



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**ANALISA PENGARUH PERUBAHAN PERBANDINGAN LAJU ALIR MASSA
(*DESICCANT* TERHADAP UDARA) DAN VARIABEL (KECEPATAN DAN
TEMPERATUR) UDARA TERHADAP LAJU HUMIDIFIKASI DALAM
REGENERATOR DENGAN *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)***

TUGAS AKHIR

**LUTFI HAVIDZ KIRANTHO
L2E 005 460**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

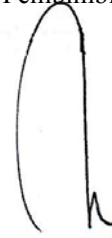
**SEMARANG
MARET 2011**

TUGAS SARJANA

- Diberikan kepada : Nama : Lutfi Havidz Kirantho
NIM : L2E 005 460
- Dosen Pembimbing : Ir. Eflita Yohana, MT
- Jangka Waktu : 12 (dua belas) bulan
- Judul : Analisa Pengaruh Perubahan Perbandingan Laju Alir Massa (*Desiccant* Terhadap Udara) dan Variabel (Kecepatan dan Temperatur) Udara Terhadap Laju Humidifikasi Dalam *Regenerator* Dengan *CFD*
- Isi Tugas : Mengetahui Laju Humidifikasi Pada Regenerator
1. Mengetahui pengaruh dan perbandingan optimal dari perbandingan laju alir, perubahan variabel (temperatur dan kecepatan) udara dan *desiccant* terhadap laju humidifikasi *Regenerator*.
 2. Mengetahui perbandingan laju humidifikasi terhadap laju alir massa udara.

Semarang, 24 Maret 2011

Dosen Pembimbing



Ir. Eflita Yohana, MT

NIP. 196204281990012001

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi/Tesis/Disertasi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

NAMA : Lutfi Havidz Kirantho

NIM : L2E 005 460

Tanda Tangan :

Tanggal : 24 Maret 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
NAMA : Lutfi Havidz Kirantho
NIM : L2E 005 460
Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Analisa Pengaruh Perubahan Perbandingan Laju Alir Massa
(*Desiccant* Terhadap Udara) dan Variabel (Kecepatan dan
Temperatur) Udara Terhadap Laju Humidifikasi Dalam
Regenerator Dengan *CFD*

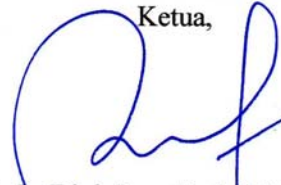
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan/Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

TIM PENGUJI

Pembimbing I : Ir. Eflita Yohana, MT
Penguji : Ir. Djoeli Satridjo, MT
Penguji : Dr. AP. Bayuseno, MSc
Penguji : Dr. MSK. Tony Suryo Utomo, ST, MT

()
()
()
()

Semarang, Maret 2011
Jurusan Teknik Mesin
Ketua,



Dr. Ir. Dipl. Ing. Berkah Fadjar TK
NIP. 195907221987031003

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademika Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : LUTFI HAVIDZ KIRANTHO

NIM : L2E 005 460

Jurusan/Program Studi : TEKNIK MESIN

Fakultas : TEKNIK

Jenis Karya : SKRIPSI

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*None-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Analisa Pengaruh Perubahan Perbandingan Laju Alir Massa (*Desiccant Terhadap Udara*) dan Variabel (Kecepatan dan Temperatur) Udara Terhadap Laju Humidifikasi Dalam Regenerator Dengan CFD

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Noneksklusif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Semarang

Pada Tanggal : 24 Maret 2011

Yang menyatakan,

(LUTFI HAVIDZ K)
NIM: L2E 005

ABSTRAKSI

Dehumidifier dan *Regenerator* merupakan komponen penting dalam sistem pengkondisian udara *liquid desiccant*. Pada Proses dehumidifikasi dalam *dehumidifier*, *desiccant* mengalami penurunan konsentrasi akibat penyerapan uap air dari udara. Untuk mengembalikan konsentrasi *desiccant* digunakan *regenerator* untuk proses regenerasi. Proses regenerasi akan mengembalikan konsentrasi *desiccant* ke kondisi semula yang disertai dengan kenaikan temperatur serta kelembaban udara akibat terjadinya evaporasi dari *liquid desiccant*. Penelitian menggunakan simulasi *software* komputasi fluida dinamik (CFD) *FLUENT 6.3* dengan variasi laju alir *desiccant* 0,01 – 0,05 kg/s pada tempertur 60 °C dan variasi udara dengan kecepatan 5 – 13 m/s pada temperatur 30 – 40 °C.

Hasil simulasi menunjukkan, dengan perbandingan laju alir antara udara dan *desiccant* yang sama, transfer massa (penambahan kelembaban *desiccant* terhadap udara) terbesar terjadi pada kecepatan udara 5 m/s dan temperatur udara 40 °C, laju humidifikasi equal dengan besarnya laju aliran massa.

Kata kunci : *dehumidifier, regenerator, desiccant*

ABSTRACT

Dehumidifier and regenerator is an important component in liquid desiccant air conditioning system. In the process dehumidification in dehumidifier, desiccant concentration decreased due to absorption of moisture from the air. To restore the concentration of desiccant used the regenerator for regeneration. The regeneration of desiccant concentration will be return to original state is accompanied by a rise in temperature and air humidity due to evaporation of the liquid desiccant. The research uses computational fluid dynamic simulation software (CFD) FLUENT 6.3 with desiccant flow rate variation from 0.01 to 0.05 kg / s at temperature 60 °C and the variation of the air with speed 5-13 m / s at temperature of 30-40 ° C.

Simulations show, in the same time with a flow rate ratio between air and desiccant, mass transfer (the addition of desiccant to air humidity), the largest occur at air velocity 5 m / s and air temperature 40 ° C, humidification rate equal to the size of the mass flow rate.

Key words : dehumidifier, regenerator, desiccant

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur senantiasa penulis panjatkan kepada Allah S.W.T, karena berkat rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan judul “Analisa Pengaruh Perubahan Perbandingan Laju Alir Massa (*Desiccant* Terhadap Udara) dan Variabel (Kecepatan dan Temperatur) Udara Terhadap Laju Humidifikasi Dalam *Regenerator* Dengan *Computational Fluid Dynamics (CFD)*”. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi pada program strata satu (S1) di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro Semarang.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih atas bimbingan, bantuan, serta dukungan kepada :

1. Ir. Eflita Yohana, MT, selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
2. Dr. MSK. Tony Suryo Utomo, ST, MT, selaku Dosen Koordinator Tugas Akhir.
3. Teman-teman mahasiswa Teknik Mesin angkatan 2005 yang telah banyak membantu penulis baik secara moril, maupun materiil.

Dalam penulisan tugas akhir ini penulis menyadari banyak kekurangan. Oleh karena itu segala kritik yang bersifat membangun akan diterima dengan senang hati untuk kemajuan bersama. Akhir kata penulis berharap semoga laporan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat kepada siapa saja yang membutuhkan data maupun referensi yang ada dalam laporan ini.

Terima kasih.

Semarang, 24 Maret 2011

Penulis

PERSEMBAHAN

Kupersembahkan Tugas Sarjana ini kepada Keluarga Tercinta

1. *Ibu : Sri Maryani*
2. *Bapak : Nooryanto*
3. *Kakak : Ivan Norma Susila*
4. *Adik : Normalia Ulfah Khasanah*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
TUGAS SARJANA	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
ABSTRAKSI	vi
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	viii
HALAMAN PERSEMBAHAN	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
NOMENKLATUR	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	3
1.5. Metodologi Penelitian	3
1.6. Sistematika Penulisan.....	4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Transfer Massa	6
2.2. Humidifikasi dan Dehumidifikasi	7
2.2.1. Proses Humidifikasi Adiabatik	7
2.2.2. <i>Dehumidifier dan Regenerator</i>	8
2.3. Model Matematika Perpindahan Massa	14
2.4. Volume Kendali	15
2.5. Volume Kendali Pada Kontinuitas, Energi dan Momentum	17
2.6. Diagram Psikometri.....	19
2.7. Proses – Proses Dalam Udara dan Diagram Psikometri.....	25
2.8. Perpindahan Kalor Sensibel dan Kalor Laten Pada Permukaan Basah	28
2.9. Cara mengurangi Kelembaban Relatif	31
2.10. Kriteria kondisi udara sehat dan nyaman	32
2.11. <i>Sorbent</i>	33
2.7.1. <i>Absorbent</i>	34
2.7.2. <i>Adsorbent</i>	37

BAB III DASAR METODA VOLUMA HINGGA FLUENT 6.3

3.1. Sekilas Tentang FLUENT	38
3.2. Skema Numerik.....	38
3.2.1. Metode <i>Segregated</i>	39
3.2.2. Metode Solusi <i>Coupled</i>	40
3.3. Diskretisasi	41
3.3.1. <i>First-Order Upwind</i>	43
3.3.2. <i>Second-Order Upwind</i>	43
3.3.3. <i>Power-Law</i>	44
3.3.4. Bentuk Persamaan Diskret	45

3.3.5	<i>Under-Relaxation Factor</i>	46
3.4.	Diskretisasi <i>Segregated Solver</i>	46
3.4.1.	Diskretisasi Persamaan Momentum	47
3.4.2.	Skema Interpolasi Tekanan	47
3.4.3.	Diskretisasi Persamaan Kontinuitas	48
3.4.4.	<i>Pressure-Velocity Coupling</i>	49
3.5.	Diskretisasi Waktu	53
3.5.1.	Integrasi Waktu Implisit.....	54
3.5.2.	Integrasi Waktu eksplisit.....	55
3.6.	Jenis Grid	55
3.7.	Kualitas Mesh.....	55
3.7.1.	Kerapatan Nodal.....	56
3.7.2.	Kehalusan.....	56
3.7.3.	Bentuk Cel.....	57

BAB IV SIMULASI NUMERIK FLUENT 6.3

4.1.	Model <i>Regenerator</i>	58
4.2.	Proses Simulasi	58
4.3.	Simulasi <i>Regenerator</i>	62
4.3.1.	Pembentukan Model.....	62
4.3.2.	Pembuatan <i>Mesh</i>	62
4.3.3.	Kondisi Batas	63
4.3.4.	Definisi Model.....	64
4.3.5.	Kondisi Batas	68
4.3.6.	Solusi.....	69

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. Hasil Penelitian	70
5.2. Pembahasan.....	78
5.3. Karakteristik Operasi <i>Regenerator</i>	82

BAB VI PENUTUP

6.1. Kesimpulan	90
6.2. Saran.....	90

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Prinsip dasar proses humidifikasi dan dehumidifikasi	7
Gambar 2.2.	Prinsip proses humidifikasi adiabatik	8
Gambar 2.3.	Instalasi sistem <i>dehumidifier</i>	10
Gambar 2.4.	Sistem <i>regenerator</i>	10
Gambar 2.5.	Packed tower	10
Gambar 2.6.	Random Packing	12
Gambar 2.7.	Regular Packing	12
Gambar 2.8.	Distribusi aliran <i>desiccant</i>	12
Gambar 2.9.	<i>Eliminator</i>	13
Gambar 2.10.	Jenis-jenis aliran dalam <i>dehumidifier</i> dan <i>regenerator</i> (a) parallel flow. (b) counter flow (c) cross flow	13
Gambar 2.11.	Difermsiasi dari permukaan temu	14
Gambar 2.12.	Sistem dengan Volume kendali	16
Gambar 2.13.	Diagram psikometri	20
Gambar 2.14.	Skematis diagram psikometri	21
Gambar 2.15.	Rasio kelembaban W sebagai ordinat lain	22
Gambar 2.16.	Garis kelembaban relatif	23
Gambar 2.17.	Garis Jenuh	23
Gambar 2.18.	Garis volume spesifik konstan	24
Gambar 2.19.	Garis entalpi konstan	25
Gambar 2.20.	Proses-proses pengkondisian udara	25
Gambar 2.21.	Pemanasan dan pendinginan sensibel	26
Gambar 2.22.	Proses pelembaban udara	26
Gambar 2.23.	Proses pendinginan dan penurunan kelembaban	27
Gambar 2.24.	Proses penurunan kelembaban kimiawi	27
Gambar 2.25.	(a) Skema proses pencampuran, (b) Proses pencampuran pada Grafik psikometri	28
Gambar 2.26.	Perpindahan kalor dan massa antara udara dan permukaan basah	29
Gambar 2.27.	Empat langkah berbeda untuk menurunkan kelembaban relatif dari	

uap air. (a) Penurunan dengan udara kering, (b) Mengeringkan dengan <i>sorbent</i> , (c) Refrigerasi dehumidifikasi, (d) Pemanasan	32
Gambar 2.28. Kondisi nyaman udara pada diagram psikometri	33
Gambar 2.29. lustrasi diagramatik dari tiga komponen <i>liquid sorbent dehumidifier</i> : penyemprot <i>dehumidifier</i> , pompa <i>sorbent</i> dan <i>regenerator</i>	35
Gambar 2.30. Karakteristik temperatur-kesetimbangan titik embun untuk <i>absorbent</i> jenis organik	36
Gambar 2.31. Karakteristik temperatur-kesetimbangan titik embun untuk <i>absorbent</i> jenis inorganik	37
Gambar 2.32. (a) absorbent, (b) adsorbent.....	37
Gambar 3.1 Skema solusi <i>segregated</i>	40
Gambar 3.2 Skema solusi <i>coupled</i>	41
Gambar 3.3 Volume kendali diskretisasi persamaan transpor scalar	42
Gambar 3.4 Variasi variable ϕ antara $x = 0$ and $x = L$	45
Gambar 4.1. Model <i>regenerator struktur packed</i>	58
Gambar 4.2. Diagram Alir <i>Preprocessing</i>	59
Gambar 4.3. Diagram Alir <i>Solving</i>	61
Gambar 4.4. <i>Regenerator</i>	62
Gambar 4.5. Grid <i>Tri</i> pada Domain <i>Regenerator</i>	63
Gambar 4.6. Viskos.....	64
Gambar 4.7. Energi	64
Gambar 4.8. Model <i>Spesies Transport</i>	65
Gambar 4.9. Model <i>Discrete Phase</i>	65
Gambar 4.10. Model <i>injection</i>	66
Gambar 4.11. Panel Pendefinisian Material.....	67
Gambar 4.12. Panel kondisi operasi.....	67
Gambar 5.1. Perbandingan mass transfer pada temperature udara 30 °C	76
Gambar 5.2. Perbandingan mass transfer pada temperature udara 32 °C	77
Gambar 5.3. Perbandingan mass transfer pada temperature udara 34 °C	77
Gambar 5.4. Perbandingan mass transfer pada temperature udara 36 °C	77

Gambar 5.5.	Perbandingan mass transfer pada temperature udara 38 °C	78
Gambar 5.6.	Perbandingan mass transfer pada temperature udara 40 °C	78
Gambar 5.7.	Grafik <i>experiment</i> Nelson Fumo dan D. Y. Goswami	79
Gambar 5.8.	Grafik fluks massa dan m_{evap} hasil simulasi	81
Gambar 5.9.	Grafik <i>experiment</i> Nelson Fumo dan D. Y. Goswami dan simulasi	81
Gambar 5.10.	Grafik <i>experiment</i> Nelson Fumo dan D. Y. Goswami	81
Gambar 5.11.	Grafik laju humidifikasi dan temperatur pada simulasi	82
Gambar 5.12.	Hubungan antara bilangan Reynold dan Sherwood M.G. Mousa	83
Gambar 5.13.	Hubungan antara bilangan Reynold dan Sherwood	84
Gambar 5.14.	Bilangan Reynold dan Nusselt Witchayanuwat dan Kheawhom	84
Gambar 5.15.	Bilangan Reynold dan Nusselt Witchayanuwat dan Kheawhom	85
Gambar 5.16.	Hubungan antara bilangan Reynolds dan Nusselt	85
Gambar 5.17.	Hubungan antara bilangan Nusselt dan Sherwood	86
Gambar 5.18.	Aliran Turbulen Pada Simulasi	87
Gambar 5.19.	Profil Kecepatan Udara Pada Simulasi	87
Gambar 5.20.	Profil Temperatur Pada Simulasi	88
Gambar 5.21.	Profil <i>single spray desiccant</i> Pada Simulasi	88
Gambar 5.22.	Profil kontinu <i>spray desiccant</i> Pada Simulasi	89

DAFTAR TABEL

Gambar 4.13.	Tipe Kondisi Batas	63
Gambar 4.14.	Kondisi Batas dan Variasi Udara	68
Gambar 4.15.	Kondisi Batas dan Variasi <i>Desiccant</i>	69
Tabel 5.1.	<i>Mass Transfer</i> pada variasi kecepatan udara 5 m/s	70
Tabel 5.2.	<i>Mass Transfer</i> pada variasi kecepatan udara 7 m/s	71
Tabel 5.3.	<i>Mass Transfer</i> pada variasi kecepatan udara 9 m/s	72
Tabel 5.4.	<i>Mass Transfer</i> pada variasi kecepatan udara 11 m/s	74
Tabel 5.5.	<i>Mass Transfer</i> pada variasi kecepatan udara 13 m/s	75
Tabel 5.6.	Laju Humidifikasi Simulasi	80
Tabel 5.7.	Laju Humidifikasi Terhadap Temperatur	82
Tabel 5.8.	Bilangan Reynold dan Sherwood	83
Tabel 5.9.	Bilangan Reynold dan Nusselt	85
Tabel 5.10.	Bilangan Nusselt dan Sherwood	86

Nomenklatur	Definisi	Satuan
t	Temperatur	°C, K
T	Temperatur	°C, K
T_{db}	Temperatur bola kering	°C
T_{wb}	Temperatur bola basah	°C
T_{dp}	Temperatur titik embun	°C
$T_{sat@P_v}$	Temperatur saturasi tekanan jenuh	°C
c_p	Panas Spesifik	J/kgK
c_{pm}	Panas Spesifik Udara basah	J/kgK
h	Entalpi	kJ/kg
h_{fg}	Entalpi uap air	kJ/kg
h_g	Entalpi udara kering	kJ/kg
h_c	Koefisien Panas Konveksi	W/m ² K
h_D	Tetapan Keseimbangan	kg/m ²
v_{sp}	Volume spesifik (udara) lembab	m ³ /kg
g	Rasio kelembaban	kg _{uap} /kg _{udara}
W	Rasio kelembaban	kg _{uap} /kg _{udara}
V	Kecepatan aliran udara	m/s
m	Massa <i>desiccant</i>	g
X	Konsentrasi <i>desiccant</i>	%
V	Kecepatan	(m/s)

m_{evap}	Laju evaporasi	(g/s)
w	Laju Aliran massa	kg/s
q_s	Laju Perpindahan Panas Sensibel	W
A	Luas Permukaan	m^2
R_a	Tetapan gas untuk udara kering	J/kgK
R_s	Tetapan gas untuk uap air	J/kgK
P_t	Tekanan atmosferik	Pa
P_a	Tekanan parsial udara kering	Pa
P_s	Tekanan parsial uap air keadaan jenuh	Pa
C	Laju kapasitas panas	$\text{kW/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$
G	Fluks massa	$\text{kg/m}^2\text{s}$
q''	Fluks panas	kW/m^2
d_h	Diameter Hidraulik	m
Re	Reynold <i>number</i>	
Sh	Sherwood <i>number</i>	
Nu	Nusselt <i>number</i>	

<i>Greek Symbols</i>	Definisi	Satuan
α	Perbandingan beda tekanan uap	
β	Perbandingan beda temperatur	
φ	Kelembaban relatif	%
ω	Rasio kelembaban	$\text{kg}_{\text{uap}}/\text{kg}_{\text{udara}}$
Δ	Selisih Rasio kelembaban	$\text{g}_{\text{uap}}/\text{kg}_{\text{udara}}$
ξ	Konsentrasi <i>desiccant</i>	%

<i>Subscripts</i>	Definisi
a	Udara
s	<i>Desiccant (solution)</i>
evap	Evaporasi (humidifikasi)
db	<i>Dry Bulb</i>
wb	<i>Wet Bulb</i>
dp	<i>Dew Point</i>
i	Inlet
o	Outlet

