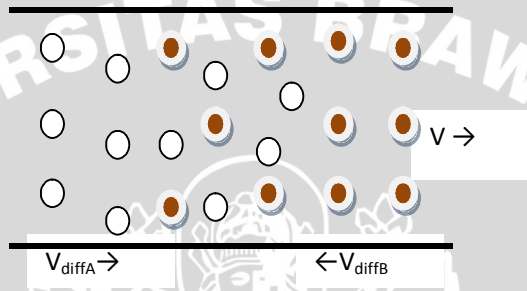
2.6.1 Proses Difusi

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

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

2.6.2 Difusi Fluida yang Memiliki Beda Konsentrasi dan Kecepatan Besar

Pada sistem ini (Gambar 2.6), terjadi proses difusi molekuler 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 2.6 : Gambar proses difusi dengan fluida yang memiliki beda konsentrasi dan kecepatan yang besar.

Sumber : Cengel, 1998 : 651

Pada sistem tersebut berlaku :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Keterangan:

● = fluida A

○ = fluida B

ρ_A = massa jenis fluida A (kg/m^3)

- ρ_B = massa jenis fluida B (kg/m³)
 ρ = massa jenis fluida campuran (kg/m³)
 m_A = laju massa alir fluida A (kg/s)
 m_B = laju massa alir fluida B (kg/s)
 m = laju massa alir campuran antara fluida A dan fluida B (kg/s)
 $V_{diff A}$ = 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 (m³)

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

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

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

$$V = w_A V_A + w_B V_B \quad (\text{Cengel, 1998: 651}) \quad (2-7)$$

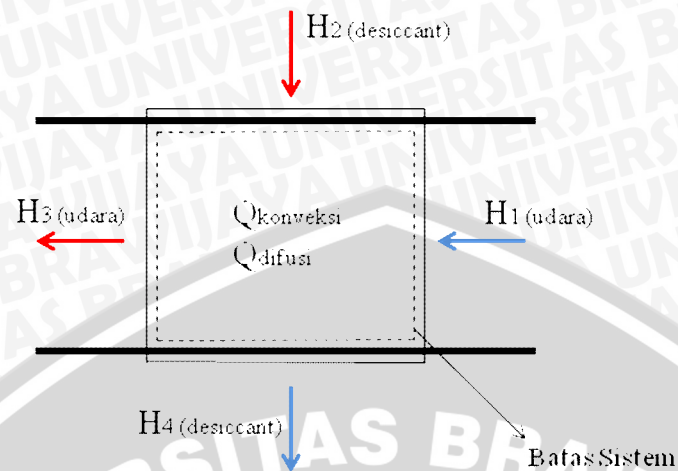
Keterangan :

w_A = fraksi massa fluida A

w_B = fraksi massa fluida B

2.6.3 Keseimbangan Kalor pada Sistem

Udara dengan temperatur ruangan dialirkan ke dalam sistem dengan menggunakan blower yang kemudian disinggungkan dengan partikel *desiccant* yang memiliki temperatur lebih tinggi daripada temperatur udara. Udara bersinggungan dengan partikel *desiccant* secara langsung sehingga timbul proses *transfer* kalor antara kedua zat tersebut. Gambar 2.7 menunjukkan keseimbangan kalor yang terjadi di dalam *dehumidifier*.



Gambar 2.7 : Kestimbangan 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.

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 :

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

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

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

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

Dengan demikian dapat kita simpulkan, seiring dengan kenaikan kecepatan udara maka bilangan *Reynold*, bilangan *Nusselt* dan koefisien konveksi akan semakin besar, akibatnya perpindahan kalor akibat proses konveksipun akan semakin meningkat. Hal tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut :

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

dimana :

Re = bilangan *Reynold*

V = kecepatan udara (m/s)

d_H = diameter hidrolis

C,m,n = konstanta

Pr = bilangan *Prandtl*

h = koefisien perpindahan panas konveksi (W/m² 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 :

∑ Laju kalor keluar :

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

Sehingga dapat disimpulkan :

\sum Laju kalor keluar = \sum Laju kalor masuk

$$H_3 + H_4 = H_1 + H_2 \quad (2-12)$$

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

$$h = C_p T_C + \omega h_g \quad (\text{Stoecker, 1992 : 42}) \quad (2-13)$$

Sehingga nilai energi kalor udara masuk dihitung dengan rumus :

$$H_1 = \dot{m}_{a1} (C_p T_1 + \omega_1 h_{g1}) \quad (2-14)$$

Keterangan :

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

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

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

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

Nilai kalor udara keluar dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$H_3 = \dot{m}_{a3} (C_p T_3 + \omega_3 h_{g3}) \quad (2-15)$$

dimana :

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

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

ω_3 = kelembaban absolut udara keluar ($\text{kg}_{\text{uap air}}/\text{kg}_{\text{udara kering}}$)

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

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

$$\dot{m}_{a1} = \dot{m}_{a3} = \dot{m}_a \quad (2-16)$$

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

$$\omega = \frac{m_v}{m_a} \quad (\text{Stoecker,1992 : 41}) \quad (2-17)$$

$$\omega \times m_a = m_v \quad (2-18)$$

$$m = \rho \times V \times A \quad (\text{Cengel,1994 : 98}) \quad (2-19)$$

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

$$m = m_a + m_v$$

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

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

$$m_a = \frac{m}{(1 + \omega)} \quad (2-20)$$

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 :

$$H_2 = m_2 \times h_2 \quad (2-21)$$

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

$$H_2 = H_d + H_w$$

$$H_2 = m_2 \cdot T_2 (Cp_d + Cp_w) \quad (2-22)$$

Keterangan :

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

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

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

T_2 = temperatur *desiccant* inlet (°C)

C_{p_d} = kalor spesifik *desiccant*

C_{p_w} = kalor spesifik air = 4,19 kJ/kg. K

$$H_4 = \dot{m}_4 \times h_4 \quad (2-23)$$

$$H_4 = H_d + H_w$$

$$H_4 = \dot{m}_4 \cdot T_4 (C_{p_d} + C_{p_w}) \quad (2-24)$$

Keterangan :

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

T_4 = temperatur *desiccant* outlet (°C)

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

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

$$\dot{m}_4 = \rho_{desiccant} \times \dot{Q}_4 \quad (2-25)$$

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 :

$$H_1 + H_2 = H_3 + H_4$$

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

(2-26)

Nilai transfer energi dihitung dengan persamaan :

$$\Delta H = H_1 - H_3 = H_2 - H_4 \quad (2-27)$$

2.6.4 Efisiensi *Thermal*

Efisiensi merupakan perbandingan antara kerja yang dihasilkan dengan energi yang dikorbankan. Dalam termodinamika, efisiensi *thermal* adalah ukuran yang menunjukkan performa peralatan *thermal* seperti mesin pembakaran dalam dan sebagainya. Panas yang masuk adalah energi yang didapatkan dari sumber energi. Output yang diinginkan dapat berupa panas atau kerja, atau mungkin keduanya (http://id.wikipedia.org/wiki/Efisiensi_thermal).

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

Sehingga dapat dirumuskan :

$$\eta_{th} = \frac{\text{berguna}}{\text{pengorbanan}} \cdot 100\%$$

$$\eta_{th} = \frac{\Delta H}{H_2} \cdot 100\% \quad (2-28)$$

Besarnya nilai efisiensi *thermal* sangat dipengaruhi oleh besarnya nilai energi kalor yang dikandung oleh *desiccant* yang masuk ke dalam sistem (H_2). Dimana nilai energi kalor *desiccant* dipengaruhi oleh temperatur *desiccant*.

$$H_2 = H_d + H_w$$

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

Sehingga besarnya nilai temperatur *desiccant* yang masuk ke dalam sistem (T_2) mempengaruhi nilai efisiensi *thermal* yang dihasilkan.

2.7 Hipotesis

Semakin tinggi temperatur *liquid desiccant* (CaCl_2) yang masuk ke dalam sistem menyebabkan kalor *liquid desiccant* yang dipindahkan dan jumlah massa uap air yang diserap akan semakin besar, sehingga proses *transfer* energi serta efisiensi *thermal* akan semakin meningkat.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

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

3.2 Variabel Penelitian

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

1. Variabel bebas (*independent variable*)

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya kita tentukan dan tidak dipengaruhi oleh variabel lain, berfungsi sebagai sebab dalam penelitian. Adapun yang merupakan variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi kecepatan udara *inlet* 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 :

- *Transfer energi*
- Efisiensi *thermal*

3. Variabel terkontrol

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

3.3 Alat-alat Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari :

1. *Wind tunnel*

Wind tunnel (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 :

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

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

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

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

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/m³)

ρ_{minyak} = Massa jenis minyak pada manometer

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

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

SG_{minyak} = *specific 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 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. Peralatan pendukung

- *Digital Multimeter*

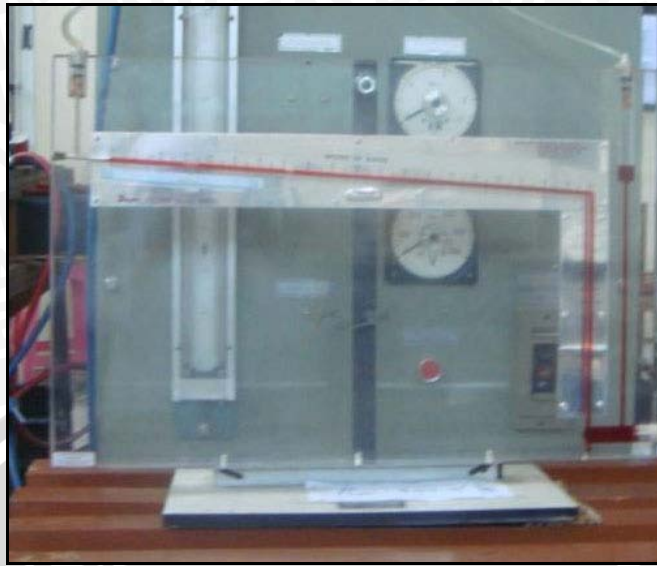
Alat ini berfungsi untuk mengubah data *analog* dari *termocouple* menjadi temperatur dengan tampilan *digital*.

- *Thermocontroller*

Fungsi dari alat ini adalah memutuskan arus listrik yang mengalir pada *heater* secara otomatis ketika temperatur *desiccant* mencapai 40 °C; 50 °C dan 60 °C pada setiap pengambilan data serta menghidupkannya kembali ketika temperatur *desiccant* di bawah 40 °C; 50 °C dan 60 °C. Toleransi dari pengaturan temperatur ini adalah $\pm 0,5$ °C.

4. *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. 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

6. *Spray Nozzle*

Spray nozzle (Gambar 3.3) 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 3.3 : *Spray Nozzle*

7. Gelas ukur

Gelas ukur ini (Gambar 3.4) 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 3.4 : Gelas Ukur

8. *Heater*

Heater (Gambar 3.5) 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 3.5 : *Heater*

9. *Preheater*

Alat ini (Gambar 3.6) digunakan untuk mengondisikan udara inlet. *Preheater* ini mengonversi energi listrik menjadi energi panas melalui elemen pemanas yang selanjutnya digunakan untuk memanaskan udara inlet.



Gambar 3.6 : *Preheater*

10. Adaptor

Adaptor (Gambar 3.7) 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 :

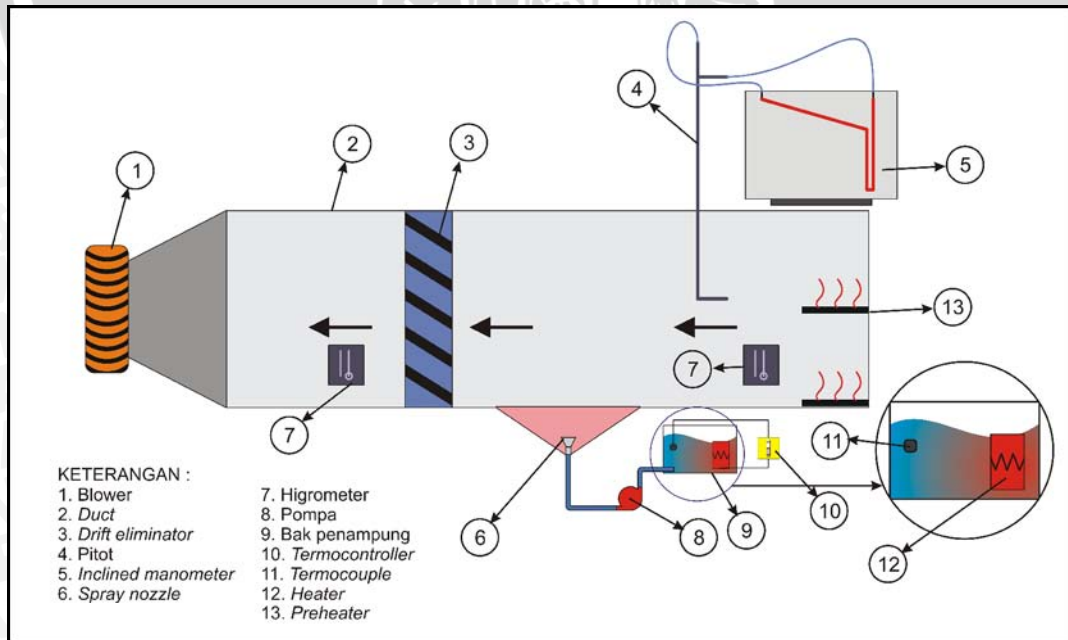
- Arus : 5 A
- Tegangan : 12 Volt



Gambar 3.7 : Adaptor

3.4 Instalasi Penelitian

Gambar 3.8 menjelaskan instalasi penelitian beserta keterangannya dan beberapa alat pendukungnya.



Gambar 3.8 : Instalasi Penelitian

3.5 Prosedur penelitian

Persiapan meliputi :

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

Pelaksanaan percobaan :

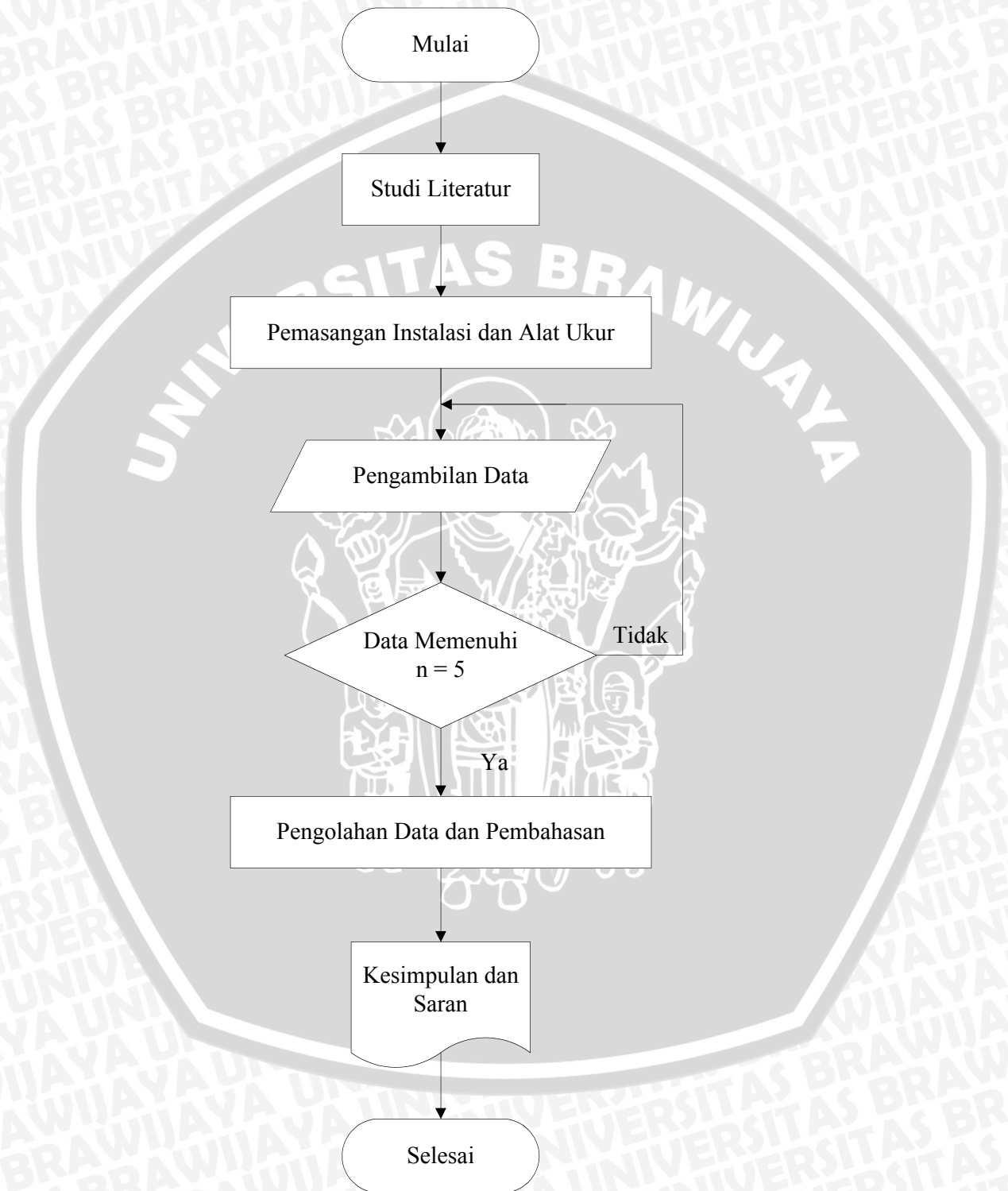
1. Memasang semua instalasi penelitian pada *wind tunnel* dengan temperatur *desiccant* sebesar 40 °C.
2. Menghidupkan pompa dan mengatur debit air sesuai dengan yang diinginkan.
3. Hidupkan blower dengan bukaan 5 cm.
4. Setelah keadaan mencapai kondisi *steady*, pengambilan data dapat dilakukan.
5. Mengambil data temperatur udara masuk, temperatur udara keluar 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 temperatur *desiccant* sebesar 50 °C dan 60 °C.
8. Data diolah, kemudian dianalisa pengaruh temperatur CaCl_2 terhadap efisiensi *thermal*. Data dianalisa dengan rumusan dan persamaan sesuai dengan ilmu mekanika fluida dan termodinamika. Dari analisa tersebut nantinya akan dapat diketahui hubungan antara variabel bebas dan variabel terkontrol terhadap variabel terikatnya. Dari hubungan tersebut akan digunakan untuk menjawab rumusan masalah yang telah dikemukakan lebih awal.
9. Menarik kesimpulan.

3.6 Tempat Penelitian

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

3.7 Diagram Alir Penelitian

Gambar 3.9, 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 dan 4.3) adalah data hasil pengujian pengaruh temperatur CaCl₂ terhadap efisiensi *thermal* dari *Liquid Desiccant Dehumidification System* :

Tabel 4.1 : Tabel hasil pengambilan data yang diperoleh pada $T_{desiccant\ inlet} = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$
(Lampiran 1).

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

Bukaan Blower (cm)	T _{d in} (°C)	T _{w in} (°C)	T _{d out} (°C)	T _{w out} (°C)	V (m/s)
5	32	29	31	27,5	1,439
	32	29	31	27,5	
6	32	29	31,5	27,5	1,554
	32	29	31	27,5	
7	32	29,5	31	27,5	1,661
	32	29	31,5	27	
8	32	29,5	31	28	1,857
	32	29	31	27	
9	32	29,5	31	27,5	1,948
	32	29	31	27	

Tabel 4.2 : Tabel hasil pengambilan data yang diperoleh pada $T_{desiccant\ inlet} = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$
(Lampiran 2).

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

Bukaan Blower (cm)	T _{d in} (°C)	T _{w in} (°C)	T _{d out} (°C)	T _{w out} (°C)	V (m/s)
5	32	29	31	27	1,439
	32	29	31	27	
6	32	29,5	31	27,5	1,554
	32	29	31,5	27	
7	32	29,5	31,5	27	1,661
	32	30	31,5	27,5	
8	32	31	31	27,5	1,857
	32	31	31	27,5	
9	32	31	31	27,5	1,948
	32	31	31	27	

Tabel 4.3 : Tabel hasil pengambilan data yang diperoleh pada $T_{desiccant\ inlet} = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$
(Lampiran 3).

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

Bukaan Blower (cm)	$T_{d\ in}$ ($^{\circ}\text{C}$)	$T_{w\ in}$ ($^{\circ}\text{C}$)	$T_{d\ out}$ ($^{\circ}\text{C}$)	$T_{w\ out}$ ($^{\circ}\text{C}$)	V (m/s)
5	32	29,5	31	27	1,439
	32	29,5	31,5	27	
6	32	29,5	31	27	1,554
	32	29,5	31,5	27	
7	32	30	31	26,5	1,661
	32	30	31	27	
8	32	29,5	31	26,5	1,857
	32	30	31,5	27	
9	32	29,5	31,5	26	1,948
	32	29,5	31,5	26,5	

4.1.2 Contoh Perhitungan

Data yang diperoleh dari pengujian untuk temperatur inlet $50\text{ }^{\circ}\text{C}$:

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

- $T_{din} = 32\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $T_{win} = 29\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $T_{dout} = 31\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $T_{wout} = 27\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $Z_1 = 3\text{ cm}$
- $A = 30\text{ cm} \times 15,5\text{ cm}$

b. Data yang diambil dari diagram *psycrometric*

- $RH_1 = 79\%$
- $RH_3 = 74\%$
- $\omega_1 = 0,0242\text{ kg}_{\text{uap air}}/\text{kg}_{\text{udara kering}}$
- $\omega_3 = 0,021\text{ kg}_{\text{uap air}}/\text{kg}_{\text{udara kering}}$

c. Data yang diperoleh dari table A_1 dan tabel A_2

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

Pengolahan Data :

1. Perhitungan Kecepatan (V_1)

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

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

$$V_1 = c \times \sqrt{2g \frac{\rho_{\text{air}} \cdot SG_{\text{MINYAK}} (z \cdot \sin 3,75 / 1000)}{\rho_{\text{udara}}}}$$

$$V_1 = 0,85 \times \sqrt{2 \cdot 9,81 \frac{10^3 \cdot 0,826 (3 \cdot \sin 3,75 / 10^3)}{1,103}}$$

$$V_1 = 1,439 \text{ m/s}$$

2. Laju massa alir udara inlet (m_1)

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

$$m_1 = 1,103 \times 1,439 \times 0,3 \times 0,155$$

$$m_1 = 0,074 \text{ kg/s}$$

3. Laju massa alir udara kering (m_a)

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

$$m_a = \frac{0,074}{(1 + 0,0242)}$$

$$m_a = 0,072 \text{ kg/s}$$

4. Laju massa alir udara outlet (m_3)

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

$$m_3 = 0,072 \times (1 + 0,021)$$

$$m_3 = 0,074 \text{ kg/s}$$

5. Laju energi kalor udara sisi masuk (H_1)

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

$$H_1 = 0,072 \times (1 \times 32 + 2554,55 \times 0,0242)$$

$$H_1 = 6,76 \text{ kJ/s}$$

6. Laju energi kalor udara sisi keluar (H_3)

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

$$H_3 = 0,072 \times (1 \times 31 + 2550,9 \times 0,021)$$

$$H_3 = 6,093 \text{ kJ/s}$$

7. Transfer Energi (ΔH)

$$\Delta H = H_1 - H_3$$

$$\Delta H = 6,76 - 6,093$$

$$\Delta H = 0,667 \text{ kJ/s}$$

8. Efisiensi *thermal*

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

$$\eta_{th} = \frac{\Delta H}{H_2} \times 100 \%$$

Nilai massa alir *liquid desiccant* dapat dihitung dengan rumus :

$$\dot{m}_2 = \rho \times \dot{Q}_2$$

Desiccant yang digunakan adalah larutan CaCl_2 maka massa jenis yang dikandung adalah massa jenis dari *desiccant* dan air, sehingga :

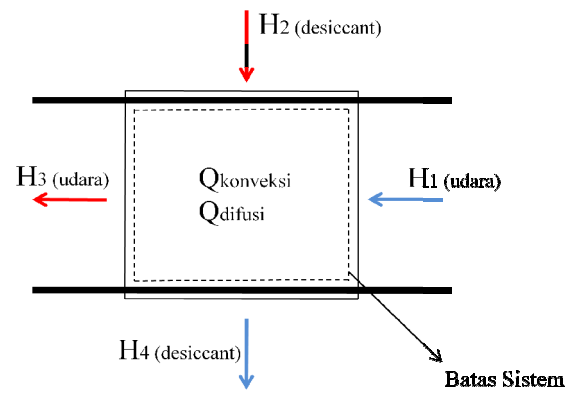
$$\dot{m}_2 = \rho \times \dot{Q}_2$$

$$\dot{m}_2 = (\rho_{air} + \rho_{desiccant}) \times \dot{Q}_2$$

$$\dot{m}_2 = (1000 + 2150) \times 0,00000147$$

$$\dot{m}_2 = 0,00463 \text{ kg/s}$$

Dari diagram kalor spesifik larutan CaCl_2 maka dapat ditentukan bahwa kalor spesifik *liquid desiccant* 50 % pada temperatur 50°C adalah sebesar



2,218 kJ/kg.K, sehingga nilai energi kalor dari *liquid desiccant* yang dipindahkan ke dalam sistem :

$$H_2 = H_d + H_w$$

$$H_2 = (m_2 .h_d) + (m_2 .h_w)$$

$$H_2 = (m_2 .Cp_d .T_2) + (m_2 .Cp_w .T_2)$$

$$H_2 = m_2 \times T_2 (Cp_d + Cp_w)$$

$$H_2 = 0,00463 \times 50(2,218 + 4,19)$$

$$H_2 = 1,484 \text{ kJ / s}$$

Sehingga nilai efisiensi *thermal* :

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

$$\eta_{th} = \frac{\Delta H}{H_2} \times 100 \%$$

$$\eta_{th} = \frac{0,667}{1,484} \times 100 \%$$

$$\eta_{th} = 44,93 \%$$

4.1.3 Hasil Pengolahan Data

Hasil pengolahan data akan ditampilkan dalam bentuk tabel (Tabel 4.4 dan Tabel 4.5) berikut ini :

Tabel 4.4 : Tabel hasil pengolahan data untuk *transfer* energi, ΔH (kJ/s).

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

		<i>Transfer energi, ΔH (kJ/s), pada temperatur</i>		
Bukaan Blower (cm)	V (m/s)	40 °C	50 °C	60 °C
5	1,439	0,481	0,667	0,888
		0,481	0,667	0,889
6	1,554	0,580	0,759	0,959
		0,520	0,721	0,960
7	1,661	0,812	1,026	1,452
		0,771	1,068	1,239
8	1,857	0,716	1,146	1,385
		0,861	1,146	1,386
9	1,948	0,952	1,202	1,654
		0,903	1,202	1,451

Tabel 4.5 : Tabel hasil pengolahan data untuk efisiensi *thermal*, η_{th} (%).

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

Bukaan Blower (cm)	V (m/s)	Efisiensi <i>thermal</i> , η_{th} (%), pada temperatur		
		40 °C	50 °C	60 °C
5	1,439	40,8213	44,9273	49,5647
		40,8213	44,9273	49,6056
6	1,554	49,2131	51,1855	53,536
		44,092	48,5804	53,5802
7	1,661	68,8508	69,1753	81,033
		65,3466	72,0162	69,1303
8	1,857	60,7305	77,2589	77,3084
		72,9794	77,2589	77,3427
9	1,948	80,7347	81,0298	92,3234
		76,5414	81,0484	81,0083

4.1.4 Pengujian Hipotesis

Pengujian hipotesis adalah suatu prosedur yang akan menghasilkan suatu keputusan yaitu keputusan menerima atau menolak hipotesis. Dalam penelitian ini digunakan analisis varian (Anova) dua arah untuk menguji hipotesis. Pengujian Anova dua arah merupakan pengujian hipotesis tiga rata-rata atau lebih dengan dua faktor yang berpengaruh.

A. Pengujian Hipotesis Pengaruh Kecepatan Udara Inlet dan Temperatur *Desiccant* terhadap *Transfer Energi* (ΔH).

Dalam pengujian hipotesis ini faktor yang diteliti adalah temperatur *desiccant* dan kecepatan udara inlet. Masing-masing faktor memiliki beberapa kondisi (perlakuan) yang berbeda. Temperatur *desiccant* memiliki 3 kondisi yaitu 40 °C, 50 °C dan 60 °C. 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 temperatur *desiccant*

c. $H_{03} : (\alpha\beta)_{11} = (\alpha\beta)_{12} = \dots = (\alpha\beta)_{ij} = 0$

$H_{13} : \text{sekurang-kurangnya ada satu } (\alpha\beta)_{ij} \neq 0$

Dimana $(\alpha\beta)_{ij}$ = rata-rata interaksi antara kondisi ke-*i* faktor kecepatan udara inlet dan kondisi ke-*j* faktor temperatur *desiccant*

2. Taraf nyata dan nilai $F_{\text{tabel}} (\alpha = 5\%)$

a. Faktor kecepatan udara inlet

$F_{0,05}(4,15) = 3,06$

b. Faktor temperatur *desiccant*

$F_{0,05}(2,15) = 3,68$

c. Faktor interaksi

$F_{0,05}(8,15) = 2,64$

3. Kriteria pengujian

a. H_0 diterima apabila $F_{\text{hitung}} \leq F_{\alpha}(v_1, v_2)$

b. H_0 ditolak apabila $F_{\text{hitung}} > F_{\alpha}(v_1, v_2)$

4. Uji statistik

Tabel di bawah ini (Tabel 4.6) adalah tabel hasil data perhitungan *transfer energi*.

Tabel 4.6 : Tabel pengolahan data pengujian hipotesis pengaruh kecepatan udara inlet dan temperatur *desiccant* terhadap *transfer energi* (ΔH).

		<i>Transfer energi, ΔH (kJ/s), pada temperatur</i>			Σ_B
		40 °C	50 °C	60 °C	
Kecepatan Udara Inlet (m/s)	1,439	0,481	0,667	0,888	4,073
	Σ_{K1}	0,962	1,334	1,777	
	1,554	0,580	0,754	0,959	4,499
	Σ_{K2}	1,1	1,48	1,919	
	1,661	0,812	1,026	1,452	6,368
	Σ_{K3}	1,583	2,094	2,691	
	1,857	0,716	1,146	1,385	6,64
	Σ_{K4}	1,577	2,292	2,771	
	1,948	0,952	1,202	1,654	7,364
	Σ_{K5}	1,855	2,404	3,105	
	Σ_{KTot}	7,077	9,604	12,263	28,944

$$F K = \frac{28,944^2}{5.3.2} = 27,925$$

$$J K T = (0,481^2 + 0,481^2 + \dots + 1,451^2) - 27,925$$

$$= 30,738 - 27,925 = 2,813$$

$$J K B = \frac{(4,073^2 + 4,499^2 + 6,368^2 + 6,64^2 + 7,364^2)}{3 \times 2} - 27,925$$

$$J K B = 29,283 - 27,925 = 1,358$$

Dimana B = baris, yaitu faktor kecepatan udara inlet

$$J K K = \frac{(7,077^2 + 9,604^2 + 12,263^2)}{5 \times 2} - 27,925$$

$$J K K = 29,27 - 27,925 = 1,345$$

Dimana K = kolom, yaitu faktor temperatur *desiccant*

$$J K P e r l a k u a n = \frac{(0,962^2 + 1,1^2 + \dots + 3,105^2)}{2} - 27,925$$

$$J K P e r l a k u a n = 30,679 - 27,925 = 2,754$$

Dimana perlakuan = kombinasi antara kondisi ke-*i* faktor kecepatan udara inlet dan kondisi ke-*j* faktor temperatur *desiccant*

$$J K I = 2,754 - 1,358 - 1,345 = 0,051$$

Dimana I = interaksi antara faktor kecepatan udara inlet dan faktor temperatur *desiccant*

$$J K G = 2,813 - 2,754 = 0,059$$

5. Kesimpulan

Dari tabel analisis varian (Tabel 4.7) terlihat masing-masing perlakuan $F_{hitung} > F_{tabel}$ dengan keyakinan 95 %.

Tabel 4.7 : Tabel analisis varian pengaruh kecepatan udara inlet dan temperatur *desiccant* terhadap *transfer* energi (ΔH).

Sumber varian	JK	Db	KT	F_{hitung}	$F_{\alpha,5\%}$
Efek kecepatan udara inlet	1,358	4	0,339534	85,96095	3,06
Efek temperatur <i>desiccant</i>	1,345	2	0,67251	170,2615	3,68
Interaksi	0,051	8	0,006321	1,600354	2,64
Galat	0,059	15	0,00395		
Total	2,813	29			

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 *transfer* energi.
- b. Faktor temperatur *desiccant*
 H_0 ditolak maka H_1 diterima, artinya ada pengaruh variasi temperatur *desiccant* terhadap *transfer* energi.
- c. Interaksi antar dua faktor tersebut
 H_0 diterima sehingga tidak ada pengaruh interaksi kedua faktor.

B. Pengujian Hipotesis Pengaruh Kecepatan Udara Inlet dan Temperatur *Desiccant* terhadap Efisiensi *Thermal* (η_{th}).

Langkah-langkah pengujian sebagai berikut :

1. Penentuan Formulasi Hipotesis
 - a. $H_{01} : \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5$
 $H_{11} : \text{sekurang-kurangnya ada satu } \alpha_i \neq 0$
 Dimana $\alpha_i = \text{rata-rata kondisi ke-}i \text{ pada faktor kecepatan udara inlet}$
 - b. $H_{02} : \beta_1 = \beta_2 = \beta_3$
 $H_{12} : \text{sekurang-kurangnya ada satu } \beta_j \neq 0$
 Dimana $\beta_j = \text{rata-rata kondisi ke-}j \text{ pada faktor temperatur } desiccant$
 - c. $H_{03} : (\alpha\beta)_{11} = (\alpha\beta)_{12} = \dots = (\alpha\beta)_{ij} = 0$
 $H_{13} : \text{sekurang-kurangnya ada satu } (\alpha\beta)_{ij} \neq 0$
 Dimana $(\alpha\beta)_{ij} = \text{rata-rata interaksi antara kondisi ke-}i \text{ faktor kecepatan udara inlet dan kondisi ke-}j \text{ faktor temperatur } desiccant$
2. Taraf nyata dan nilai $F_{tabel} (\alpha = 5\%)$
 - a. Faktor kecepatan udara inlet
 $F_{0,05}(4,15) = 3,06$
 - b. Faktor temperatur *desiccant*
 $F_{0,05}(2,15) = 3,68$
 - c. Faktor interaksi
 $F_{0,05}(8,15) = 2,64$

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 4.8) adalah tabel hasil data perhitungan efisiensi *thermal*.

Tabel 4.8 : Tabel pengolahan data pengujian hipotesis pengaruh kecepatan udara inlet dan temperatur *desiccant* terhadap efisiensi *thermal* (η_{th}).

		Efisiensi <i>thermal</i> , η_{th} (%), pada temperatur			Σ_B
		40 °C	50 °C	60 °C	
Kecepatan Udara Inlet (m/s)	1,439	40,8213 40,8213	44,9273 44,9273	49,5647 49,6056	
	Σ_{K1}	81,6426	89,8546	99,1703	270,6675
	1,554	49,2131 44,092	51,1855 48,5804	53,536 53,5802	
	Σ_{K2}	93,3051	99,7659	107,1162	300,1872
	1,661	68,8508 65,3466	69,1753 72,0162	81,033 69,1303	
	Σ_{K3}	134,1974	141,1915	150,1633	425,5522
	1,857	60,7305 72,9794	77,2589 77,2589	77,3084 77,3427	
	Σ_{K4}	133,7099	154,5178	154,6511	442,8788
	1,948	80,7347 76,5414	81,0298 81,0484	92,3234 81,0083	
	Σ_{K5}	157,2761	162,0782	173,3317	492,686
	Σ_{KTot}	600,1311	647,4080	684,4326	1931,9717

$$F K = \frac{1931,9717^2}{5.3.2} = 124417,2$$

$$J K T = (40,8213^2 + 40,8213^2 + \dots + 81.0083^2) - 124417,2$$

$$= 131205,4 - 124417,2 = 6788,246$$

$$J K B = \frac{(270,6675^2 + 300,1872^2 + 425,5522^2 + 442,8788^2 + 492,6880^2)}{3 \times 2} - 124417,2$$

$$J K B = 13058,753 - 124417,2 = 6141,02$$

Dimana B = baris, yaitu faktor kecepatan udara inlet

$$J K K = \frac{(600,131^2 + 647,408^2 + 684,4326^2)}{5 \times 2} - 124417,2$$

$$J K K = 130558.1753 - 124417,2 = 357,089$$

Dimana K = kolom, yaitu faktor temperatur *desiccant*

$$J K P e r l a k u a n = \frac{(81,6426^2 + 93,3051 + \dots + 173,3317^2)}{2} - 124417,2$$

$$J K P e r l a k u a n = 130960,0552 - 124417,2 = 6542,9$$

Dimana perlakuan = kombinasi antara kondisi ke-*i* faktor kecepatan udara inlet dan dan kondisi ke-*j* faktor temperatur *desiccant*

$$J K I = 6542,9 - 6141,02 - 357,089 = 44,79$$

Dimana I = interaksi antara faktor kecepatan udara inlet dan faktor temperatur *desiccant*

$$J K G = 6788,246 - 124417,2 = 245,3463$$

5. Kesimpulan

Dari tabel analisis varian (Tabel 4.9) terlihat masing-masing perlakuan $F_{hitung} > F_{tabel}$ dengan keyakinan 95 %.

Tabel 4.9 : Tabel analisis varian pengaruh kecepatan udara inlet dan temperatur *desiccant* terhadap efisiensi *thermal* (η_{th}).

Sumber varian	JK	Db	KT	F _{hitung}	F _{α,5%}
Efek kecepatan udara inlet	6141,02	4	1535,2551	93,86254	3,06
Efek temperatur <i>desiccant</i>	357,089	2	178,54449	10,91587	3,68
Interaksi	44,79	8	5,5988669	0,342304	2,64
Galat	245,3463	15	16,356419		
Total	6788,246	29			

Atau dapat dinyatakan sebagai berikut :

- a. Faktor kecepatan udara inlet

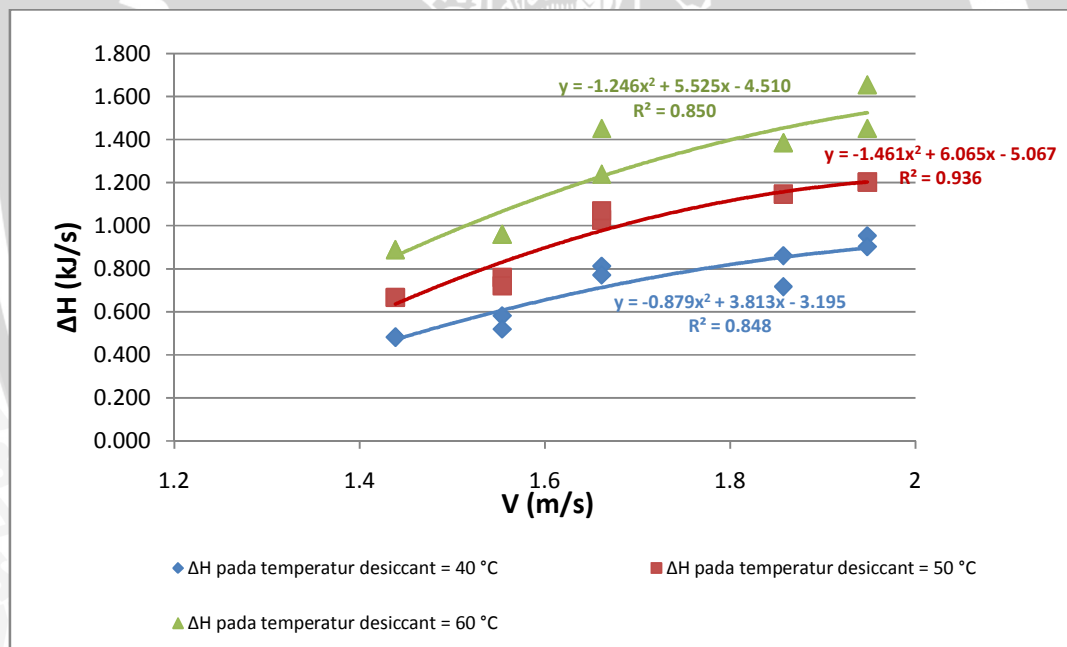
H_0 ditolak maka H_1 diterima, artinya ada pengaruh variasi kecepatan udara inlet terhadap efisiensi *thermal*.

- b. Faktor temperatur *desiccant*
 H_0 ditolak maka H_1 diterima, artinya ada pengaruh variasi temperatur *desiccant* terhadap efisiensi *thermal*.
- c. Interaksi antar dua faktor tersebut
 H_0 diterima sehingga tidak ada pengaruh interaksi kedua faktor.

4.2 Pembahasan Grafik

4.2.1 Pembahasan Grafik Hubungan antara Kecepatan Udara Inlet (V) terhadap *Transfer Energi* (ΔH)

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



Gambar 4.1 : Grafik Hubungan antara Kecepatan Udara Inlet (V) terhadap *Transfer Energi* (ΔH)

Dari gambar di atas (Gambar 4.1) dapat diketahui bahwa nilai *transfer* energi yang terjadi pada sistem semakin besar dengan bertambahnya kecepatan udara inlet. Hal ini disebabkan karena energi kalor pada sisi outlet lebih kecil daripada sisi inlet akibat kehilangan energi saat udara melewati semprotan *desiccant*. Dengan menurunnya energi

kalor pada sisi outlet maka akan memperbesar *transfer* energi yang terjadi. Hal ini sesuai dengan rumus *transfer* energi (ΔH) yaitu :

$$\Delta H = H_1 - H_3$$

Dimana, *transfer* energi merupakan hasil pengurangan antara energi kalor sisi masuk (H_1) dengan energi kalor sisi keluar (H_3).

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

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

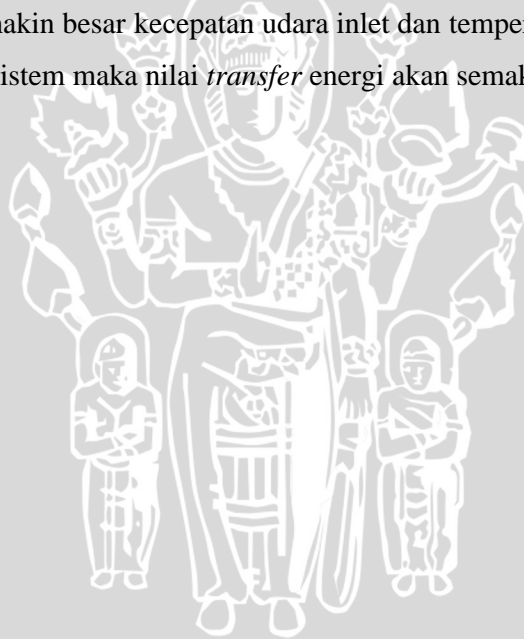
Penurunan nilai energi kalor pada sisi keluar disebabkan karena semakin banyak massa uap air yang diserap oleh *desiccant* seiring bukaan blower yang semakin besar. Sehingga kelembaban absolut (ω_3) dan nilai entalpi uap air (h_{g3}) pada sisi keluar menjadi semakin kecil.

Pada Gambar 4.1 juga dapat kita lihat bahwa nilai *transfer* energi tertinggi terjadi pada temperatur *desiccant* 60 °C ($\Delta H = 1,654$ kJ/s pada $V = 1,948$ m/s), kemudian diikuti dengan *transfer* energi pada temperatur *desiccant* 50 °C ($\Delta H = 1,202$ kJ/s pada $V = 1,948$ m/s) dan 40°C ($\Delta H = 0,952$ kJ/s pada $V = 1,9481$ m/s). Pada masing-masing grafik, semakin besar bukaan blower maka proses *transfer* energi juga akan semakin tinggi. Hal ini disebabkan oleh kecepatan udara inlet yang semakin besar, sehingga massa udara yang masuk ke dalam sistem akan semakin banyak, dimana laju massa alir udara berbanding lurus dengan energi kalor.

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

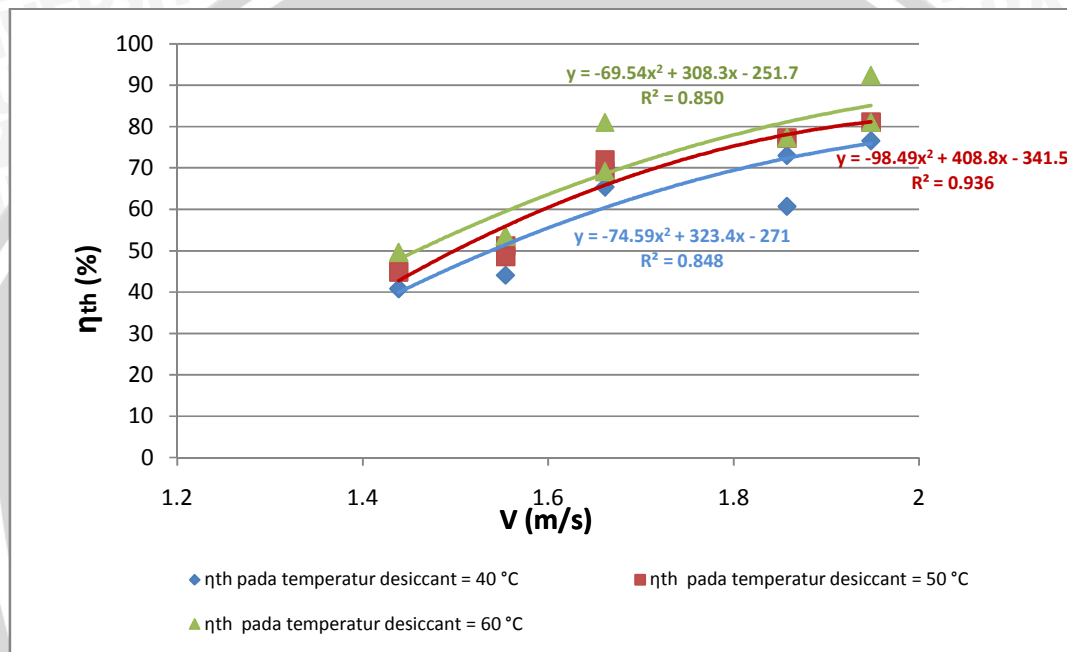
Dilihat dari pengujian hipotesis dengan analisa varian (Anova) dua arah, dapat diketahui bahwa nilai F_{hitung} faktor kecepatan udara inlet dan temperatur *desiccant* lebih besar dari F_{tabel} , sedangkan F_{hitung} interaksi antar faktor lebih kecil dari F_{tabel} . Sehingga dapat disimpulkan bahwa faktor kecepatan udara inlet dan temperatur *desiccant* ada pengaruhnya terhadap *transfer* energi dan tidak ada pengaruh antar dua faktor tersebut.

Dari masing-masing grafik juga dapat diketahui nilai dari koefisien determinasi (R^2), dimana nilai yang ditunjukkan oleh koefisien ini memberikan arti bahwa jika nilai $R^2 \geq 60\%$ maka nilai H_0 ditolak dan menerima H_1 , artinya hipotesa yang didapat sesuai dengan hasil penelitian. Dari grafik diketahui bahwa untuk nilai $R^2_{40^\circ C} = 0,848$ (84,8 %), $R^2_{50^\circ C} = 0,936$ (93,6 %) dan $R^2_{60^\circ C} = 0,85$ (85 %), ketiga koefisien tersebut bernilai lebih dari 60%, sehingga dapat disimpulkan bahwa penelitian ini tidak menyimpang dari dugaan secara teoritis. Sehingga pernyataan ini juga memperkuat hasil penelitian serta mempertegas bahwa semakin besar kecepatan udara inlet dan temperatur *desiccant* yang disemprotkan ke dalam sistem maka nilai *transfer* energi akan semakin meningkat.



4.2.2 Pembahasan Grafik Hubungan antara Kecepatan Udara Inlet (V) terhadap Efisiensi *Thermal* (η_{th})

Hubungan antara kecepatan udara inlet (V) terhadap efisiensi *thermal* tersaji dalam grafik pada Gambar 4.2. Seperti pada Gambar 4.1, sumbu absis (sumbu x) pada grafik di atas menyatakan kecepatan udara inlet, namun sumbu ordinat (sumbu y) menyatakan efisiensi *thermal*.



Gambar 4.2 : Grafik Hubungan antara Kecepatan Udara Inlet (V) terhadap Efisiensi *Thermal* (η_{th})

Dari Gambar 4.2 dapat diketahui bahwa pada bukaan blower dari bukaan kecil hingga besar, efisiensi *thermal* pada sistem cenderung meningkat untuk masing-masing variabel kontrol. Peningkatan ini terjadi karena semakin besar bukaan blower, maka kecepatan udara yang masuk ke dalam sistem akan semakin tinggi akibatnya laju massa alir udara yang masuk ke dalam sistem akan semakin meningkat. Dengan peningkatan laju massa alir udara inlet, maka uap air yang dibawa oleh udara akan semakin meningkat pula. Dengan peningkatan massa uap air maka massa uap air yang diikat oleh *desiccant* akan semakin besar, akibatnya udara pada sisi keluar akan memiliki kelembaban absolut yang lebih rendah dibandingkan dengan kelembaban absolut pada sisi masuk karena kelembaban absolut merupakan perbandingan antara massa uap

dengan massa udara kering. Jumlah massa udara kering pada sisi masuk dan keluar bernilai sama, dengan massa uap yang semakin rendah maka akan terjadi penurunan kelembaban absolut udara. Hal ini 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* energi yang dihasilkan akan semakin besar.

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

$$\Delta H = H_1 - H_3$$

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

$$\eta_{th} = \frac{\Delta H}{H_2} \times 100 \%$$

$$H_2 = \dot{m}_2 \cdot T_2 (C_{p_d} + C_{p_w})$$

Dimana H_2 merupakan energi dari *desiccant* yang digunakan untuk mengikat uap air dalam udara dan T_2 adalah temperatur *desiccant*.

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

Dilihat dari pengujian hipotesis dengan analisa varian (Anova) dua arah, dapat diketahui bahwa nilai F_{hitung} faktor kecepatan udara inlet dan temperatur *desiccant* lebih besar dari F_{tabel} , sedangkan F_{hitung} interaksi antar faktor lebih kecil dari F_{tabel} . Sehingga dapat disimpulkan bahwa faktor kecepatan udara inlet dan temperatur *desiccant* ada

pengaruhnya terhadap efisiensi *thermal* dan tidak ada pengaruh antar dua faktor tersebut.

Seperti halnya pada pembahasan grafik hubungan antara kecepatan udara inlet terhadap *transfer* energi, dari grafik Gambar 4.2 dapat diketahui bahwa pada masing-masing grafik memiliki koefisien determinasi sebesar $R^2_{40^\circ\text{C}} = 0,848$ (84,8 %), $R^2_{50^\circ\text{C}} = 0,936$ (93,6 %) dan $R^2_{60^\circ\text{C}} = 0,85$ (85 %), dimana ketiga koefisien tersebut bernilai lebih dari 60%, sehingga dapat disimpulkan bahwa penelitian ini tidak menyimpang dengan dugaan secara teoritis yaitu semakin besar kecepatan udara inlet dan temperatur *desiccant* yang disemprotkan ke dalam sistem maka nilai efisiensi *thermal* akan semakin meningkat.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa :

Dengan bertambahnya kecepatan udara inlet dan temperatur *desiccant* yang disemprotkan ke dalam sistem maka proses *transfer* energi dan efisiensi *thermal* yang dihasilkan semakin meningkat.

- Nilai *transfer* energi tertinggi terjadi pada temperatur *desiccant* 60 °C ($\Delta H = 1,654$ kJ/s pada $V = 1,948$ m/s). Hal ini disebabkan karena semakin besar temperatur *desiccant* maka akan memperbesar beda temperatur antara udara masuk dengan *desiccant* yang disemprotkan ke dalam sistem sehingga proses perpindahan kalor konveksi akan semakin besar. Selain itu, massa uap air pada udara yang diikat oleh *desiccant* juga semakin besar.
- Dari tabel analisis varian pada pengujian hipotesis menunjukkan bahwa F_{hitung} faktor kecepatan udara inlet dan temperatur *desiccant* lebih besar dari F_{tabel} . Sehingga H_0 ditolak maka H_1 diterima, artinya ada pengaruh variasi kecepatan udara inlet dan temperatur *desiccant* terhadap *transfer* energi. Sedangkan F_{hitung} interaksi antar faktor lebih kecil dari F_{tabel} dan H_0 diterima sehingga tidak ada pengaruh interaksi kedua faktor.
- Nilai efisiensi *thermal* tertinggi terjadi pada temperatur *desiccant* 60 °C ($\eta_{th} = 92,32\%$ pada $V = 1,948$ m/s). Nilai efisiensi *thermal* berbanding lurus dengan nilai temperatur *desiccant* yang dapat memperbesar proses *transfer* energi.
- Dari tabel analisis varian pada pengujian hipotesis menunjukkan bahwa F_{hitung} faktor kecepatan udara inlet dan temperatur *desiccant* lebih besar dari F_{tabel} . Sehingga H_0 ditolak maka H_1 diterima, artinya ada pengaruh variasi kecepatan udara inlet dan temperatur *desiccant* terhadap efisiensi *thermal*. Sedangkan F_{hitung} interaksi antar faktor lebih kecil dari F_{tabel} dan H_0 diterima sehingga tidak ada pengaruh interaksi kedua faktor.

5.2 Saran

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

1. Dilakukan penelitian tentang distribusi *droplet desiccant* yang mempengaruhi luasan permukaan 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*.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



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*; Alih bahasa: Ir. E. Jasjfi M.Sc.; Erlangga, Jakarta.
- Kulshrestha, S.K.; 1989: *Termodinamika Terpakai, Teknik Uap dan Panas*, Alih bahasa: Budiardjo, I Made Kartika D, Budiardo; 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/htm-pages/how-does-dehumidifier-work.htm.
- www.dynalene.com/pdf/CalciumChloridHandbook.pdf.
- www.eere_energy.gov/industry-distributedenergy-images.
- www.en.wikipedia.org/wiki/Dehumidifier.
- www.fao.org/docrep/S1250E/S1250EEW.GIF.
- www.masstech.org/renewableenergy/public_policy/DG/resources/2005-DG-MD-Nayak-2957.pdf.
- www.nt.ntnu.no.

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

T *desiccant* = 40 °C

Bukaan (cm)	Td in (°C)	Tw in (°C)	Td out (°C)	Tw out (°C)	z (mm)	RH ₁ (%)	RH ₃ (%)	ω ₁	ω ₃	ρ _{udara in} (kg/m ³)	V (m/s)	ṁ ₁ (kg/s)	ṁ _a (kg/s)	ṁ ₂ (kg/s)	ṁ ₃ (kg/s)	Δṁ (kg/s)
5	32	29	31	27.5	3	79	76	0.0242	0.0220	1.103	1.43876	0.0738	0.07205	0.00463	0.07363	0.0002
	32	29	31	27.5		79	76	0.0242	0.0220		1.43876					
6	32	29	31.5	27.5	3.5	79	74	0.0242	0.0215	1.103	1.55404	0.0797	0.07782	0.00463	0.07950	0.0002
	32	29	31	27.5		79	76	0.0242	0.0220		1.55404					
7	32	29.5	31	27.5	4	83	76	0.0254	0.0220	1.103	1.66134	0.0852	0.08310	0.00463	0.08493	0.0003
	32	29	31.5	27		79	70	0.0242	0.0208		1.66134					
8	32	29.5	31	28	5	83	79	0.0254	0.0228	1.103	1.85743	0.0953	0.09291	0.00463	0.09503	0.0002
	32	29	31	27		79	74	0.0242	0.0210		1.85743					
9	32	29.5	31	27.5	5.5	83	76	0.0254	0.0220	1.103	1.94809	0.0999	0.09744	0.00463	0.09959	0.0003
	32	29	31	27		79	74	0.0242	0.0210		1.94809					

hg ₁ (kJ/kg)	hg ₃ (kJ/kg)	H ₁ (kJ/s)	H ₂ (kJ/s)	H ₃ (kJ/s)	ΔH (kJ/s)	η _{th} (%)
2554.6	2551.8	6.760	1.17911	6.278	0.481	40.8213
2554.6	2551.8	6.760		6.278	0.481	40.8213
2554.6	2551.8	7.301	1.17911	6.721	0.580	49.2131
2554.6	2551.8	7.301		6.781	0.520	44.092
2555.5	2551.8	8.053	1.17911	7.241	0.812	68.8508
2554.6	2550.9	7.805		7.035	0.771	65.3466
2555.5	2552.7	9.004	1.17911	8.287	0.716	60.7305
2554.6	2550.9	8.727		7.866	0.861	72.9794
2555.5	2551.8	9.443	1.17911	8.491	0.952	80.7347
2554.6	2550.9	9.153		8.250	0.903	76.5414

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

T *desiccant* = 50 °C

Bukaan (cm)	Td in (°C)	Tw in (°C)	Td out (°C)	Tw out (°C)	z (mm)	RH ₁ (%)	RH ₃ (%)	ω ₁	ω ₃	ρ _{udara in} (kg/m ³)	V (m/s)	ṁ ₁ (kg/s)	ṁ ₂ (kg/s)	ṁ ₃ (kg/s)	Δṁ (kg/s)	
5	32	29	31	27	3	79	74	0.0242	0.0210	1.103	1.43876	0.0738	0.07205	0.00463	0.07356	0.0002
	32	29	31	27		79	74	0.0242	0.0210		1.43876	0.07205	0.07356	0.0002		
6	32	29.5	31	27.5	3.5	83	76	0.0254	0.0220	1.103	1.55404	0.0797	0.07773	0.00463	0.07944	0.0003
	32	29	31.5	27		79	70	0.0242	0.0208		1.55404	0.07782	0.07944	0.0003		
7	32	29.5	31.5	27	4	83	70	0.0254	0.0208	1.103	1.66134	0.0852	0.08310	0.00463	0.08483	0.0004
	32	30	31.5	27.5		86	74	0.0264	0.0216		1.66134	0.08302	0.08481	0.0004		
8	32	30	31	27.5	5	86	76	0.0264	0.0220	1.103	1.85743	0.0953	0.09282	0.00463	0.09486	0.0004
	32	30	31	27.5		86	76	0.0264	0.0220		1.85743	0.09282	0.09486	0.0004		
9	32	30	31	27.5	5.5	86	76	0.0264	0.0220	1.103	1.94809	0.0999	0.09735	0.00463	0.09949	0.0004
	32	29.5	31	27		83	74	0.0254	0.0210		1.94809	0.09744	0.09949	0.0004		

hg ₁ (kJ/kg)	hg ₃ (kJ/kg)	H ₁ (kJ/s)	H ₂ (kJ/s)	H ₃ (kJ/s)	ΔH (kJ/s)	η _{th} (%)
2554.6	2550.9	6.760	1.48361	6.093	0.667	44.9273
2554.6	2550.9	6.760	1.48361	6.093	0.667	44.9273
2555.5	2551.8	7.533	1.48361	6.773	0.759	51.1855
2554.6	2550.9	7.301	1.48361	6.581	0.721	48.5804
2555.5	2550.9	8.053	1.48361	7.027	1.026	69.1753
2556.4	2551.8	8.259	1.48361	7.191	1.068	72.0162
2556.4	2551.8	9.234	1.48361	8.088	1.146	77.2589
2556.4	2551.8	9.234	1.48361	8.088	1.146	77.2589
2556.4	2551.8	9.685	1.48361	8.483	1.202	81.0298
2555.5	2550.9	9.443	1.48361	8.241	1.202	81.0484

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

T *desiccant* = 60 °C

Bukaan (cm)	Td in (°C)	Tw in (°C)	Td out (°C)	Tw out (°C)	z (mm)	RH ₁ (%)	RH ₃ (%)	ω ₁	ω ₃	ρ _{udara in} (kg/m ³)	V (m/s)	ṁ ₁ (kg/s)	ṁ ₂ (kg/s)	ṁ ₃ (kg/s)	Δṁ (kg/s)	
5	32	29.5	31	27	3	83	74	0.0254	0.0210	1.103	1.43876	0.0738	0.07197	0.00463	0.07348	0.0003
	32	29.5	31.5	27		83	70	0.0254	0.0208		1.43876	0.07197	0.07346	0.0003		
6	32	29.5	31	27	3.5	83	74	0.0254	0.0210	1.103	1.55404	0.0797	0.07773	0.00463	0.07936	0.0003
	32	29.5	31.5	27		83	70	0.0254	0.0208		1.55404	0.07773	0.07935	0.0004		
7	32	30	31	26.5	4	86	70	0.0264	0.0200	1.103	1.66134	0.0852	0.08302	0.00463	0.08468	0.0005
	32	30	31	27		86	74	0.0264	0.0210		1.66134	0.08302	0.08476	0.0004		
8	32	29.5	31	26.5	5	83	70	0.0254	0.0200	1.103	1.85743	0.0953	0.09291	0.00463	0.09476	0.0005
	32	30	31.5	27		86	70	0.0264	0.0208		1.85743	0.09282	0.09475	0.0005		
9	32	29.5	31.5	26	5.5	83	65	0.0254	0.0190	1.103	1.94809	0.0999	0.09744	0.00463	0.09929	0.0006
	32	29.5	31.5	26.5		83	67	0.0254	0.0198		1.94809	0.09744	0.09937	0.0005		

hg ₁ (kJ/kg)	hg ₃ (kJ/kg)	H ₁ (kJ/s)	H ₂ (kJ/s)	H ₃ (kJ/s)	ΔH (kJ/s)	η _{th} (%)
2555.5	2550.9	6.974	1.79173	6.086	0.888	49.5647
2555.5	2550.9	6.974		6.085	0.889	49.6056
2555.5	2550.9	7.533	1.79173	6.574	0.959	53.536
2555.5	2550.9	7.533		6.573	0.960	53.5802
2556.4	2550	8.259	1.79173	6.807	1.452	81.033
2556.4	2550.9	8.259		7.021	1.239	69.1303
2555.5	2550	9.004	1.79173	7.618	1.385	77.3084
2556.4	2550.9	9.234		7.848	1.386	77.3427
2555.5	2549.1	9.443	1.79173	7.789	1.654	92.3234
2554.6	2550	9.441		7.989	1.451	81.0083

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 atmosfer 101,325 kPa

Apendiks

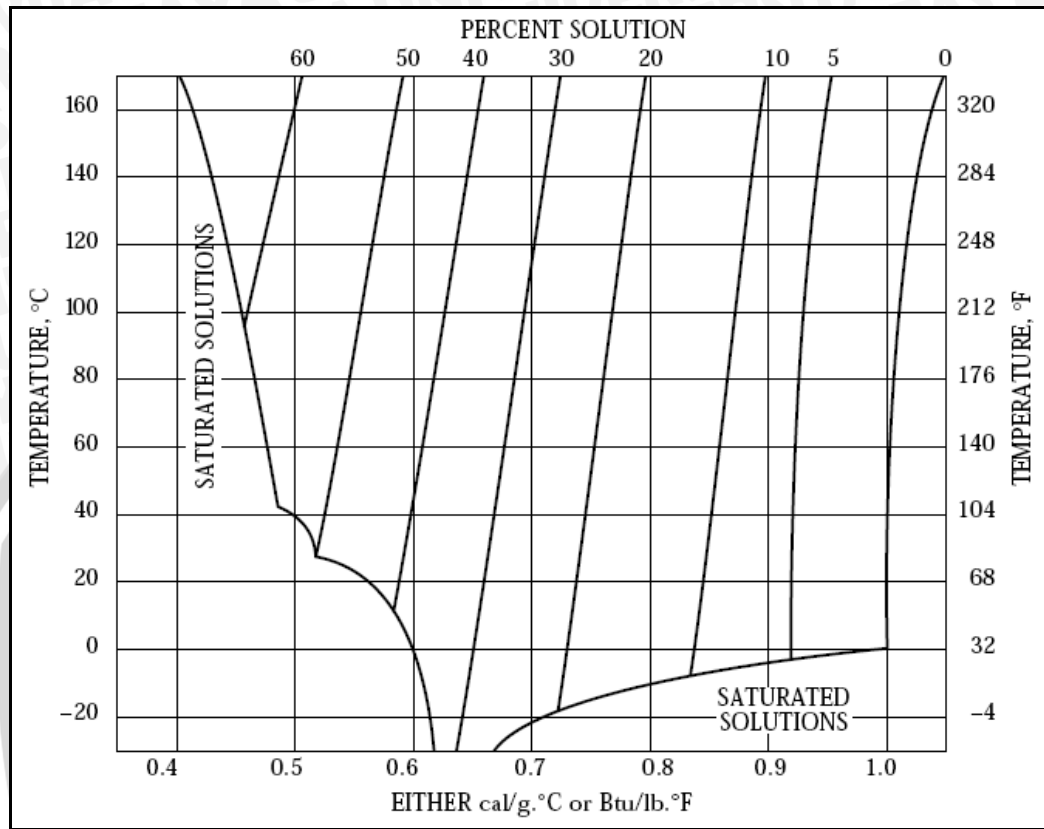
Tabel A-2 Lembab udara: sifat-sifat termodinamik udara jenuh pada tekanan atmosfer 101,325 kPa.

$t_r, ^\circ\text{C}$	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

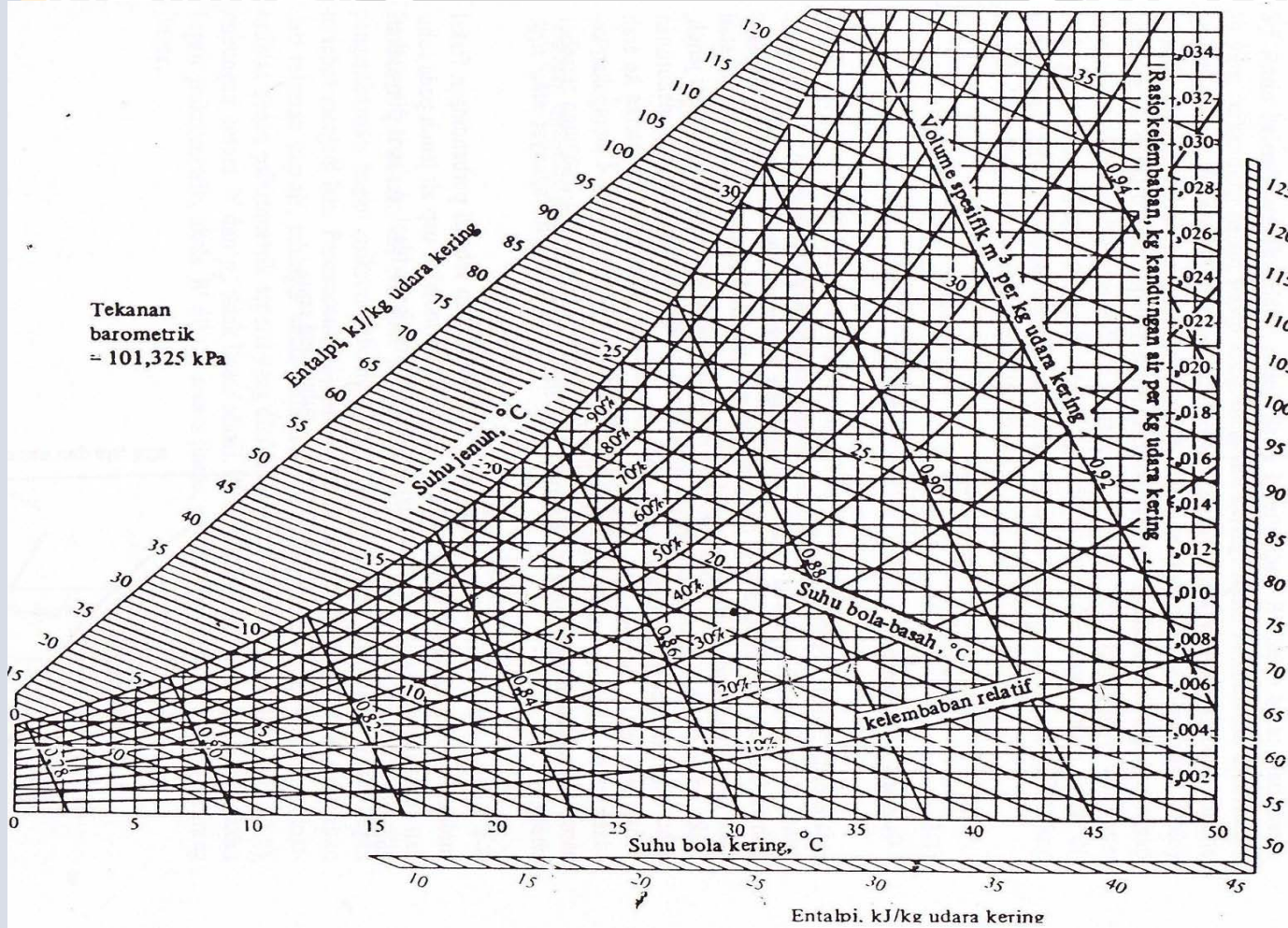
Lampiran 6 : Tabel Sifat-sifat Larutan CaCl₂.

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)	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/cm ³	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 ₂ O (cal/g)	17.2	-14.2	-72.8	-96.8	-176.2
(to infinite dilution) (Btu/lb)	31.0	-25.6	-131.1	-174.3	-317.2
Heat of Formation 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 *Psychrometric*.



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 numerator (df1)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	12	24	1000	
Degrees of freedom in denominator (df2)	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
		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

Lampiran 10 (lanjutan) : Tabel Uji F.

	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 StatTable, WinPepi > WhatIs, or other reliable software to determine specific p values