



UNIVERSITAS INDONESIA

**EKSPERIMEN DAN SIMULASI CFD
PENGERING SEMPROT MENGGUNAKAN BAHAN AIR DAN
LARUTAN AIR-GARAM 2%**

SKRIPSI

**ARIEF MUSLIM
0806368414**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
DESEMBER 2010**



UNIVERSITAS INDONESIA

**EKSPERIMEN DAN SIMULASI CFD
PENGERING SEMPROT MENGGUNAKAN BAHAN AIR DAN
LARUTAN AIR-GARAM 2%**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik

**ARIEF MUSLIM
0806368414**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
DESEMBER 2010**

Universitas Indonesia

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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



Nama : Arief Muslim
NPM : 0806368414
Tanda Tangan :
Tanggal : 11-01-2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Arief Muslim

NPM : 0806368414

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : Eksperimen Dan Simulasi CFD Pengering Semprot
Menggunakan Bahan Air Dan Larutan Air-Garam 2%

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ardiansyah, ST., M.Eng. ()

Penguji : Dr. Ir. Engkos A. Kosasih, M.T. ()

Penguji : Dr. Agus Pamitran, ST., M.Eng. ()

Penguji : Ir. Imansyah Ibnu Hakim, M.Eng. ()

Ditetapkan di : Departamen Teknik Mesin

Tanggal : 11-01-2011

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat dan rahmatnya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik jurusan Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ardiansyah, ST., MEng dan Dr. Ir. Engkos A. Kosasih, MT selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi arahan, bimbingan dan persetujuan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik;
2. Seluruh staf pengajar Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia yang telah memberikan dan mengajarkan ilmunya, sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini dengan bermacam ilmu yang telah didapat;
3. Papa penulis Ramlan Lamming dan mama penulis Rosmiati Buhera terima kasih kalian telah mendukung anakmu ini. “papa dan mama, skripsi ini kupersembahkan untuk kalian”;
4. Pak Farlan dan Nurkholis yang membantu proses penyelesaian skripsi.
5. Herry Prabowo dan Andi Camalata saudara seperjuangan dalam mengerjakan penelitian ini. “Jazakallahu khairan”.
6. Teman-teman seperjuangan PPSE Teknik Mesin UI angkatan 2008 atas doa dan bantuannya.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, Desember 2010

Penulis

Universitas Indonesia

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Arief Muslim
NPM : 0806368414
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul: **EKSPERIMEN DAN SIMULASI CFD PENERING SEMPROT MENGGUNAKAN BAHAN AIR DAN LARUTAN AIR-GARAM 2%**, beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan 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 : Depok
Pada tanggal : Desember 2010
Yang menyatakan,

(Arief Muslim)

ABSTRAK

Nama : Arief.Muslim
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Eksperimen Dan Simulasi CFD Pengering Semprot Menggunakan Bahan Air Dan Larutan Air-Garam 2%

Indonesia memiliki hasil alam yang sangat banyak, yang pada pengolahannya sering membutuhkan proses pengeringan dan diantaranya pengering semprot (*spray dryer*). Kelebihan pengering jenis ini terutama adalah untuk material yang sensitif terhadap panas. Laju perpindahan panas dan perpindahan massa untuk suatu tetesan yang bergerak didalam pengering semprot adalah tinggi. Sehingga dengan laju penguapan sangat tinggi, maka temperatur droplet dapat dijaga tetap rendah. Namun pengering jenis ini umumnya mempunyai kapasitas yang besar sehingga untuk kapasitas kecil masih banyak kendala. Sedangkan kapasitas yang kecil ini banyak dibutuhkan baik untuk industri farmasi maupun untuk industri sari buah-buahan dalam bentuk serbuk. Selain itu *spray dryer* dengan kapasitas kecil juga dibutuhkan terutama untuk industri mikro dan industri rumahan. Eksperimen dilakukan dengan variasi laju aliran bahan (larutan), laju aliran udara pengering, dan temperatur udara pengering.

Simulasi CFD diterapkan pada penelitian untuk menentukan diameter droplet pengering. Penelitian menunjukkan untuk bahan air panas pengeringan 4.3×10^4 (kJ/kg) dicapai pada laju udara 5.0×10^2 m³/jam sedangkan untuk aliran air-garam 2%, panas pengeringan 8.1×10^4 (kJ/kg) dicapai pada laju udara 6×10^2 m³/jam. Titik optimum bahan air sebesar 1.5 (kJ/s) dan laju aliran udara sebesar 1.9×10^2 m³/jam, dan titik optimum bahan air-garam 2% adalah 13.8 (kJ/s) dan laju aliran udara sebesar 4×10^2 m³/jam.

Kata kunci:

Pengering Semprot, Panas Pengeringan, Simulasi CFD, Titik Optimum, Pemanas Listrik

ABSTRACT

Name : Arief Muslim
Study Program : Mechanical Engineering
Skripsi Title : Experimental And CFD Simulation study of Spray Drying with water and water-salt 2% Solution.

Indonesia has a natural outcome very much, which in processing often requires the process of drying and spray drying them (spray dryer). The advantages of this type of dryer is mainly for heat-sensitive material. The rate of heat transfer and mass transfer for a droplet moving in a spray dryer is high. So with very high evaporation rate, the droplet temperature can be kept low. However, this type of dryer generally has a large capacity so that for small capacities are still many obstacles. While the capacity of this small much-needed good for the pharmaceutical industry as well as for the fruit juice industry in the form of powder. Also spray dryer with a small capacity is also needed especially for micro industries and a cottage industry. Experiments carried out by varying material flow rate (lateness), drying air flow rate and drying air temperature.

CFD simulations applied to the study to determine the droplet diameter dryer. Research has shown for materials hot water drying 4.3×10^4 (kJ / kg) was achieved at a rate of 5.0×10^2 m³/hr air to flow while the water-salt 2%, heat drying 8.1×10^4 (kJ / kg) was achieved at a rate of 6×10^2 m³/hr air. Optimum point of water at 1.5 (kJ / s) and air flow rate of 1.9×10^2 m³/hr, and the optimum point of water-salt 2% is 13.8 (kJ / s) and air flow rate of 4×10^2 m³/hr.

Keywords:

Spray Drying, Drying Heat, CFD Simulation, Optimum Point, Electric Heaters

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GRAFIK	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
DAFTAR NOTASI	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Perumusan Masalah	1
I.3 Tujuan Penelitian	2
I.4 Batasan Masalah	2
I.5 Metodologi Penelitian	2
I.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
II.1 Pengertian Pengeringan	4
II.2 Prinsip Dasar Pengeringan	5
II.3 Laju pengeringan	7
II.4 Proses Pengeringan	9
II.5 Pengering Semprot	11
II.6 Karakteristik Hidratasi	11
II.6.1 Kadar Air	12
II.6.2 Aktivitas Air	14

II.6.3 Diagram Psikometrik	15
II.5 Perancangan Orifis	20
II.5.1 Pemilihan tipe orifis	20
II.5.1.1 Pemilihan Pemasangan Tab	20
II.5.1.2 Menentukan Jarak Pelubangan	21
II.5.2 Perhitungan Laju Udara	21
II.6 Pengering Semprot	23
II.6.1 Prinsip Kerja Pengering Semprot	23
II.6.2 Eksperimen dan Simulasi Pengering Semprot	25
II.6.2.1 Perhitungan Panas Pengeringan	25
II.6.2.2 Perhitungan Energi	25
II.6.3 Computational Fluid Dynamics (CFD)	26
II.6.3.1 Meshing	27
II.6.3.2 Pre-Processor	28
II.6.3.3 Solver	29
II.6.3.4 Post-Processor	29
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	30
III.1 Metode Penelitian	30
III.1.1 Objek, Waktu, dan Tempat Penelitian	30
III.1.2 Alur Kerangka Penelitian	30
III.1.3 Deskripsi Alat dan Bahan Uji	32
III.2 Perancangan Orifis	37
III.2.1 Pemilihan Tipe Orifis	37
III.2.2 Pemilihan Pemasangan Tap	37
III.3 Metode Pengering Semprot.....	38
III.3.1 Set Up Alat Pengering Semprot	38
III.3.2 Prosedur Eksperimen Pengering Semprot	39
III.4 Perhitungan Laju Udara	39
III.5 Bahan Uji	41
III.5.1 Air	41
III.5.1.1 Tahapan Perhitungan Panas Eksperimen	41

III.5.1.2 Tahapan Perhitungan Panas Simulasi	42
III.5.2 Air-Garam 2%	43
III.6 Perhitungan Energi	43
BAB IV ANALISA HASIL EKSPERIMEN DAN SIMULASI CFD	47
IV.1 Analisa Eksperimen dan Simulasi CFD Pengering Semprot	47
IV.1.1 Bahan Uji Air	47
IV.1.1.1 Analisa Panas Pengeringan	47
IV.1.1.2 Analisa Titik Optimum	50
IV.1.2 Bahan Uji Larutan Air-Garam 2%	51
IV.1.2.1 Analisa Panas Pengeringan	51
IV.1.1.2 Analisa Titik Optimum	52
IV.2 Analisa Perubahan Diameter Partikel dan Kecepatan Udara	53
BAB V PENUTUP	55
V.1 Kesimpulan	55
V.2 Saran	55
DAFTAR PUSTAKA	56
LAMPIRAN	57

DAFTAR GAMBAR

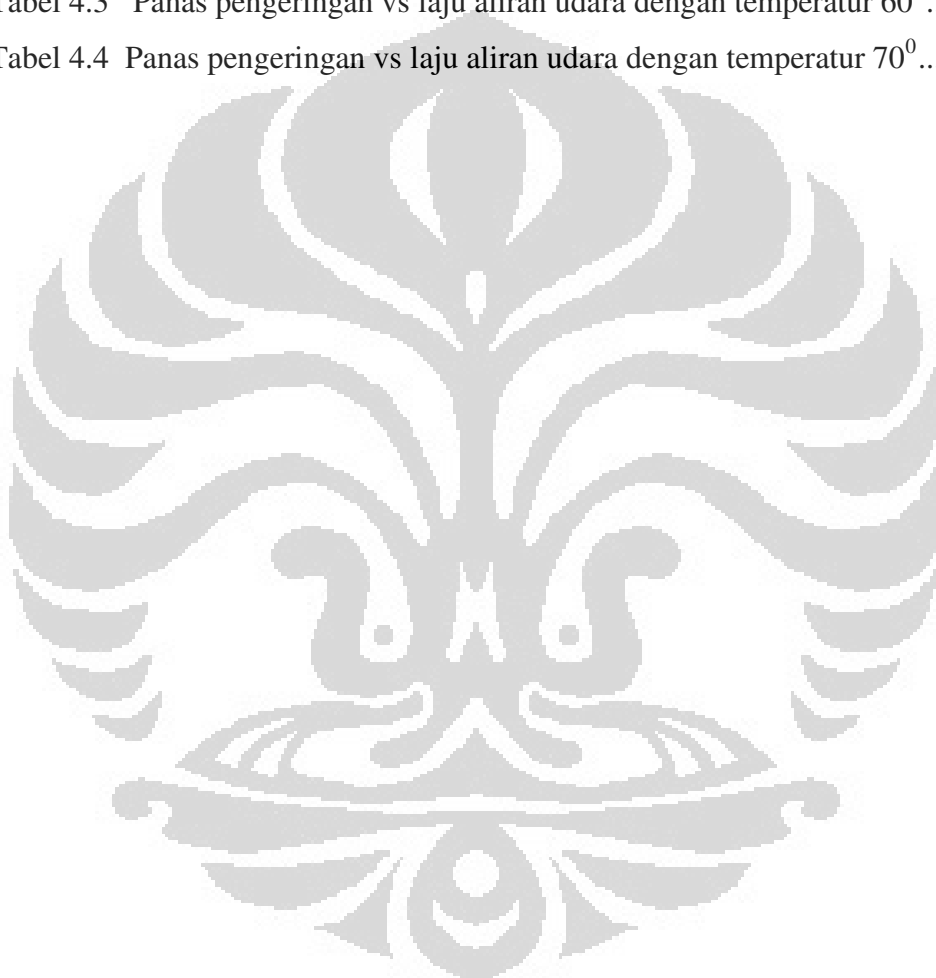
Gambar 2.1	Air bergerak melalui celah kapiler bahan	6
Gambar 2.2	Bahan menyerap suhu di sekitarnya	7
Gambar 2.3	Arah kecepatan udara saat pengeringan Air	8
Gambar 2.4	Grafik Proses Pengeringan	10
Gambar 2.5	Aktivitas air vs Dry Basis Content.....	14
Gambar 2.6	Diagram Psikrometrik	15
Gambar 2.7	Psikrometrik Pada Proses Pemanasan	16
Gambar 2.8	Psikrometrik Pada Proses Pengeringan	16
Gambar 2.9	Garis Jenuh	19
Gambar 2.10	Psiokometer	20
Gambar 2.11	Vena Contracta	20
Gambar 2.12	Grafik Lokasi Pengambilan Tekanan	21
Gambar 2.13	Koefisien Buang Untuk Orifis	23
Gambar 2.14	Skema Pengering Semprot	24
Gambar 2.15	Penggambaran Sederhana Bagaimana Mesh Bekerja	28
Gambar 3.1	Diagram Alir	31
Gambar 3.2	Rangkaian Pengering Semprot	32
Gambar 3.3	Pengatur Tekanan	32
Gambar 3.4	Pompa Fluida dan Adaptor DC.....	33
Gambar 3.5	Nosel	33
Gambar 3.6	Bejana Pengukur Fluida	34
Gambar 3.7	Blower	34
Gambar 3.8	Orifis	35
Gambar 3.9	Kontak Panel	35
Gambar 3.10	Termometer	36
Gambar 3.11	Manometer Tabung U	36
Gambar 3.12	Tipe Plat Orifis	37
Gambar 3.13	Vena Contracta	37
Gambar 3.14	Lokasi yang Disarankan untuk Pengambilan Tekanan	39
Gambar 4.1	Perubahan Diameter Partikel pada Laju aliran Udara 1.9×10^2	

m ³ /jam, Temperatur 50 ⁰ C.....	53
Gambar 4.2 Distribusi Kecepatan Udara pada Laju aliran Udara 1.9x10 ²	
m ³ /jam, Temperatur 50 ⁰ C.....	54



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Pengambilan Data Eksperimen Bahan Air Tekanan 2 bar.....	45
Tabel 3.2 Pengambilan Data Eksperimen Bahan Larutan Air-Garam Tekanan 2 bar.....	46
Tabel 4.1 Nilai Parameter Eksperimen dan Simulasi	47
Tabel 4.2 Panas pengeringan vs laju aliran udara dengan temperatur 50 ⁰ C	48
Tabel 4.3 Panas pengeringan vs laju aliran udara dengan temperatur 60 ⁰ C	48
Tabel 4.4 Panas pengeringan vs laju aliran udara dengan temperatur 70 ⁰ C	49

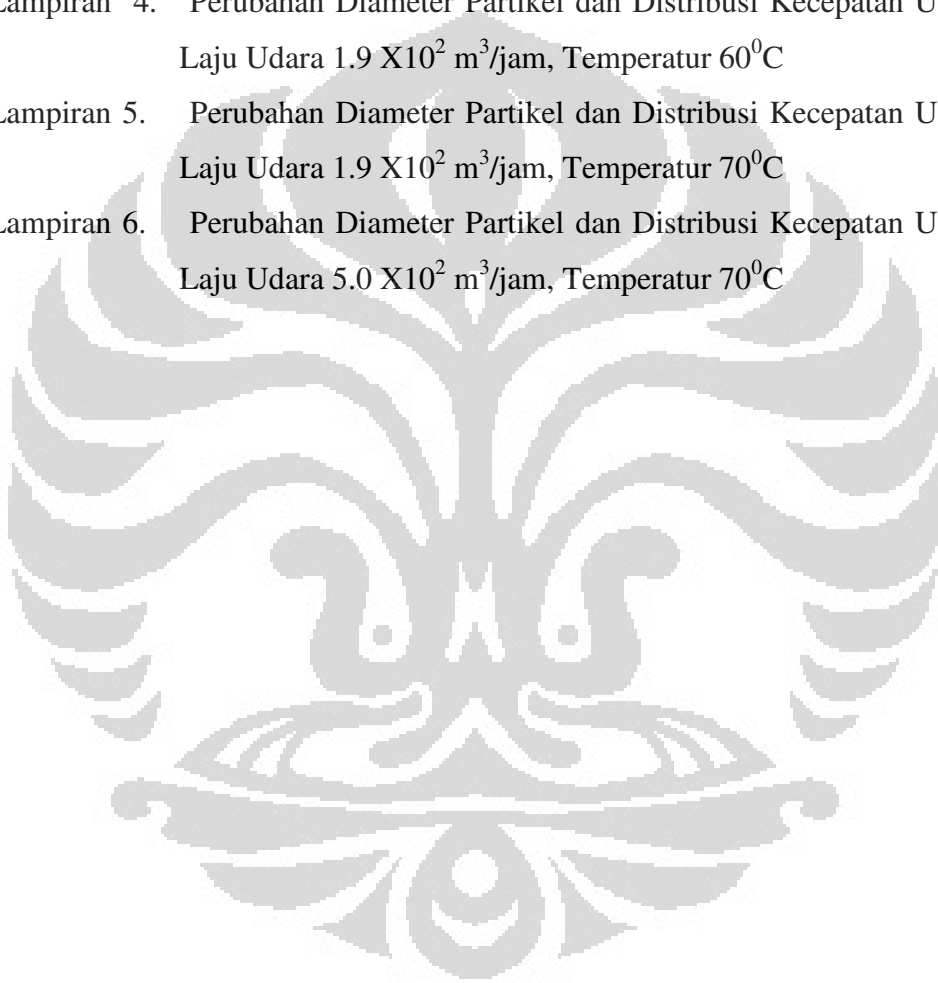


DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1	Panas Pengeringan vs Laju Aliran Udara pada Temperatur 50 ⁰ C Tekanan Kompresor 2 bar	48
Grafik 4.2	Panas Pengeringan vs Laju Aliran Udara pada Temperatur 60 ⁰ C Tekanan Kompresor 2 bar	49
Grafik 4.3	Panas Pengeringan vs Laju Aliran Udara pada Temperatur 70 ⁰ C Tekanan Kompresor 2 bar	49
Grafik 4.4	Kuantitas Panas vs laju Aliran Udara Tekanan Kompresor 2 bar Eksperimen dan Simulasi	50
Grafik 4.5	Panas Pengeringan vs Laju Aliran Udara Tekanan Kompresor 2 bar	51
Grafik 4.6	Kuantitas Panas vs laju Aliran Udara Tekanan Kompresor 2 bar	52

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Diagram Psikrometrik Udara untuk Eksperimen Bahan Air
- Lampiran 2 Diagram Psikrometrik Udara untuk Eksperimen Bahan Larutan Air-Garam (2%)
- Lampiran 3 Perubahan Diameter Partikel dan Distribusi Kecepatan Udara pada Laju Udara $1.9 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{jam}$, Temperatur 50°C
- Lampiran 4. Perubahan Diameter Partikel dan Distribusi Kecepatan Udara pada Laju Udara $1.9 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{jam}$, Temperatur 60°C
- Lampiran 5. Perubahan Diameter Partikel dan Distribusi Kecepatan Udara pada Laju Udara $1.9 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{jam}$, Temperatur 70°C
- Lampiran 6. Perubahan Diameter Partikel dan Distribusi Kecepatan Udara pada Laju Udara $5.0 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{jam}$, Temperatur 70°C



DAFTAR NOTASI

Suhu dry bulb	= T_{db}	($^{\circ}\text{C}$)
Suhu lingkungan	= T_{ling}	($^{\circ}\text{C}$)
Kuantitas panas eksperimen	= Q_{eks}	(kJ/kg)
Kuantitas panas eksperimen	= Q_{sim}	(kJ/kg)
Dipanaskan hingga	= T_{in}	($^{\circ}\text{C}$)
Laju aliran udara	= \dot{m}_{ud}	($\text{m}^3 \text{ jam}^{-1}$)
Laju bahan	= \dot{m}_{bhn}	($\text{m}^3 \text{ jam}^{-1}$)
Kalor jenis udara kering	= $C_{p_{ud}}$	($\text{kJ kg}^{-1}\text{K}^{-1}$)
Suhu dry bulb	= T_{db}	($^{\circ}\text{C}$)
RH udara masuk	= w	(%)
Dipanaskan hingga	= T_{in}	($^{\circ}\text{C}$)
Laju aliran udara	= \dot{m}_{ud}	($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$)
Humid volume	= v_p	($\text{m}^3 \text{ kg}^{-1}$)
Humidity Ratio	= H	(kg air/kg udara)
Humid heat	= H_s	(kkal/kg $^{\circ}\text{C}$)
kalor laten penguapan	= λ	(kJ/kg)

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Pada zaman ini dengan berubahnya cuaca yang tak menentu membuat sektor pertanian berupaya bekerja keras untuk mendapatkan produk pertanian yang diinginkan. Produk pertanian diharapkan mempunyai kemampuan daya simpan sehingga mempunyai nilai tambah bagi hasil pertaniannya, inovasi ini sangat diperlukan dengan tidak menentunya cuaca pada zaman ini. Tidak hanya di pertanian, di sektor perikanan dan perkebunan memerlukan inovasi ini.

Mesin pengering adalah jawaban untuk mengurangi kadar air di dalam bahan. Kadar air dijaga agar Dalam proses pengeringan, udara panas merupakan faktor penting untuk menentukan efisiensi dari pengering semprot. Dalam upaya peningkatan efisiensi dari pengering semprot banyak cara dilakukan antara lain dengan menggunakan pemanas listrik, *heat pump* dan *dehumidifier*. Untuk daerah yang lembab dan bahan yang sensitif lebih baik menggunakan pemanas refrigerasi dengan *dehumidifier* karena dapat dihasilkan udara yang lebih kering sehingga efisiensi pengeringan dapat ditingkatkan. Proses pengeringan, aktivitas air merupakan salah satu parameter hidratisasi yang sering diartikan sebagai jumlah air bebas dalam bahan yang dapat digunakan untuk pertumbuhan mikroorganisme. Kandungan air pada bahan hasil pertanian akan berpengaruh terhadap daya tahan bahan tersebut dari serangan mikroorganisme sehingga udara panas merupakan faktor penting untuk menentukan efisiensi dari pengering semprot.

I.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka penelitian ini dirumuskan dengan melakukan simulasi CFD dan eksperimen untuk mengetahui karakteristik pengering dan perbandingan panas pengeringan mesin pengering semprot dengan menggunakan bahan air dan air-garam 2%. Penelitian dilakukan dengan membandingkan parameter-parameter seperti tekanan kompresor dan laju aliran bahan setiap parameter tersebut divariasikan temperatur dan laju aliran udara.

I.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui karakteristik pengering semprot dari beberapa variasi flow bahan masuk, suhu udara panas dan tekanan kompresor.
2. Mengetahui panas pengeringan eksperimen dan simulasi untuk bahan air pengering semprot dan panas pengeringan eksperimen larutan air-garam 2%.
3. Mengetahui titik optimum energi pada data air dan larutan air-garam 2%.

I.4 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, dibatasi pada:

1. Eksperimen digunakan dengan menggunakan air dan larutan antara air-garam 2%.
2. Melakukan eksperimen pada variasi tekanan kompresor 1,15 dan 2 bar dan laju bahan 0.6 l/jam - 2.4 l/jam, variasi temperatur 40⁰C - 150⁰C dengan perubahan kenaikan setiap temperaturnya 10⁰C yang diambil.
3. Laju udara masuk bahan air 1.7x10² m³/jam , 1.9 x10² m³/jam , 5.9x10² m³/jam.
4. Eksperimen menggunakan pemanas listrik.
5. Simulasi CFD hanya dilakukan pada bahan uji air.

I.5 Metodologi Penelitian

Dalam penelitian ini, metode untuk mengumpulkan sumber data dan informasi adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur.

Metode yang digunakan dalam pencarian studi literatur ini dengan tinjauan kepustakaan berupa buku-buku yang ada di perpustakaan, jurnal-jurnal tertulis maupun *online*, serta referensi artikel yang terdapat di internet.

2. Pengambilan data.

Data yang diambil dalam penelitian ini adalah data laju aliran udara, laju bahan, suhu udara kering dan suhu udara basah yang keluar dari ruang pengering utama.

3. Simulasi CFD.

Data kecepatan dan suhu udara *dry bulb* dan *wet bulb* yang keluar dari eksperimen tersebut diambil kemudian menjadi masukan pada simulasi Fluent 6.3. Kemudian diperoleh data panas pengeringan simulasi.

I.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

- Bab I: Pendahuluan
Menjelaskan mengenai latar belakang permasalahan, perumusan masalah, tujuan penelitian, pembatasan masalah, metodologi penelitian dan sistematika penulisan.
- Bab II: Tinjauan Pustaka
Menjelaskan tentang konsep pengeringan, karakteristik pengering semprot, simulasi CFD
- Bab III: Metodologi Penelitian
Menjelaskan tentang tahapan-tahapan yang harus dilakukan selama kegiatan penelitian, peralatan dan alat ukur yang diperlukan selama penelitian, proses pengambilan data.
- Bab IV: Analisa Hasil Eksperimen
Mendapatkan nilai panas pengeringan dari eksperimen melalui perhitungan dan nilai simulasi. Memuat hasil-hasil dari simulasi CFD, dan analisa membahas hasil dari data simulasi dan eksperimen dibandingkan dengan melihat panas pengeringan dan titik optimum mesin pengering semprot untuk mengeringkan produk.
- Bab V: Penutup
Menjelaskan tentang kesimpulan dari hasil penelitian dan saran untuk kemajuan penelitian berikutnya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

II.1. Pengertian Pengeringan

Bahasa ilmiah pengeringan adalah penghidratan, yang berarti menghilangkan air dari suatu bahan. Pengeringan adalah proses pengeluaran air atau pemisahan air dalam jumlah yang relatif kecil dari bahan dengan menggunakan energi panas. Hasil dari proses pengeringan adalah bahan kering yang mempunyai kadar air setara dengan kadar air keseimbangan udara (atmosfir) normal atau setara dengan nilai aktivitas air (*aw*) yang aman dari kerusakan mikrobiologis, enzimatis dan kimiawi.

Dalam proses pengeringan, udara panas merupakan faktor penting untuk menentukan efisiensi dari pengering semprot. Dalam upaya peningkatan efisiensi dari pengering semprot banyak cara dilakukan antara lain dengan menggunakan pemanas listrik. Untuk daerah yang lembab dan bahan yang sensitif lebih baik menggunakan pemanas refrigerasi dengan dehumidifier karena dapat dihasilkan udara yang lebih kering sehingga kinerja pengeringan dapat ditingkatkan. Suhu akhir partikel (keluar dari siklon) dapat dianggap sama dengan suhu udara keluar ruang pengering karena partikel bergerak dengan kecepatan yang relatif sama dengan udara. Setelah partikel mengalami proses pengeringan konstan (*constant rate periode*), maka partikel akan mengalami proses pengeringan difusi (*falling rate periode*). Pada proses ini air dalam partikel menguap melalui celah-celah partikel (*difusi*). Semakin lama penguapan semakin kecil tapi proses perpindahan panas masih tetap terjadi. Panas yang diterima oleh partikel pada proses pengeringan difusi selain untuk penguapan juga untuk menaikkan suhu partikel. Untuk *heat sensitive material* harus diperiksa apakah suhu akhir partikel melebihi batas suhu rusak material tersebut. Jika suhu akhir partikel melebihi suhu rusak bahan maka produk tidak dapat digunakan karena mengalami *overheat* (hangus).

Pengeringan adalah suatu peristiwa perpindahan massa dan energi yang terjadi dalam pemisahan cairan atau kelembaban dari suatu bahan sampai batas kandungan air yang ditentukan dengan menggunakan gas sebagai fluida sumber panas dan penerima uap cairan (*Sumber: Treybal, 1980*).

Menurut Brennan (1978), pengeringan atau dehidrasi didefinisikan sebagai pengurangan kandungan air oleh panas buatan dengan kondisi suhu, RH, dan aliran udara terkontrol. Tujuan utama dari pengeringan atau dehidrasi adalah untuk mengurangi kandungan air tanpa merusak struktur produk.

Pengeringan merupakan salah satu proses pengolahan pangan yang sudah lama dikenal. Banyak bahan hasil pertanian yang hanya digunakan setelah dikeringkan terlebih dahulu seperti tembakau, kopi, dan biji-bijian. Meskipun demikian ada kerugian yang ditimbulkan selama pengeringan yaitu terjadinya perubahan sifat fisik dan kimiawi bahan serta terjadinya penurunan mutu bahan.

II.2. Prinsip Dasar Pengeringan

Proses pengeringan atau penghidratan berlaku apabila bahan yang dikeringkan kehilangan sebahagian atau keseluruhan air yang dikandungnya. Proses utama yang terjadi paska proses pengeringan adalah penguapan. Penguapan terjadi apabila air yang dikandung oleh suatu bahan teruap, yaitu apabila panas diberikan kepada bahan tersebut. Pengeringan juga dapat berlangsung dengan cara lain yaitu dengan memecahkan ikatan molekul-molekul air yang terdapat di dalam bahan. Apabila ikatan molekul-molekul air yang terdiri dari unsur dasar oksigen dan hidrogen dipecahkan, maka molekul tersebut akan keluar dari bahan. Akibatnya bahan tersebut akan kehilangan air yang dikandungnya.

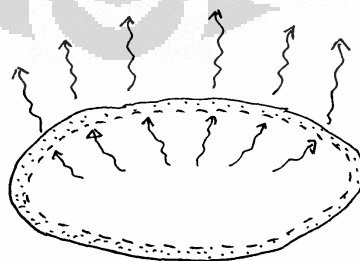
Proses pengeringan pada prinsipnya menyangkut proses perpindahan panas dan massa yang terjadi secara bersamaan (simultan). Pertama-tama panas harus ditransfer dari medium pemanas ke bahan. Selanjutnya setelah terjadi penguapan air, uap air yang terbentuk harus dipindahkan melalui struktur bahan ke medium sekitarnya. Proses ini akan menyangkut aliran fluida di mana cairan harus ditransfer melalui struktur bahan selama proses pengeringan berlangsung. Jadi panas harus disediakan untuk menguapkan air dan air harus mendifusi melalui berbagai macam tahanan agar supaya dapat lepas dari bahan dan berbentuk uap air yang bebas.

Dalam beberapa kasus, air dihilangkan secara mekanik dari material padat dengan cara di-press, sentrifugasi dan lain sebagainya. Cara ini lebih murah dibandingkan pengeringan dengan menggunakan panas. Kandungan air dari bahan yang sudah dikeringkan bervariasi bergantung dari produk yang ingin dihasilkan. Garam kering mengandung 0.5% air, batu bara mengandung 4% air dan produk makanan mengandung sekitar 5% air. Biasanya pengeringan merupakan proses akhir sebelum pengemasan dan membuat beberapa benda lebih mudah untuk ditangani. Pengeringan merupakan metode tertua yang dilakukan manusia dalam usahanya untuk mengawetkan makanan, yang hingga kini metode tersebut masih digunakan (Brennan, 1978). Brooker dkk (1992) menyatakan bahwa pengeringan merupakan proses perpindahan panas dari media pengering ke dalam bahan yang akan dikeringkan dan proses penguapan kandungan air dari bahan yang dikeringkan ke media pengering (udara) yang terjadi secara simultan.

Mekanisme keluarnya air dari dalam bahan selama pengeringan adalah sebagai berikut:

1. Air bergerak melalui tekanan kapiler.
2. Penarikan air disebabkan oleh perbedaan konsentrasi larutan disetiap bagian bahan.
3. Penarikan air ke permukaan bahan disebabkan oleh absorpsi dari lapisan-lapisan permukaan komponen padatan dari bahan.
4. Perpindahan air dari bahan ke udara disebabkan oleh perbedaan tekanan uap.

Mekanisme terlihat pada gambar 2.1 dimana air bergerak melalui celah kapiler bahan dimana penarikan air disebabkan oleh penyerapan dari lapisan-lapisan permukaan komponen.



Gambar 2.1. Air Bergerak Melalui Celah Kapiler Bahan.

II.3. Laju pengeringan

Faktor-faktor yang mempengaruhi dalam kecepatan pengeringan ialah;

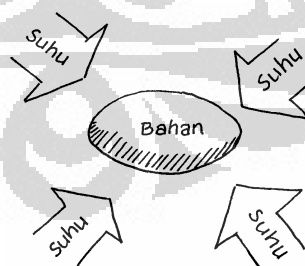
a) Luas Permukaan

Air menguap melalui permukaan bahan, sedangkan air yang ada di bagian tengah akan merembes ke bagian permukaan dan kemudian menguap. Untuk mempercepat pengeringan umumnya bahan pangan yang akan dikeringkan dipotong-potong atau diiris-iris terlebih dulu. Hal ini terjadi karena:

- Pemotongan atau pengirisan tersebut akan memperluas permukaan bahan dan permukaan yang luas dapat berhubungan dengan medium pemanasan sehingga air mudah keluar,
- Potongan-potongan kecil atau lapisan yang tipis mengurangi jarak dimana panas harus bergerak sampai ke pusat bahan pangan. Potongan kecil juga akan mengurangi jarak melalui massa air dari pusat bahan yang harus keluar ke permukaan bahan dan kemudian keluar dari bahan tersebut.

b) Perbedaan Suhu dan Udara Sekitarnya

Semakin besar perbedaan suhu antara medium pemanas dengan bahan pangan makin cepat pemindahan panas ke dalam bahan dan makin cepat pula penghilangan air dari bahan mekanisme terlihat pada gambar 2.2, dimana air yang keluar dari bahan yang dikeringkan akan menjenuhkan udara sehingga kemampuannya untuk menyingkirkan air berkurang.



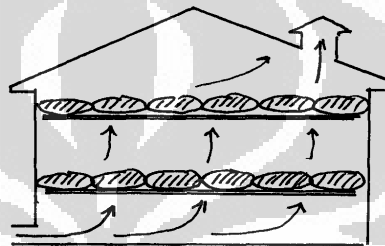
Gambar 2.2. Bahan Menyerap Suhu di Sekitarnya.

Jadi dengan semakin tinggi suhu pengeringan maka proses pengeringan akan semakin cepat. Akan tetapi bila tidak sesuai dengan bahan yang dikeringkan, akibatnya akan terjadi suatu peristiwa yang disebut "Case Hardening", yaitu suatu

keadaan dimana bagian luar bahan sudah kering sedangkan bagian dalamnya masih basah.

a) Kecepatan Aliran Udara

Udara yang bergerak dan mempunyai gerakan yang tinggi selain dapat mengambil uap air juga akan menghilangkan uap air tersebut dari permukaan bahan pangan, mekanisme ini terlihat pada gambar 2.3. Apabila aliran udara disekitar tempat pengeringan berjalan dengan baik, proses pengeringan akan semakin cepat, yaitu semakin mudah dan semakin cepat uap air terbawa dan teruapkan.



Gambar 2.3. Arah Kecepatan Udara Saat Pengeringan

b) Tekanan Udara

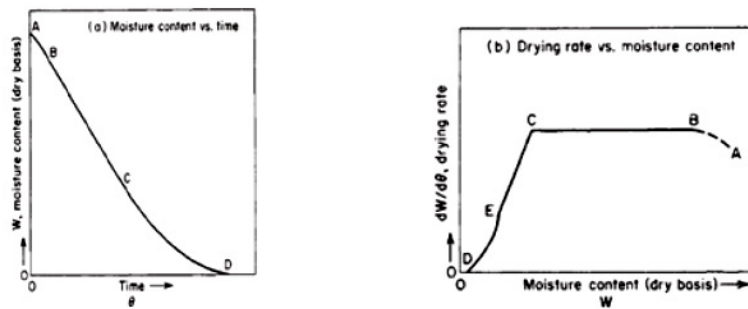
Semakin kecil tekanan udara akan semakin besar kemampuan udara untuk mengangkut air selama pengeringan, karena dengan semakin kecilnya tekanan berarti kerapatan udara makin berkurang sehingga uap air dapat lebih banyak tertampung dan disingkirkan dari bahan pangan. Sebaliknya jika tekanan udara semakin besar maka udara disekitar pengeringan akan lembab, sehingga kemampuan menampung uap air terbatas dan menghambat proses atau laju pengeringan.

Menurut Earle (1983), faktor-faktor utama yang mempengaruhi kecepatan pengeringan dari suatu bahan pangan adalah :

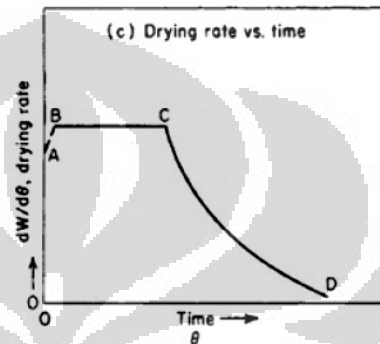
- a) Sifat fisik dan kimia dari produk (bentuk, ukuran, komposisi, kadar air).
- b) Pengaturan geometris produk sehubungan dengan permukaan alat atau media perantara pemindah panas (seperti nampan untuk pengeringan).
- c) Sifat-sifat fisik dari lingkungan alat pengering (suhu, kelembaban, dan kecepatan udara).
- d) Karakteristik alat pengering (efisiensi pemindahan panas).

II.4 Proses Pengeringan

Proses pengeringan dapat dibagi menjadi dua periode yaitu periode dengan laju pengeringan konstan dan periode dengan laju pengeringan menurun (Henderson dan Perry, 1976). Laju pengeringan konstan terjadi sampai air bebas dipermukaan bahan telah hilang dan laju pengeluaran air semakin berkurang. Laju pengeringan konstan tergantung pada luas permukaan bahan, perbedaan kelembaban antara aliran udara dengan permukaan basah, koefisien pindah panas dan kecepatan udara pengering. Kadar air pada saat laju pengeringan berubah dari konstan ke laju pengeringan menurun dan disebut kadar air kritis. Menurut Henderson dan Perry (1976), laju pengeringan konstan terjadi pada awal proses pengeringan produk biologi dengan kadar air lebih besar dari 70% basis basah dan merupakan fungsi dari suhu, kelembaban dan kecepatan udara pengering dan laju perpindahan dalam bahan ke permukaan sama besar dengan laju penguapannya dari permukaan bahan ke udara sekitar. Laju pengeringan menurun meliputi dua proses, yaitu perpindahan air dari dalam bahan ke permukaan bahan dan perpindahan uap air dari permukaan bahan ke udara sekitarnya. Semakin besar luas permukaan yang dikeringkan dan semakin besar selisih tekanan uap air permukaan dan udara maka laju pengeringan akan semakin cepat.



(a). Grafik kadar air dan waktu pengeringan (b). Grafik laju pengeringan dan kadar air



(c). Grafik laju pengeringan dan waktu

Gambar 2. 4. Grafik Periode dari Pengeringan. (Supriono, 2003)

Gambar 2.4(a) adalah grafik hubungan kadar air terhadap waktu pengeringan. Gambar 2.4(b) adalah grafik hubungan laju pengeringan terhadap kadar air sedangkan gambar 2.4(c) adalah grafik hubungan laju pengeringan terhadap waktu. Dari ke-3 gambar, bagian AB menggambarkan periode pemanasan bahan, bagian BC menggambarkan periode laju pengeringan konstan. Titik C merupakan titik kadar air kritis dimana periode laju pengeringan konstan berakhir dan laju pengeringan menurun dimulai. Bagian CD pada gambar (a) menggambarkan periode laju pengeringan menurun. Bagian CE pada gambar (b) dapat didefinisikan sebagai awal dari periode laju pengeringan menurun dan bagian DE didefinisikan sebagai periode laju pengeringan kedua. Mekanisme pengeringan dapat diterangkan dengan teori tekanan uap. Air yang diuapkan terdiri dari air bebas dan air terikat. Air bebas berada pada permukaan bahan dan yang pertama mengalami penguapan. Laju penguapan air bebas sebanding dengan perbedaan tekanan uap pada permukaan bahan terhadap tekanan uap udara pengering. Bila konsentrasi air permukaan cukup besar maka akan terjadi laju penguapan yang konstan. Selama proses pengeringan terjadi penurunan suhu bola

kering yang disertai dengan kenaikan kelembaban mutlak udara pengering dan entalpi

II.5 Pengering Semprot

Menurut Filkova dan Mujumdar (1995), pengering semprot merubah cairan menjadi produk yang kering dalam satu operasi. Cairan dikabutkan menggunakan *rotary wheel* atau *pressure nozzle* dan hasil spray kontak langsung dengan udara panas. Waktu pengeringan spray dryer sangat cepat jika dibandingkan dengan proses pengeringan lainnya.

Kelebihan *spray dryer* adalah

- Sifat dan kualitas produk dapat dikontrol lebih efektif
- Produk yang sensitif terhadap panas dapat dikeringkan pada tekanan atmosfer
- Spray dryer dapat beroperasi pada produksi yang besar secara kontinyu dengan peralatan sederhana

Sedangkan kekurangan *spray dryer* adalah

- Spray dryer tidak fleksibel. Mesin yang di desain untuk produk lembut tidak dapat digunakan untuk produk yang kasar
- Bahan harus dapat dipompa
- Membutuhkan investasi yang besar dibandingkan mesin pengering yang lain

Menurut Jayas dan Sokhansanj (1995), *spray dryer* digunakan untuk dehidrasi cairan. Cairan dimasukkan ke dalam udara panas dalam bentuk kabut. Produk yang kering dipisahkan dari aliran udara dan dikumpulkan untuk proses selanjutnya. Desain spray dryer bervariasi, mulai yang sederhana sampai yang sangat kompleks. Perbedaan utama dalam desain adalah variasi dalam *atomizer*, pola aliran udara, sistem pemanasan udara dan sistem separasi.

II.6 Karakteristik Hidratasi (penguapan air)

Karena proses utama dalam pengeringan adalah proses penguapan air, maka perlu terlebih dahulu diketahui karakteristik hidratasi bahan pangan yaitu sifat-sifat bahan yang meliputi interaksi antara bahan pangan dengan molekul air

yang dikandungnya dan molekul air di udara sekitarnya. Peranan air dalam bahan pangan dinyatakan dengan kadar air dan aktivitas air (a_w), sedangkan peranan air di udara dinyatakan dengan kelembaban relatif (RH) dan kelembaban mutlak (H).

II.6.1 Kadar Air

Kadar air suatu bahan menunjukkan banyaknya kandungan air persatuan bobot bahan yang dapat dinyatakan dalam persen berat basah (wet basis) atau dalam persen berat kering (dry basis). Kadar air berat basah mempunyai batas maksimum teoritis sebesar 100 %, sedangkan kadar air berat kering dapat lebih dari 100 %. Kadar air berat basah (b.b) adalah perbandingan antara berat air yang ada dalam bahan dengan berat total bahan. Kadar air berat basah dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$m = \frac{W_m}{W_t + W_d} \times 100\% = \frac{W_m}{W_t} \times 100\%$$

di mana :

m = kadar air berat basah (% b.b)

W_m = berat air dalam bahan (g)

W_d = berat padatan dalam bahan (g) atau berat bahan kering mutlak

W_t = berat total (g)

Kadar air berat kering (b.k) adalah perbandingan antara berat air yang ada dalam bahan dengan berat padatan yang ada dalam bahan. Kadar air berat kering dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$M = \frac{W_m}{W_d} \times 100\%$$

di mana :

M = kadar air berat kering (% b.k)

W_m = berat air dalam bahan (g)

W_d = berat padatan dalam bahan (g) atau berat bahan kering mutlak

Berat bahan kering mutlak adalah berat bahan setelah mengalami pengeringan dalam waktu tertentu sehingga beratnya konstan. Pada proses pengeringan, air yang terkandung dalam bahan tidak dapat seluruhnya diuapkan, meskipun demikian hasil yang diperoleh disebut juga sebagai berat bahan kering.

Di dalam analisis bahan pangan, biasanya kadar air bahan dinyatakan dalam persen berat kering. Hal ini disebabkan perhitungan berdasarkan berat basah mempunyai kelemahan yaitu berat basah bahan selalu berubah-ubah setiap saat, sedangkan berat bahan kering selalu tetap. Metode pengukuran kadar air yang umum dilakukan di Laboratorium adalah metode oven atau dengan cara destilasi. Pengukuran kadar air secara praktis di lapangan dapat dilakukan dengan menggunakan moisture meter yaitu alat pengukur kadar air secara elektronik.

Kandungan air pada suatu bahan hasil pertanian terdiri dari 3 jenis yaitu :

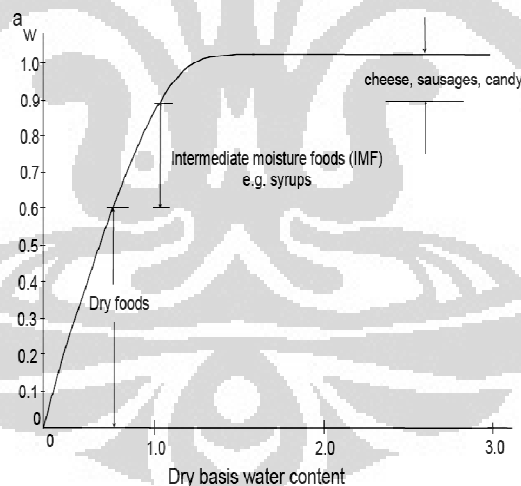
- Air bebas (free water). Air ini terdapat pada permukaan bahan, sehingga dapat digunakan oleh mikroorganisme untuk pertumbuhannya serta dapat dijadikan sebagai media reaksi-reaksi kimia. Air bebas dapat dengan mudah diuapkan pada proses pengeringan. Bila air bebas ini diuapkan seluruhnya, maka kadar air bahan akan berkisar antara 12 % sampai 25 %.
- Air terikat secara fisik. Air jenis ini merupakan bagian air yang terdapat dalam jaringan matriks bahan (tenunan bahan) akibat adanya ikatan mekanik fisik. Air jenis ini terdiri atas :
 - Air terikat menurut sistem kapiler yang ada dalam bahan karena adanya pipa-pipa kapiler pada bahan.
 - Air absorpsi yang terdapat pada tenunan-tenunan bahan karena adanya tenaga penyerapan dari dalam bahan.
 - Air yang terkurung di antara tenunan bahan karena adanya hambatan mekanis dan biasanya terdapat pada bahan yang berserat.
- Air terikat secara kimia. Untuk menguapkan air jenis ini pada proses pengeringan diperlukan energi yang besar. Air yang terikat secara kimia terdiri atas :
 - Air yang terikat sebagai air kristal.
 - Air yang terikat dalam sistem dispersi koloidal yang terdiri dari partikel-partikel yang mempunyai bentuk dan ukuran beragam.

Partikel-partikel ini ada yang bermuatan listrik positif atau negative sehingga dapat saling tarik menarik. Kekuatan ikatan yang ada dalam ketiga jenis air tersebut berbeda-beda dan untuk memutuskan ikatannya diperlukan energi

penguapan. Besarnya energi penguapan untuk air bebas paling rendah, kemudian diikuti oleh air terikat secara fisik dan air terikat secara kimia yang paling besar.

II.6.2 Aktivitas Air

Dalam bahan hasil pertanian, peranan air yang utama adalah sebagai pelarut yang digunakan selama proses metabolisme. Tingkat mobilitas dan peranan air bagi proses kehidupan biasanya dinyatakan dengan besaran aktivitas air (water activity = a_w) yang ada dalam rentang 0 sampai 1. Menurut Winarno (1984) kandungan air pada bahan hasil pertanian akan berpengaruh terhadap daya tahan bahan tersebut dari serangan mikroorganisme. Aktivitas air merupakan salah satu parameter hidrasi yang sering diartikan sebagai jumlah air bebas dalam bahan yang dapat digunakan untuk pertumbuhan mikroorganisme. Setiap mikroorganisme hanya dapat tumbuh pada kisaran a_w tertentu seperti a_w untuk pertumbuhan bakteri 0.90, khamir 0.80 – 0.90 dan kapang 0.60 – 0.70. Perbandingan antara aktivitas air (a_w) dengan *dry basis water content* pada berbagai jenis makanan terlihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5. Aktivitas Air vs Dry Basis Water Content Berbagai Macam Jenis Makanan (Supriono, 2003)

Oleh karena itu untuk mencegah pertumbuhan mikrobia, aktivitas air pada bahan harus diatur. Istilah aktivitas air digunakan untuk menjabarkan air yang terikat atau air bebas dalam suatu sistem yang dapat menunjang reaksi biologis dan kimiawi. Air yang terkandung dalam bahan pangan apabila terikat kuat dengan komponen bukan air, maka akan lebih sukar untuk digunakan dalam

aktivitas biologis maupun aktivitas kimia hidrolitik. Menurut Hukum Raoult, aktivitas air berbanding lurus dengan jumlah mol pelarut dan berbanding terbalik dengan jumlah mol di dalam larutan.

$$A_w = \frac{n_1}{n_1 + n_2}$$

di mana :

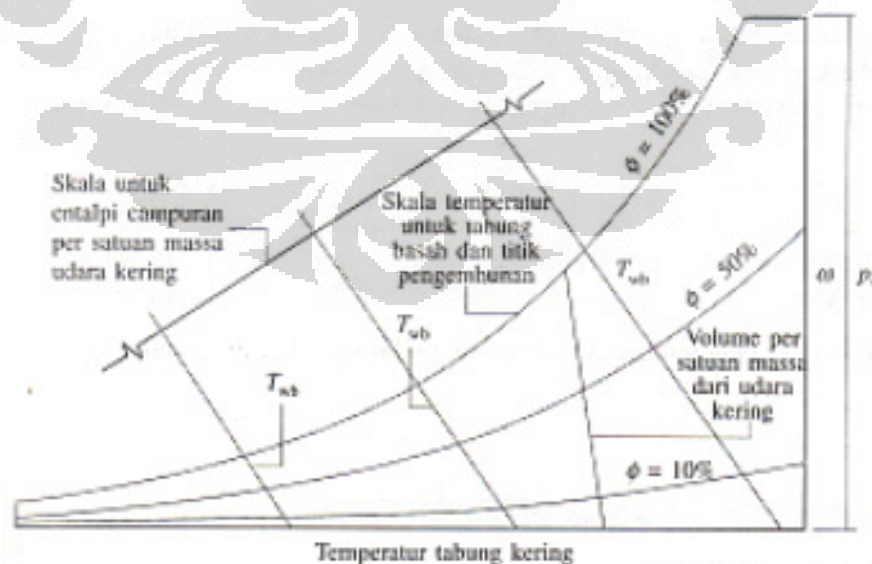
n_1 = jumlah mol pelarut

n_2 = jumlah mol zat terlarut

$n_1 + n_2$ = jumlah mol larutan

II.6.3 Diagram Psikrometrik

Diagram psikometri memberikan pembahasan mengenai sistem yang melibatkan campuran udara kering dengan uap air. Fase kodensasi air juga mungkin terjadi. Pengetahuan mengenai sifat dari sistem tersebut sangat penting untuk menganalisis dan merancang alat pendingin udara, menara pendingin, dan proses industri yang membutuhkan pengendalian kadar uap air dalam udara. Studi mengenai sistem yang melibatkan udara kering dan air disebut psikometrik. Gambar 2.6 memperlihatkan diagram psikometrik dimana terdapat parameter seperti suhu bola kering, suhu bola basah, tekanan uap air, kelembaban relatif, *volume specific*, dan kelembaban udara.

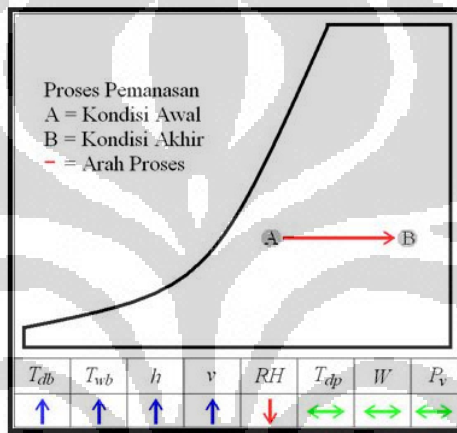


Gambar 2.6. Psikometrik (Moran & Shapiro, 2004)

Proses yang terjadi pada mesin pengering semprot :

- Proses pemanasan

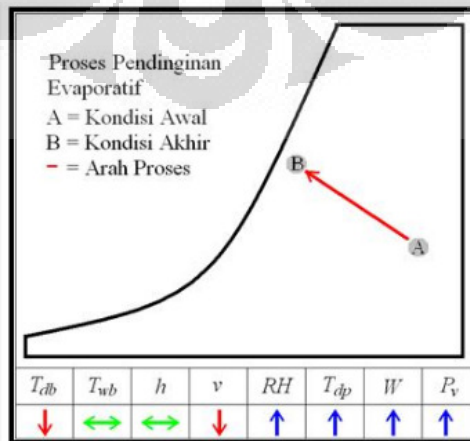
Pada proses pemanasan, terjadi peningkatan suhu bola kering, suhu bola basah, entalpi, dan volume spesifik dari udara lembab sedangkan pada kelembaban relatif terjadi penurunan. Perubahan tidak terjadi pada kelembaban mutlak, suhu titik embun, dan tekanan uap parsial. Gambar 2.7 memperlihatkan proses pemanasan pada diagram psikometerik. Dari proses A menuju B. Titik A adalah temperatur lingkungan baik suhu bola kering dan basah. Titik B terjadi kenaikan suhu bola kering dan suhu bola basah dengan nilai kelembaban konstan.



Gambar 2.7. Psikometrik Pada Proses Pemanasan (<http://mntugraha.com>;2009)

- Proses pengeringan.

Pada proses pengeringan, perubahan karakteristik sifat-sifat termodinamika udara serupa dengan proses pendinginan evaporatif. Gambar 2.8 memperlihatkan proses pengeringan pada diagram psikometerik



Gambar 2.8. Psikometrik Pada Proses Pengeringan (<http://mntugraha.com>;2009)

Dari proses A menuju B beberapa parameter mengalami kenaikan, penurunan dan terdapat nilai konstan. Seperti terlihat salah satunya parameter suhu bola basah dan nilai entropi konstan. Berbeda dengan suhu bola kering yang mengalami penurunan yang berkebalikan dengan nilai kelembaban relatif dan kelembaban mutlak.

Berikut beberapa istilah (sifat-sifat udara) yang sering dipakai dan berkaitan dengan diagram psikometrik :

- Udara lembab

Istilah udara lembab mengacu pada campuran antara udara kering dan uap air dimana uap air diperlakukan sebagai sebuah komponen murni. Sebagaimana dapat diverifikasi melalui data properti yang ada, campuran keseluruhan dan setiap komponen campuran memiliki sifat seperti gas ideal.

- Rasio Kelembaban

Komposisi dari sebuah sampel udara lembab tertentu dapat dideskripsikan dalam berbagai cara. Campuran dapat dituliskan dalam mol udara kering dan uap air yang terkandung atau dalam fraksi mol masing-masing. Komposisi ini juga dinyatakan dengan melalui rasio kelembaban ω , yang didefinisikan sebagai rasio massa dari uap air dengan massa dari uap kering. Rasio kelembaban terkadang disebut sebagai kelembaban spesifik.

- Kelembaban relatif dan kelembaban mutlak

Kandungan dari udara lembab dapat juga dituliskan dalam bentuk kelembaban relative (RH) kelembaban nisbi didefinisikan sebagai perbandingan antara tekanan parsial uap air yang ada di udara dengan tekanan dan temperatur pada suhu yang sama.

$$RH = \left[\frac{P}{P_s} \right]_{T,p} \times 100\% = \left[\frac{p_v}{p_g} \right]_{T,p} \times 100\%$$

di mana :

RH = Kelembaban Relatif (%)

P (p_v) = Tekanan parsial uap air pada suhu T (atm)

$P_s(p_g)$ = Tekanan uap air jenuh pada suhu T (atm)

T = Suhu atmosfer ($^{\circ}$ C)

P = Tekanan campuran (atm)

Dalam keadaan setimbang dengan bahan pangan, maka hubungan antara aktivitas air dengan kelembaban relatif dapat ditulis sebagai berikut :

$$a_w = \frac{RH_s}{100} = \frac{P}{P_s} = \frac{p_v}{p_g}$$

di mana :

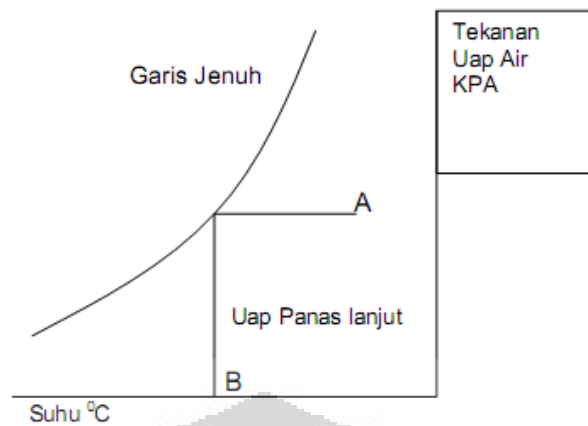
RH_s = Kelembaban relatif dalam keadaan kesetimbangan (%)

P_s = Tekanan uap jenuh (atm) .

Kelembaban Mutlak (Y) adalah besaran yang digunakan untuk menentukan jumlah uap air di udara. Untuk menentukan kelembaban nisbi dan kelembaban mutlak dapat digunakan kurva psikrometrik, dengan mengukur suhu udara basah dan suhu udara kering. Pengukuran udara kering dilakukan dengan meletakkan termometer di udara, dan suhu udara basah diukur dengan menggunakan thermometer yang ujungnya dibungkus dengan kapas basah.

- Garis jenuh (saturation line)

Garis jenuh ini adalah salah satu istilah pada diagram psikometri koordinat-koordinat dimana suhu (t) sebagai basis dan tekanan uap air (p_s) sebagai ordinat. Garis jenuh dapat ditarik pada diagram tersebut seperti gambar dibawah. Data untuk garis jenuh dapat dilihat langsung pada tabel tentang air jenuh. Daerah sebelah kanan garis jenuh adalah daerah uap air panas lanjut. Jika uap ini didinginkan dengan tekanan tetap maka akan dicapai garis nuh yaitu batas uap air mulai mengembun gambar dibawah dapat dianggap berlaku untuk campuran udara uap air.

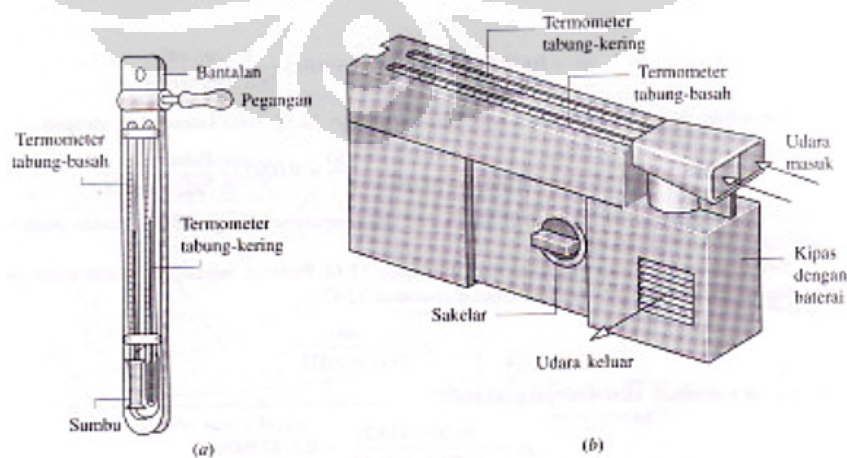


Gambar 2.9. Garis Jenuh

Pada gambar menunjukkan apabila titik A merupakan keadaan suatu campuran udara agar terjadi pengembunan, maka suhu campuran tersebut harus diturunkan hingga B udara pada titik A dikatakan mempunyai suhu titik embun B. Untuk jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.9 garis jenuh.

- Temperatur Bola Kering (Dry Bulb)

Temperatur bola kering atau biasa disebut tabung kering menunjukkan temperatur yang diukur oleh sebuah termometer yang ditempatkan di dalam campuran. Biasanya termometer tabung kering dipasang berdampingan dengan termometer tabung basah untuk membentuk sebuah alat yang disebut psikometer. Pada gambar 2.10 (a) dan 2.10 (b) dimana kedua alat psikometer dan *Aspirating psychomete* dipasang berdampingan yang memiliki tujuan sama yaitu mengukur suhu tabung basah dan kering.



Gambar 2.10. Psikometer (a) Psikometer tangan (b) *Aspirating Psychometer* (Moran & Shapiro, 2004)

- Temperatur Bola Basah (*Wet Bulb*)

Temperatur bola basah (tabung basah) dapat dibaca dengan menggunakan termometer bola basah (tabung basah), yang merupakan termometer cairan dalam gelas yang ujung tabungnya diselubungi oleh sumbu yang dibasahi oleh air. Temperatur ini disebut juga temperatur jenuh adiabatik diperoleh dengan menggunakan termometer dengan sensor yang dibalut dengan kain basah untuk menghilangkan pengaruh radiasi panas, tetapi perlu diperhatikan bahwa sensor harus dialiri udara sekurang-kurangnya 5 m/s.

II.5. Perancangan Orifis

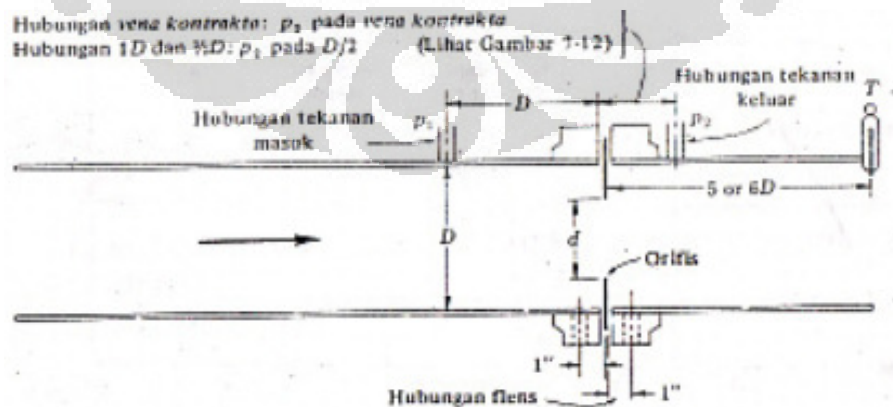
Perancangan orifis melalui langkah-langkah seperti berikut :

II.5.1 Pemilihan Tipe Orifis

Perancangan awal dengan memilih tipe dari pelat orifis, bermacam-macam seperti concentric, eccentric dan segmental. Pelat orifis tipe eccentric dan segmental dipakai untuk mengukur kecepatan aliran yang mengandung bahan padat. Maka dipilih tipe concentric dengan fluida udara.

II.5.1.1 Pemilihan Pemasangan Tap (lubang)

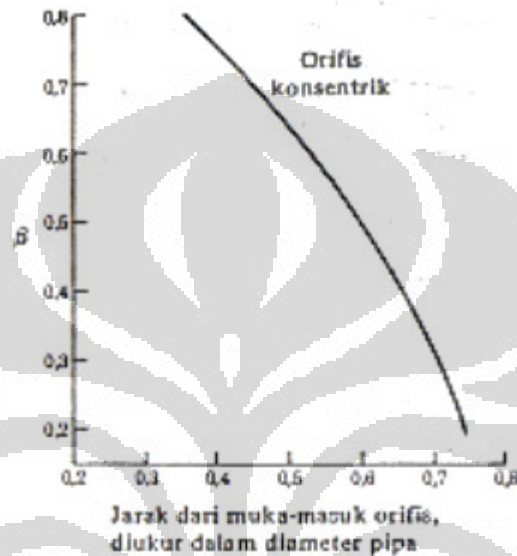
Pemasangan tap (lubang) pengukuran orifis dipilih dengan tap *vena contracta* yang pengukurannya lebih teliti dari tap flange dan tap pipa seperti yang terlihat pada gambar 2.11. Pengukuran lebih teliti dikarenakan tekanan diferensial yang lebih besar dari tipe yang lain.



Gambar 2.11 *Vena Contracta* (Holman J.P, 1984)

II.5.1.2. Menentukan Jarak Pelubangan

Menentukan jarak pelubangan dengan membandingkan diameter orifis dengan diameter pipa disebut β . Dari hasil tersebut didapat jarak pelubangan dari orifis ke tempat pelubangan dengan melihat grafik seperti terlihat pada gambar 2.12.



Gambar 2.12 Grafik Lokasi Pengambilan Tekanan untuk orifis dengan titik pengambilan tekanan pada vena kontrakta. (Holman J.P, 1984)

Jarak pelubangan sebelum orifis (X_1) = 1 x Diameter pipa

Jarak pelubangan sebelum orifis (X_2) = jarak pelubangan (x_1) x Diameter pipa (grafik J.P. Holman : 242).

II.5.2. Perhitungan Laju Aliran Udara

Perhitungan laju aliran bahan menggunakan hubungan antara persamaan bernoulli dengan persamaan kontinuitas, dimana persamaan kontinuitas

$$\dot{m} = \rho A_1 v_1 = \rho A_2 v_2$$

Dimana v adalah kecepatan. Jika aliran itu adiabatik dan tanpa gesekan (*frictionless*) dan fluida itu tak mampu mampat (*Incompressible*) maka persamaan Bernoulli yang kita kenal dapat kita tuliskan

$$\frac{P_1}{\rho_1} + \frac{v_1^2}{2g_c} = \frac{P_2}{\rho_2} + \frac{v_2^2}{2g_c}$$

dimana $\rho_1 = \rho_2$. Bila persamaan kontinuitas dan bernoulli diselesaikan secara serentak kita dapatkan sebagai penurunan tekanan

$$P_1 - P_2 = \frac{v_2^2}{2g_c} \left[1 - \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 \right]$$

dimana, v_1, v_2 = kecepatan aliran sebelum dan sesudah aliran (m/s^2)

P_1, P_2 = tekanan aliran sebelum dan sesudah lewat orifis (Pa)

A_1, A_2 = luas penampang sebelum dan sesudah orifis (m^2)

$$g_c = 1 \text{ (kg.m/N.s}^2\text{)}$$

Maka laju volumetrik (Q_{ideal}) adalah

$$Q_{ideal} = A_2 v_2 = \frac{A_2}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right)}} \sqrt{\frac{2g_c}{\rho} (p_1 - p_2)}$$

dimana, Q_{ideal} = laju aliran volume sebelum orifis (m^3/s)

Konstanta empirik pada alat laju aliran ini adalah

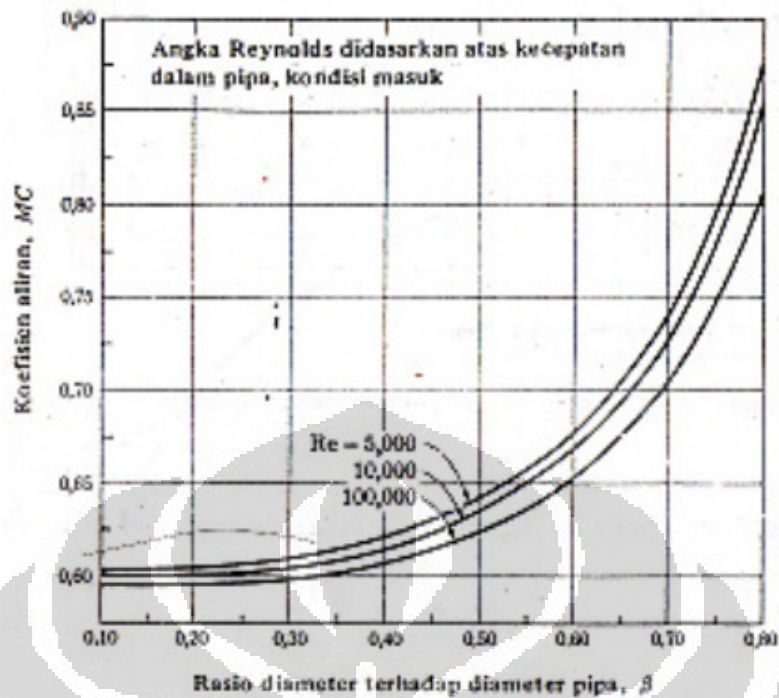
$$M = \text{faktor kecepatan masuk} = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right)}}$$

K = koefisien aliran = CM

$$\beta = \text{rasio diameter} = \frac{d}{D} = \sqrt{\frac{A_2}{A_1}}$$

Konstanta K (koefisien) didapat dari tabel setelah menghitung bilangan Reynolds. Adanya *vena contracta* saat melintasi plat orifis maka persamaan menjadi;

$$Q_{nyata} = Q_{ideal} C$$



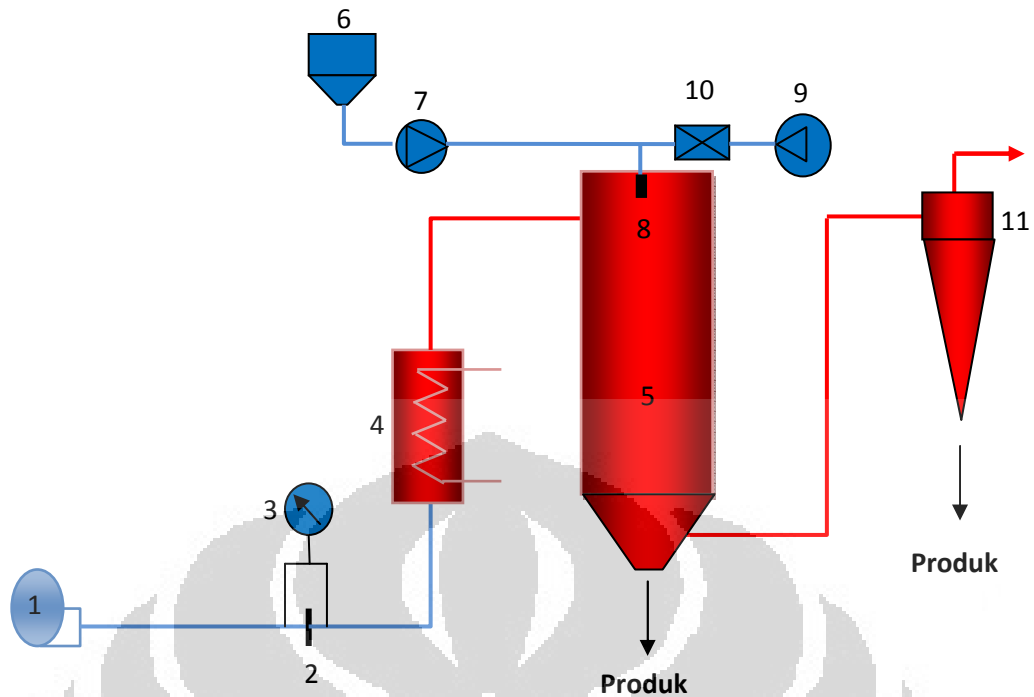
Gambar 2.13 Koefisien Buang Untuk Orifis Konsentrik Dalam Pipa. (Holman J.P, 1984)

Gambar 2.13 menunjukkan perbandingan antara koefisien aliran (MC) dengan rasio diameter (β). Perbandingan ini menentukan kecepatan aliran dalam pipa.

II.6 Pengering Semprot

II.6.1. Prinsip Kerja Pengering Semprot

Cara kerja mesin pengering semprot (*spray dryer*) adalah sebagai berikut langkah pertama udara berasal dari blower dipanaskan oleh *heater*, kemudian bahan dengan udara dari kompresor dikeluarkan melalui *nozzel*, bahan tersebut diubah dalam bentuk butiran-butiran air. Dengan adanya perubahan waktu butiran-butiran tersebut mengering dan berubah menjadi serbuk. Selanjutnya produk bahan dengan udara panas dipisahkan dengan *cyclone* (penyaring). Langkah selanjutnya produk dalam bentuk serbuk tersebut diturunkan suhunya sesuai dengan kebutuhan produksi.



Gambar 2.14 Skema Pengering Semprot

Gambar 2.14 merupakan skema pengering semprot menggunakan *spray drying* sesuai dengan prinsip kerja bahwa warna biru merupakan suhu lingkungan berbeda dengan warna merah yang menunjukkan temperatur setelah melewati pemanas udara yang memasuki ruang pengering.

Bagian-bagian dari unit *spray dryer*:

1. *Blower*
2. *Orifice*
3. *Manometer*
4. Pemanas udara (*air heater*)
5. *Ruang pengering (drying chamber)*
6. *Feed tank*
7. Pompa umpan
8. *Nozzle atomiser*
9. Kompresor
10. Filter udara

II.6.2. Eksperimen dan Simulasi Pengering Semprot

II.6.2.1. Perhitungan Panas Pengeringan

Suhu dry bulb	= T_{db}	($^{\circ}\text{C}$)
Suhu lingkungan	= T_{ling}	($^{\circ}\text{C}$)
Kuantitas panas eksperimen	= Q_{eks}	(kJ/kg)
Kuantitas panas eksperimen	= Q_{sim}	(kJ/kg)
Dipanaskan hingga	= T_{in}	($^{\circ}\text{C}$)
Laju aliran udara	= \dot{m}_{ud}	($\text{m}^3 \text{ jam}^{-1}$)
Laju bahan	= \dot{m}_{bhn}	($\text{m}^3 \text{ jam}^{-1}$)
Kalor jenis udara kering	= C_{pud}	($\text{kJ kg}^{-1}\text{K}^{-1}$)
Panas pengeringan	= $\frac{Q}{\dot{m}_{bhn}}$	
	= $\frac{\dot{m}_{ud} c_p \Delta T}{\dot{m}_{bhn}}$	

II.6.2.2. Perhitungan Energi

A. Daya Heater

Suhu dry bulb	= T_{db}	($^{\circ}\text{C}$)
RH udara masuk	= w	(%)
Dipanaskan hingga	= T_{in}	($^{\circ}\text{C}$)
Laju aliran udara	= \dot{m}_{ud}	($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$)
Humid volume	= v_p	($\text{m}^3 \text{ kg}^{-1}$)
Humidity Ratio	= H	(kg air/kg udara)
Humid heat (H_s)	= $0.24 + 0.45H$	(kkal/kg $^{\circ}\text{C}$)
kalor laten penguapan	= λ	(kJ/kg)

$$\text{Daya Heater} = \frac{\dot{m}_{ud} \cdot (T_{in} - T_{db}) \cdot H_s}{v_p} \text{ (kW)}$$

B. Kalor untuk Menguapkan

$$\text{Kalor penguapan} = \dot{m}_{ud} \times \lambda \text{ (kW)}$$

C. Total Energi untuk Udara

$$\text{Total Energi} = \text{Daya Heater} + \text{Kalor Penguapan} \text{ (kW)}$$

II.6.3 Computational Fluid Dynamics (CFD)

Untuk memahami CFD, pertama-tama mari kita bagi dua kata-kata Computational Fluid Dynamics, Computational adalah segala sesuatu yang berhubungan dengan matematika dan metode numerik atau komputasi. *Fluid dynamics* adalah dinamika dari segala sesuatu yang mengalir.

Ditinjau dari istilah di atas, CFD bisa berarti suatu teknologi komputasi yang memungkinkan anda untuk mempelajari dinamika dari benda-benda atau zat-zat yang mengalir. Secara definisi, CFD adalah ilmu yang mempelajari cara memprediksi aliran fluida, perpindahan panas, reaksi kimia, dan fenomena lainnya dengan menyelesaikan persamaan-persamaan matematika (model matematika). Pada dasarnya, persamaan-persamaan pada fluida dibangun dan dianalisis berdasarkan persamaan-persamaan differential parsial (PDE= *partial differential equation*) yang merepresentasikan hukum-hukum konservasi massa, momentum, dan energi. Sebuah perangkat lunak (software) CFD memberikan anda kekuatan untuk mensimulasikan aliran fluida, perpindahan panas, perpindahan massa, benda-benda bergerak, aliran multifasa, reaksi kimia, interaksi fluida dengan struktur, dan sistem akustik hanya dengan pemodelan di komputer. Dengan menggunakan software ini anda dapat membuat virtual prototype dari sebuah sistem atau alat yang ingin anda analisis dengan menerapkan kondisi nyata dilapangan, software CFD akan memberikan anda data-data, gambar-gambar, atau kurva-kurva yang menunjukkan prediksi dari performansi keandalan sistem yang anda desain tersebut.

Penggunaan CFD umumnya berhubungan dengan keempat hal berikut :

1. Studi konsep dari desain baru.
2. Pengembangan produk secara detail.
3. Analisis kegagalan atau troubleshooting.
4. Desain Ulang.

Terdapat tiga hal yang merupakan alasan kuat kenapa kita harus menggunakan CFD, yakni :

1. *Insight*.

2. *Foresight*.

3. *Efficiency*.

- **Insight (Pemahaman mendalam)**

Jika kita mendesain sebuah sistem atau alat yang sulit untuk dibuat prototype nya atau sulit untuk dilakukan pengujian, analisis CFD memungkinkan kita untuk merangkak, merayap, dan menyelinap masuk secara virtual kedalam alat/sistem yang kita rancang tersebut. Terdapat banyak fenomena yang dapat kita saksikan melalui CFD yang tidak dapat kita lihat lewat cara lainnya.

- **Foresight (Prediksi menyeluruh)**

Dikarenakan CFD adalah alat untuk memprediksi apa yang akan terjadi pada alat/sistem yang kita desain dengan satu atau lebih kondisi batas, CFD dapat menjawab dengan cepat pertanyaan titikal : 'Bagaimana jika?'. Dengan mengubah-ubah kondisi batas (variasi kondisi batas), kita dapat segera menentukan desain mana yang optimal.

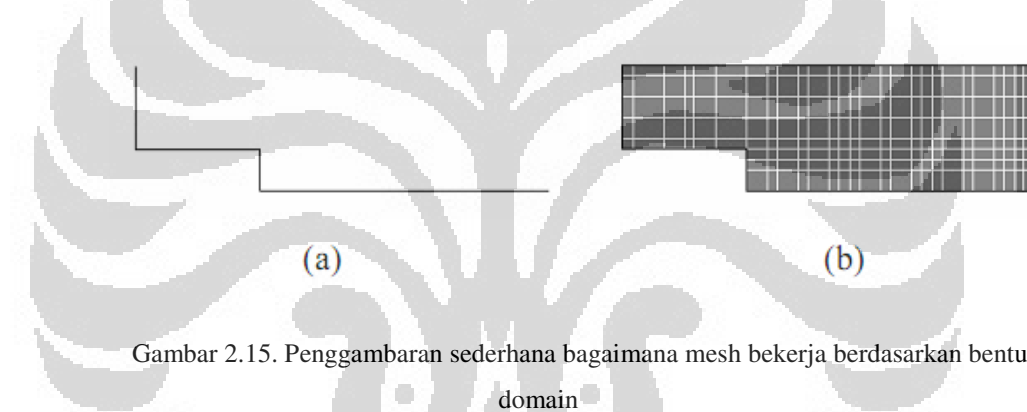
- **Efficiency (Efisiensi waktu dan biaya)**

Foresight yang kita peroleh dari CFD membantu kita untuk mendesain lebih cepat dan hemat biaya. Analisis/simulasi CFD akan memperpendek waktu riset dan desain sehingga dapat mempercepat produk yang dirancang.

II.6.3.1 Meshing

Persamaan diferensial parsial yang menentukan aliran fluidan dan perpindahan panas tidak biasa diterima dalam solusi analitis, kecuali untuk kasus yang sangat sederhana. Oleh karena itu, untuk menganalisa aliran fluida, daerah

aliran dibagi menjadi subdomain yang lebih kecil (membuat geometri sederhana seperti heksahedral dan tetrahedral dalam 3 dimensi, dan kuadrilateral dan segitiga dalam 2 dimensi) dan persamaan pengatur diskritisasi dapat diselesaikan dengan membagi domain dalam beberapa bagian. Umumnya, satu dari tiga metode digunakan untuk menyelesaikan persamaan sistem: volume hingga, elemen hingga, atau elemen differences. Ketelitian harus diterapkan untuk meyakinkan kekontinuitas persamaan yang melewati dua permukaan di antara dua subdomain, demikian untuk mendapatkan persamaan perkiraan di dalam variasi bagian dapat dimasukkan bersama-sama untuk memberikan gambaran lengkap dari aliran fluida di tiap domain. Setiap bagian dari domain dikenal sebagai elemen atau sel, dan kumpulan dari semua elemen dikenal sebagai mesh atau grid seperti terlihat gambar 2.15.



Gambar 2.15. Penggambaran sederhana bagaimana mesh bekerja berdasarkan bentuk domain

II.6.3.2 Pre-Processor

Pre-processing berisikan masukan mengenai permasalahan fluida yang akan dianalisa dan perubahan masukan tersebut menjadi bentuk yang dapat diselesaikan oleh solver. Pada tahap pre-processing dilakukan:

- Pendefinisian geometri daerah yang akan diamati (computational domain).
- Pembuatan grid, pembagian domain menjadi bagian-bagian kecil sub-

domain yang tidak bertindihan, yaitu menjadi sel-sel.

- Pemilihan fenomena fisik dan kimia yang akan dimodelkan.

- Penentuan sifat-sifat fluida.
- Spesifikasi kondisi batas dan kondisi awal.

II.6.3.3 Solver

Persamaan atur adalah berbentuk persamaan diferensial parsial. Untuk dapat diselesaikan dengan komputer, maka persamaan tersebut harus ditransformasikan ke dalam bentuk numerik. Terdapat tiga teknik utama penyelesaian numerik CFD, yaitu dengan finite difference, finite element, dan finite volume. Pada garis besarnya, metode numerik yang menjadi basis solver melakukan langkah-langkah berikut:

- Perkiraan variabel aliran yang belum diketahui dengan suatu fungsi sederhana.
- Diskritisasi dengan mensubstitusi perkiraan tersebut pada persamaan pengatur dan melakukan perhitungan matematis yang berulang.
- Penyelesaian dari persamaan pengatur

II.6.3.4 Post-Processor

Pada tahap ini, paket program CFD menampilkan hasil perhitungan solver secara grafis yang meliputi:

- Tampilan geometri domain dan grid.
- Plot vektor.
- Plot kontur.
- Plot permukaan 2D atau 3D.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Metode Penelitian

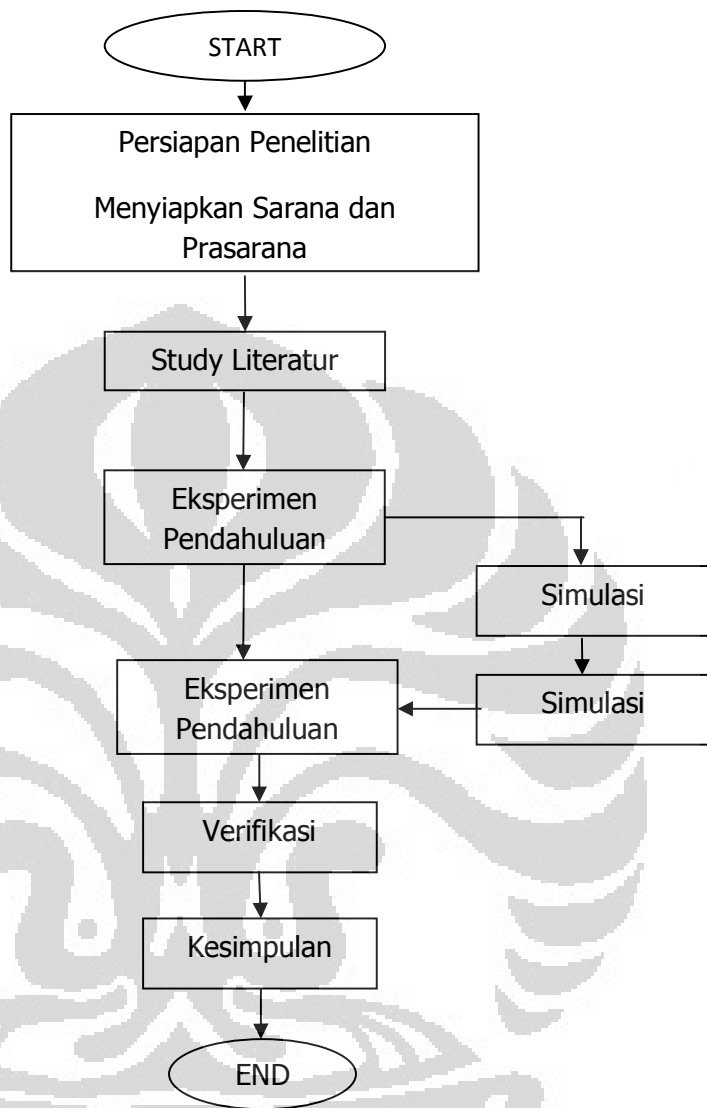
Metode penelitian yang digunakan dalam skripsi ini yaitu membandingkan data eksperimen dengan CFD (Computational Fluid Dynamic) menggunakan bahan air. Langkah awal adalah mengambil data eksperimen, kemudian melakukan perhitungan kesetimbangan energi sebagai masukan dalam simulasi CFD. Berdasarkan dimensi yang ada dan kesetimbangan energi, maka dilakukan simulasi CFD menggunakan *software* Fluent 6.3 dengan skala 1:1 untuk mengetahui kinerja dari pengering semprot yang kemudian didapatkan titik optimumnya. Setelah melakukan simulasi, maka data dari simulasi dibandingkan dengan data eksperimen. Perbandingan data simulasi dan data eksperimen dilakukan hanya pada bahan air dan larutan air dengan garam 2%, hal ini dikarenakan tidak ditemukan unsur-unsur garam di *software* Fluent.

III.1.1 Objek, Waktu, dan Tempat Penelitian

Objek penelitian ini adalah menghitung laju penguapan dari pengering semprot yang berada di Laboratorium Perpindahan Panas, Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia. Pengambilan data berupa suhu udara kering keluar ruang pengering, suhu udara basah keluar ruang pengering, laju bahan masuk ruang pengering, suhu udara keluar heater, tekanan udara pada nozzle, laju udara masuk ruang pengering, dan keadaan penampung produk. Pengambilan data dilakukan pada tanggal desember 2010.

III.1.2 Alur Kerangka Penelitian

Adapun alur kerangka penelitian ini seperti terlihat pada gambar 3.1:



Gambar 3. 1 Diagram Alir

III.1.3 Deskripsi Alat dan Bahan Uji

Peralatan yang digunakan dalam proses pengambilan data pada pengering semprot adalah :

- Rangkaian Pengering Semprot

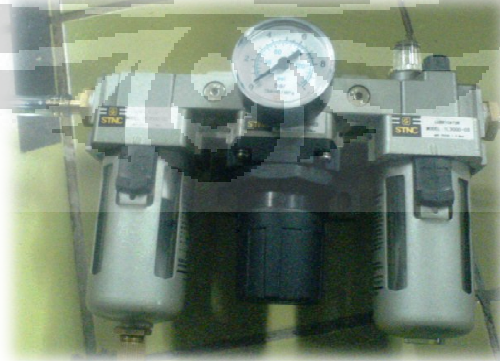
Terdiri dari rangka sebagai penopang mesin pengering dan mesin pengering sendiri. Seperti terlihat pada gambar 3.2. Mesin pengering terpasang ruang pengering, blower, manometer, kontak panel, *Feed tank*, Pompa booster, *Nozzle atomiser*, kompressor dan siklon.



Gambar 3.2 Rangkaian Pengering Semprot

- Pengatur Tekanan (*FRL Pressure Regulator*)

Sebagai alat untuk mengatur tekanan udara yang masuk ke *nozzle*, hanya memakai filter dan regulatornya saja, seperti terlihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 *Pressure Regulator*

- Pompa Fluida dan Adaptor DC

Pada sebelah kanan terdapat adaptor DC sebagai alat untuk mengatur tegangan yang masuk ke pompa (sebelah kiri), dengan cara demikian maka laju bahan dapat diatur, seperti terlihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Pompa Fluida dan Adaptor DC

- Nosel

Nosel adalah suatu peralatan aliran dengan luas penampang pada kedua ujungnya yang berbeda, di mana kecepatan aliran gas atau cairan yang melaluinya akan meningkat searah dengan lintasan air. Penggabungan bahan uji dengan tekanan udara yang berasal dari kompresor menjadikan droplet pada bahan uji dengan tujuan untuk mengabutkan bahan yang masuk ke ruang pengering, semuanya diatur oleh nosel seperti terlihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Nosel

- Bejana Pengukur Fluida

Alat ini berfungsi sebagai tempat penyimpanan bahan yang akan dikeringkan dan juga sebagai alat ukur laju bahan dalam (mm/menit), seperti terlihat pada gambar 3.6 .Bejana ini disambungkan dengan pompa *booster* yang akan dialirkan ke ruang pengering.



Gambar 3.6 Bejana Pengukur Fluida

- *Blower*

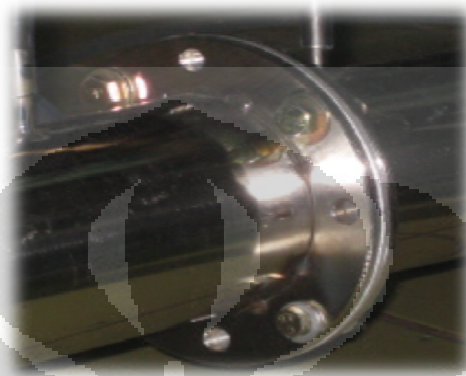
Jenis-jenis berdasarkan perbedaan tekanan terdapat 3 yaitu, kompresor (penampat), blower dan fan .karena tekanan yang dibutuhkan termasuk golongan ditengah antara kompresor dengan fan maka blower yang dipilih. Blower digunakan untuk mengalirkan udara ke dalam pemanas listrik. seperti terlihat pada gambar 3.7.



Gambar 3.7 Blower

- Orifis

Orifis digunakan untuk mengukur kecepatan udara dari blower yang dibaca pada manometer tabung U. Seperti terlihat pada gambar 3.8 orifis ditempatkan diantara sambungan.



Gambar 3.8 Orifis

- Kotak Panel

Kotak Panel digunakan sebagai terminal atau pusat kontrol dari pemanas listrik, disini kita dapat mengatur seberapa besar suhu udara yang keluar dari pemanas, seperti yang terlihat pada gambar 3.9.



Gambar 3.9 Kontak Panel

- Termometer

Termometer ini digunakan untuk mengukur suhu udara kering(*dry bulb*) dan suhu udara basah (*wet bulb*), seperti terlihat pada gambar 3.10 pengukuran digunakan secara bergantian baik mengukur suhu udara kering maupun suhu udara basah. Suhu udara kering digunakan sesuai dengan prosedur penggunaan termometer biasanya atau tanpa alat bantu sedangkan suhu udara basah berbeda menggunakan kapas basah yang dilapisi ujung termometer tersebut.



Gambar 3.10 Termometer

- Manometer Tabung U

Manometer adalah suatu alat untuk mengukur tekanan pada suatu lokasi yang ditentukan dalam fluida, seperti terlihat pada gambar 3.11. Alat ini mendeteksi tekanan diferensial antara lokasi yang diukur dengan tekanan rujukan.

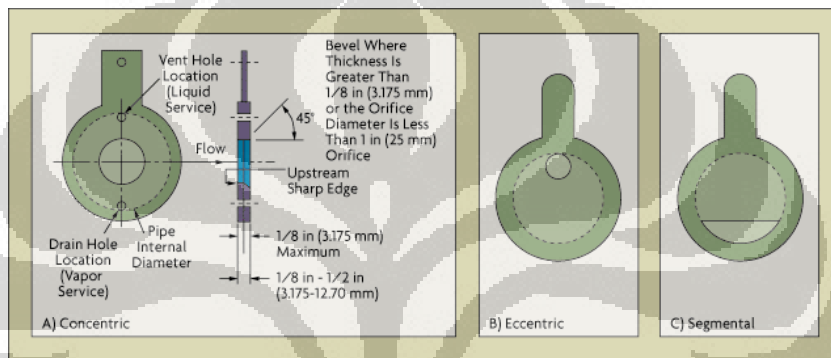


Gambar 3.11 Manometer Tabung U

III.2 Perancangan Orifis

III.2.1. Pemilihan Tipe Orifis

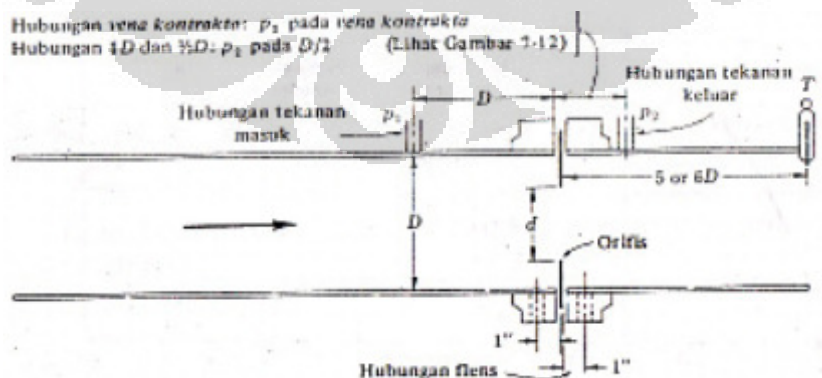
Perancangan awal dengan memilih tipe dari pelat orifis, bermacam-macam seperti *concentric*, *eccentric* dan *segmental*, seperti terlihat pada gambar 3.12 ketiga tipe plat orifis. Pelat orifis tipe *eccentric* dan *segmental* dipakai untuk mengukur kecepatan aliran yang mengandung bahan padat. Maka dipilih tipe *concentric* dengan fluida udara.



Gambar 3.12 Tipe Plat Orifis (<http://el-ins.blogspot.com>)

III.2.2. Pemilihan Pemasangan Tap (lubang)

Pemasangan tap (lubang) pengukuran orifis dipilih dengan tap *vena contracta* yang pengukurannya lebih teliti dari tap flange dan tap pipa, seperti terlihat pada gambar 3.13. Pengukuran lebih teliti dikarenakan tekanan diferensial yang lebih besar dari tipe yang lain.



Gambar 3.13 Vena Contracta (Holman J.P; 1984)

III.3. Metode Pengering Semprot

III.3.1. Set Up Alat Pengering Semprot

Set up alat dilakukan dengan tujuan untuk memastikan seluruh alat dapat berfungsi dengan baik saat melakukan pengujian. *Set up* alat selalu dilakukan sebelum pengujian dimulai. Berikut adalah tahapan setiap kali melakukan *set up* alat :

1. Instalasikan *orifice* pada sistem pengering semprot.
2. Sambungkan manometer *U-tube* ke *orifice*.
3. Posisikan termokopel pada sistem yang akan di ukur temperaturnya.
4. Sambungkan selang dari bejana pengukur fluida ke pompa booster dan selanjutnya ke *nozzle*.
5. Hubungkan selang bertekanan dari kompressor ke FRL yang terhubung ke *nozzle*.
6. Sambungkan kabel-kabel untuk heater dan kontrol antara tabung *air heater* dengan *controller*-nya.
7. Sambungkan kabel blower ke inverter sebagai alat bantu untuk pengatur variasi laju udara masuk ke sistem.
8. Isi bejana pengukur dengan bahan uji hingga volume tertentu untuk memudahkan pengambilan data.

III.3.2. Prosedur Eksperimen Pengering Semprot

Dalam penelitian ini, dibutuhkan daya yang besar untuk memanaskan udara, maka pengambilan data dilakukan pada malam hari. Proses pengambilan data dengan menggunakan bejana ukur untuk mengukur laju bahan masuk, termometer untuk mengukur suhu udara kering dan basah keluar ruang pengering, manometer orifis untuk mengukur laju udara masuk, pengatur tekanan untuk mengukur tekanan masuk *nozzle*. Cara pengambilan data adalah sebagai berikut:

1. Masukkan kabel-kabel sumber daya untuk kompressor, blower, pompa booster, dan *air heater* pada sumber listrik PLN.

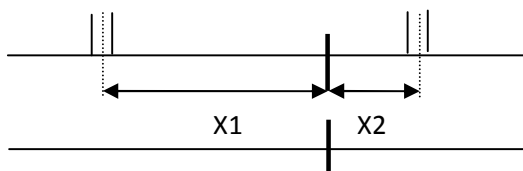
2. Hidupkan blower dan *air heater*, atur pada flow udara masuk dan temperatur pengujian yang diinginkan.
3. Hidupkan pompa booster untuk memompa bahan dan buka katup aliran ke nozzle.
4. Menyalakan kompresor dan mengatur tekanan dengan menggunakan pengatur tekanan.
5. Atur temperatur udara masuk melalui panel kontrol
6. Mengukur suhu udara kering dan basah keluar pengering utama.
7. Mengukur kecepatan aliran udara masuk melalui manometer yg terhubung ke *orifice*.
8. Mengukur kecepatan aliran fluida uji masuk melalui pembacaan pada bejana ukur.

Data yang diambil berdasarkan pengambilan data pada tanggal Desember 2010 di Laboratorium Perpindahan Panas Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

III.4. Perhitungan Laju Udara.

Menentukan perhitungan laju udara langkah yang pertama adalah mencari perhitungan jarak pelubangan, dimana menentukan jarak pelubangan dengan membandingkan diameter orifis dengan diameter pipa disebut β . Jarak pelubangan dapat dilihat pada gambar 3.14 sesuai dengan lokasi yang disarankan.

- D_1 (diameter pipa) = 3 Inch
- D_2 (diameter orifis) = 1 Inch
- β (rasio diameter) = $\frac{D_2}{D_1}$
- = 0.3



Gambar 3.18 Lokasi yang disarankan untuk pengambilan tekanan pada orifis konsentrik, plat tipis, pinggir siku.

Setelah rasio diameter diketahui maka jarak pelubangan

$$X_1 \text{ (Jarak pelubangan sebelum orifis)} = 1 \times \text{Diameter pipa}(D1) \\ = 7.6 \text{ (cm)}$$

$$X_2 \text{ (Jarak pelubangan sesudah orifis)} = 0.7 \text{ Diameter pipa}(D1) \text{ (grafik j.p Holman :242)} \\ = 5.3 \text{ (cm)}$$

- Nilai Re

$$Re = \frac{\rho \cdot V_1 \cdot D_1}{\mu}$$

dengan $V_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot \rho_{\text{air}} \cdot g \cdot h}{\rho_{\text{udara}}}}$

$$= 17.5 \text{ (m/s)}$$
$$Re = \frac{1.2 \times 17.5 \times 0.08}{1.46 \times 10^{-5}}$$
$$Re = 9.8 \times 10^3$$

- Nilai K di dapat dari gambar grafik diatas

$$K = 0.59$$

- $K = MC$

$$\text{Dengan } M = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}}$$
$$= 1,06$$

Dengan M = Faktor kecepatan masuk

C = Koefisien buang

K = koefisien aliran

- $\Delta p = \rho_{\text{air}} \cdot g \cdot h$
 $= 1000 \times 9,81 \times 19 \cdot 10^{-3}$
 $= 186,4 \text{ (N/m}^2\text{)}$

$$P_1 - P_2 = \frac{v_2^2}{2g_c} \left[1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2 \right]$$

$$186,4 = \frac{v_2^2}{2} \left[1 - \left(\frac{0.0199}{0.059} \right)^2 \right]$$

$$v_2 = 21.4 \text{ (m/s)}$$

- $\dot{m}_{ud} = A v_2$
 $= 0.0024 \times 19.61 \times 3600 \text{ (m/jam)}$
 $= 193.2 \text{ (m}^3\text{/jam)}$

III.5. Bahan Uji

III.5.1 Air

III.5.1.1 Tahapan Perhitungan Panas Pengeringan Eksperimen

Untuk menghitung panas pengeringan pada eksperimen membutuhkan parameter seperti laju aliran udara dan laju aliran bahan. Laju aliran udara didapat melalui perhitungan orifis dari melihat perbedaan diameter orifis dan diameter pipa didapatkan laju aliran udara. Laju aliran bahan berdasarkan data pencatatan eksperimen dengan mengkonversikan satuan dari mm³/menit menjadi kg/s. Berikut nilai-nilai parameter berdasarkan dari perhitungan dan eksperimen ;

- $T_{in} = 50 \text{ (}^{\circ}\text{C)}$
- $T_{ling} = 28 \text{ (}^{\circ}\text{C)}$
- $\dot{m}_{ud} = 193.2 \text{ (m}^3\text{/jam)}$
 $= \frac{(1.22 \times \dot{m}_{ud})}{3600}$
 $= 0.65 \text{ (kg/s)}$

Dengan $C_p = 1.005 \text{ (kJ/kg K)}$

- $\dot{m}_{bhn} = 1.7 \text{ (kg/s)}$
- Panas pengeringan $= \frac{Q}{\dot{m}_{bhn}}$
 $= \frac{\dot{m}_{ud} c_p \Delta T}{\dot{m}_{bhn}}$
 $= \frac{0.65 \times 1.005 \times (50-28)}{1.7 \times 10^{-4}}$
 $= 8867,8 \text{ (} \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \text{)}$

III.5.1.2. Tahapan Perhitungan Panas Pengeringan Simulasi

Untuk menghitung panas pengeringan pada simulasi membutuhkan parameter kecepatan udara (V_{udara}), Temperatur masuk heater (T_{in}), kelembaban udara masuk, tipe nosel, jumlah partiel yang disemprotkan, suhu bahan masuk, dan laju bahan. Paramater yang sudah ditentukan pada penelitian sebelumnya adalah seperti tipe nosel, jumlah partikel semprot dan sudut nosel. Kecepatan udara masuk dihitung dengan menggunakan perhitungan orifis. Kelembaban didapatkan dalam diagram psikometrik dengan memasukan data temperatur basah dan kering didapatkan kelembaban pada lingkungan sekitar. Laju bahan dihitung dengan mengkonversi satuan dari mm^3 /menit menjadi kg/s. Berikut nilai-nilai parameter berdasarkan dari perhitungan dan eksperimen :

- V_{udara} (Kecepatan udara masuk) = 22.4 (m/s)
- T_{in} (Suhu udara masuk) = 50 ($^{\circ}C$)
- H_1 (Kelembaban udara masuk) = 1.9×10^{-2} (kg air/kg udara)
- Asumsi tidak ada panas yang keluar tabung (Adiabatik)
- Tipe Nozzle
- Jumlah partikel sekali semprot = 50 (partikel)
- Suhu bahan masuk = 27 ($^{\circ}C$)
- Sudut Nozzle = 13°
- \dot{m}_{bahan} (Laju bahan) = 1.7×10^{-4} (kg/s)

Setelah melakukan simulasi CFD, ada beberapa data yang harus diambil dari hasil simulasi tersebut untuk menghitung panas pengeringan antara lain didapatkan total *flow rate* (Q) pada simulasi didapatkan 1.47 watt sehingga didapat panas pengeringan adalah:

- Panas pengeringan
$$= \frac{Q}{\dot{m}_{mud}} = \frac{1,47}{0.000167}$$
$$= 8.9 \times 10^3 \left(\frac{kJ}{kg} \right)$$

III.5.2 Air-Garam 2%

Tahapan Perhitungan Panas Pengeringan Eksperimen

Air dengan kandungan garam (2%)

Parameter perhitungan yang diambil:

$$T_{in} = 100 (^{\circ}\text{C})$$

$$T_{ling} = 28 (^{\circ}\text{C})$$

$$\dot{m}_{ud} = 596.5 (\text{m}^3/\text{jam})$$

$$= (1.22 \times \dot{m}_{ud}) / 3600$$

$$= 0.2 \text{ kg/s}$$

$$\text{Dengan } C_p = 1.005 \text{ kJ/kg K}$$

$$\dot{m}_{bhn} = 3 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$$

$$\begin{aligned} \text{Panas pengeringan} &= \frac{Q}{\dot{m}_{bhn}} = \frac{\dot{m}_{ud} c_p \Delta T}{\dot{m}_{bhn}} \\ &= \frac{0.2 \times 1.005 \times (100 - 28)}{3 \times 10^{-4}} = 4.9 \times 10^4 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) \end{aligned}$$

III.6 Perhitungan Energi

$$\text{Suhu dry bulb (T db)} = 28 (^{\circ}\text{C})$$

$$\text{RH} = 78,63\%$$

$$\text{Dipanaskan hingga (Tin)} = 50 (^{\circ}\text{C})$$

$$\text{Laju aliran udara } (\dot{m}_{ud}) = 0,05 (\text{m}^3 \text{ s}^{-1})$$

$$\text{Humid volume (v)} = 0.9 (\text{m}^3/\text{kg})$$

$$\text{Humidity Ratio(H)} = 1.9 \times 10^{-2} (\text{kg air/kg udara})$$

$$\text{Humid heat (Hs)} = 0.24 + 0.45H$$

$$= 0.2485 \text{ kkal/kg } ^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Power Heater} = \frac{\dot{m}_{ud} (T_{in} - T_{db}) H_s}{v}$$

$$= \frac{0.05 (50 - 28) 0.2485 \cdot 4.2}{0.9}$$

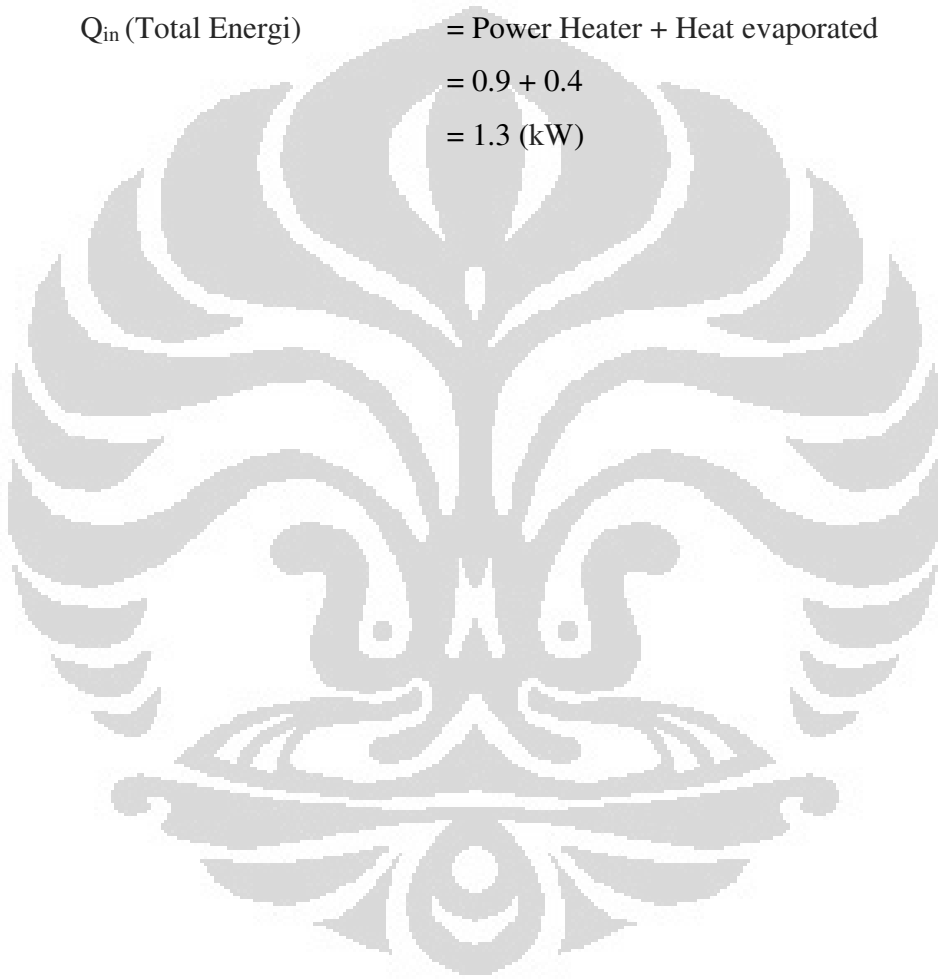
$$= 0.9 \text{ kW}$$

- **Kalor untuk Menguapkan**

$$\begin{aligned}\text{Heat evaporated} &= \text{laju masukan bahan} \times \text{kalor laten penguapan} \\ &= 1.7 \text{ (kg/s)} \times 2.502 \times 10^3 \text{ (kJ/kg)} \\ &= 0.417 \text{ (kW)}\end{aligned}$$

- **Total Energi untuk Udara**

$$\begin{aligned}Q_{\text{in}} \text{ (Total Energi)} &= \text{Power Heater} + \text{Heat evaporated} \\ &= 0.9 + 0.4 \\ &= 1.3 \text{ (kW)}\end{aligned}$$



DATA EKSPERIMEN PENGERING SEMPROT

Tabel 3.1 Pengambilan Data Eksperimen Bahan Air Tekanan 2 bar

h(mm)	\dot{m}_{ud} (m ³ /jam)	\dot{m}_{bhn} (l/jam)	T _{in} (°C)	Dry Bulb (°C)	Wet Bulb (°C)	Q _{eks} (kJ/s)	Kinerja (kJ/kg)	Q _{sim} (kJ/s)	Panas pengeringan (kJ/kg)	Kondisi
19	1.9X10 ²	0.6	50	38	28	1.4	8.7x10 ⁴	1.5	8.8x10 ³	Dry
19	1.9X10 ²	0.6	60	44	30	2.1	1.3x10 ⁴	2.0	1.2x10 ⁴	Dry
19	1.9X10 ²	0.6	70	49	31	2.8	1.7x10 ⁴	2.5	1.5x10 ⁴	Dry
19	1.9X10 ²	0.6	80	55	32	3.4	2.1x10 ⁴	3.0	1.8x10 ⁴	Dry
41	2.8X10 ²	0.6	60	35	30	3.1	1.9x10 ⁴	3.0	1.8x10 ⁴	Dry
42	2.8X10 ²	0.6	70	37	31	4.1	2.5x10 ⁴	3.7	2.2x10 ⁴	Dry
40	2.8X10 ²	0.6	80	56	33	5.0	3.0x10 ⁴	4.3	2.6x10 ⁴	Dry
78	3.9X10 ²	0.6	50	37	28	2.9	1.8x10 ⁴	3.0	1.8x10 ⁴	Dry
80	4.0X10 ²	0.6	60	39	30	4.3	2.6x10 ⁴	4.1	2.5x10 ⁴	Dry
80	4.0X10 ²	0.6	70	43	31	5.7	3.5x10 ⁴	5.2	3.1x10 ⁴	Dry
125	5.0X10 ²	0.6	50	39	28	3.7	2.2x10 ⁴	3.8	2.3x10 ⁴	Dry
125	5.0X10 ²	0.6	60	43	30	5.4	3.2x10 ⁴	5.2	3.1x10 ⁴	Dry
125	5.0X10 ²	0.6	70	49	31	7.1	4.3x10 ⁴	6.4	3.9x10 ⁴	Dry
182	6.0X10 ²	0.6	40	33	27	2.4	1.5x10 ⁴	2.8	1.7x10 ⁴	Dry

Tabel 3.2 Pengambilan Data Eksperimen Bahan Larutan Air-Garam 2% Tekanan 2 bar

h (mm)	\dot{m}_{ud} (m ³ /jam)	\dot{m}_{bhn} (l/Jam)	T _{in} (°C)	Dry Bulb (°C)	Wet Bulb (°C)	Q _{eks} (kJ/s)	Panas pengeringan (kJ/kg)	Kondisi
125	5x10 ²	1.1	150	59	43	20.1	6.9x10 ⁴	Dry
175	6x10 ²	1.1	150	66	43	24.4	8.1x10 ⁴	Dry
125	5x10 ²	1.1	150	61	43	20.6	6.9x10 ⁴	Dry
181	6x10 ²	1.1	140	60	40	22.8	7.6x10 ⁴	Dry
80	4x10 ²	1.1	140	60	42	15.1	5.0x10 ⁴	Dry
125	5x10 ²	1.1	140	57	42	19.0	6.3x10 ⁴	Dry
182	6x10 ²	1.1	130	54	39	20.8	6.9x10 ⁴	Dry
80	4x10 ²	1.1	130	51	40	13.8	4.6x10 ⁴	Dry
125	5x10 ²	1.1	130	60	41	17.2	5.7x10 ⁴	Dry

BAB IV

ANALISA HASIL EKSPERIMEN DAN SIMULASI CFD

IV.1 Analisa Hasil Eksperimen dan Simulasi CFD Pengering Semprot

IV.1.1 Bahan Uji Air

Pada tahapan eksperimen terdapat beberapa parameter seperti pada dan kondisi pengering semprot yang ada di Laboratorium Perpindahan Panas Departemen teknik Mesin Universitas Indonesia. Nilai-nilai parameter dan kondisi yang telah diketahui seperti pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Nilai Parameter Eksperimen dan Simulasi

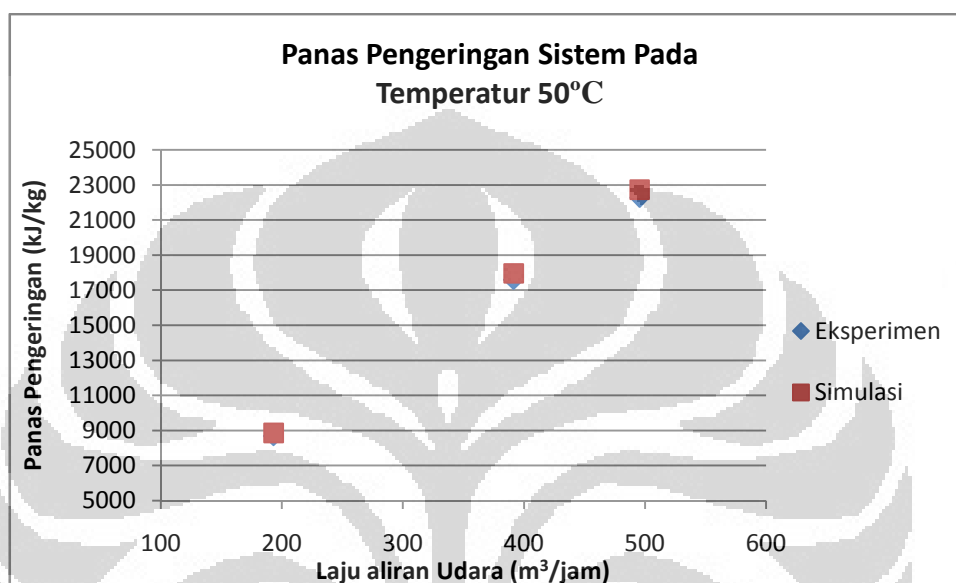
Parameter	Eksperimen dan Simulasi
Diameter droplet	35 mikron-simulasi
RH udara	78.6 %
Suhu Udara	50 ⁰ C - 150 ⁰ C
laju bahan	0.6 l/jam
Jumlah partikel sekali semprot	50
Bahan Uji	Air + larutan air-garam (2%)
Tekanan udara masuk <i>nozzle</i>	1bar, 1.5bar dan 2 bar

IV.1.1.1 Analisa Panas Pengeringan dengan Laju Aliran Udara (\dot{m}_{ud})

Analisa ini membandingkan antara panas pengeringan dari mesin pengering semprot menggunakan metode eksperimen dan simulasi. Sesuai dengan tabel 4.2, 4.3, 4.4 dan grafik 4.1, 4.2, 4.3 perubahan laju aliran udara dilakukan dengan variasi $1.9 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{jam}$, $2.8 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{s}$, $4.0 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{jam}$, dan $5.0 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{jam}$ pada tekanan kompresor 2 bar, disuhu masuk 50 ⁰C, 60 ⁰C dan 70 ⁰C.

Tabel 4.2 Panas Pengeringan vs Laju Aliran Udara dengan Temperatur 50°C

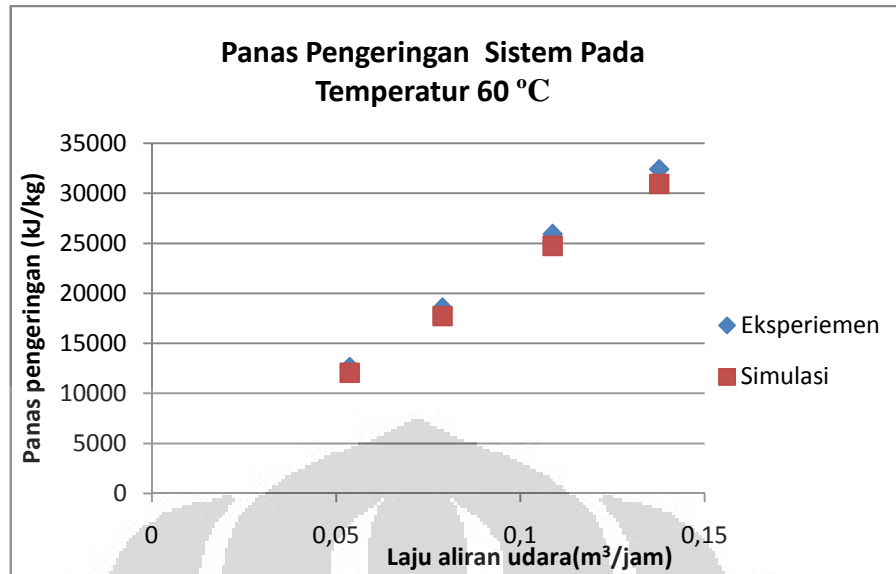
\dot{m}_{ud} (m ³ /jam)	Panas pengeringan (kJ/kg)	
	Eksperimen	Simulasi
1.9x10 ²	8.7x10 ³	8.9x10 ³
4.0x10 ²	1.8x10 ⁴	1.8x10 ⁴
5.0x10 ²	2.2x10 ⁴	2.3x10 ⁴



Grafik 4.1 Panas Pengeringan vs Laju Aliran Udara pada Temperatur 50°C Tekanan Kompresor 2 bar

Tabel 4.3 Panas Pengeringan vs Laju Aliran Udara dengan Temperatur 60°C

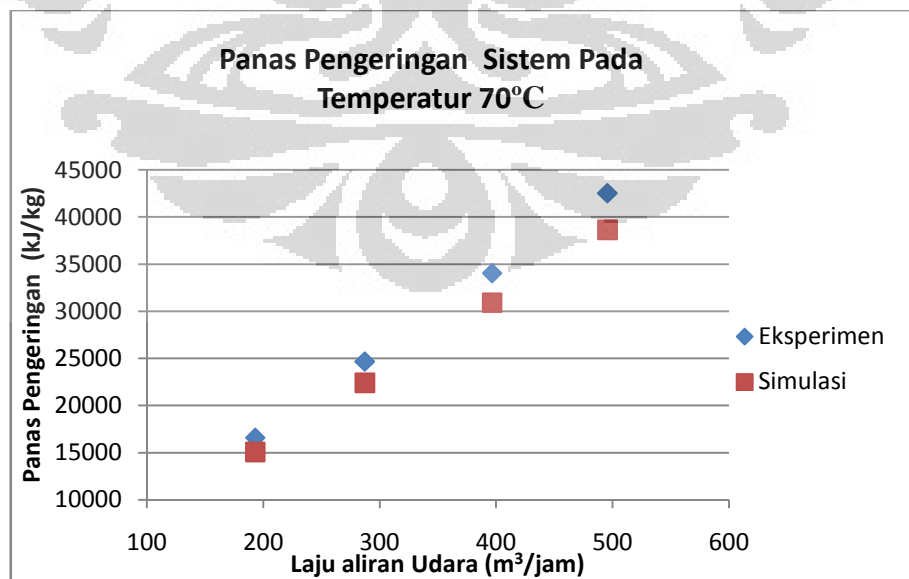
\dot{m}_{ud} (m ³ /jam)	Panas pengeringan (kJ/kg)	
	Eksperimen	Simulasi
1.9x10 ²	1.3x10 ⁴	1.2x10 ⁴
2.8x10 ²	1.9x10 ⁴	1.8x10 ⁴
4.0x10 ²	2.6x10 ⁴	2.5x10 ⁴
5.0x10 ²	3.2x10 ⁴	3.1x10 ⁴



Grafik 4.2 Panas Pengeringan vs Laju Aliran Udara pada temperatur 60°C Tekanan Kompresor 2 bar

Tabel 4.4 Panas pengeringan vs laju aliran udara dengan temperatur 70°C

m_{ud} (m³/jam)	Panas pengeringan (kJ/kg)	
	Eksperimen	Simulasi
1.9×10^2	1.7×10^4	1.5×10^4
2.8×10^2	2.5×10^4	2.2×10^4
4.0×10^2	3.4×10^4	3.1×10^4
5.0×10^2	4.3×10^4	3.8×10^4



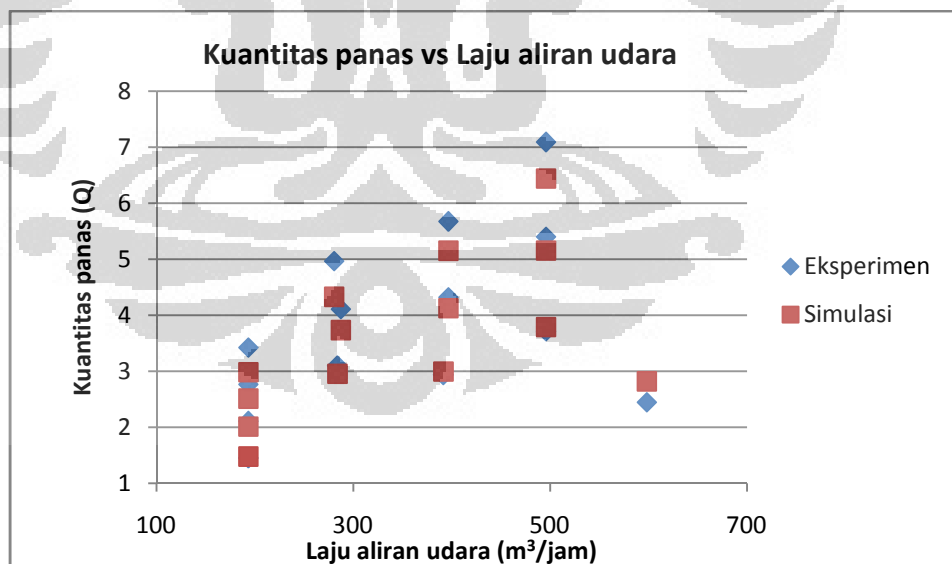
Grafik 4.3 Panas Pengeringan vs Laju Aliran Udara pada Temperatur 70°C Tekanan Kompresor 2 bar

Dari grafik 4.1 , 4.2 dan 4.3 didapat bahwa semakin besar laju aliran udara yang masuk semakin besar pula kinerja yang dibutuhkan, dari ketiga grafik diatas yang mempunyai panas pengeringan terbesar adalah pada laju aliran udara $5.0 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{jam}$ di temperatur 70°C dengan nilai panas pengeringan $4.3 \times 10^4 \text{ (kJ/kg)}$ pada ekperimen dan simulasi mempunyai nilai panas pengeringan $3.8 \times 10^4 \text{ (kJ/kg)}$. Dan terendah pada laju aliran udara $1.9 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{jam}$ di temperatur 50°C dengan nilai panas pengeringan kurang lebih $8.9 \times 10^3 \text{ (kJ/kg)}$. Ini dikarenakan sesuai dengan dasar teori dengan bertambahnya laju aliran udara yang besar dapat mengambil uap air dan juga menghilangkan air tersebut dalam permukaan bahan. Pengambilanm variasi parameter berdasarkan kondisi kering saat ekperimen dan simulasi.

$$\text{Panas pengeringan} = \frac{Q}{\dot{m}_{\text{bhn}}} = \frac{\dot{m}_{\text{ud}} c_p \Delta T}{\dot{m}_{\text{bhn}}}$$

IV.1.1.2 Analisa Titik Optimum Mesin Pengering Semprot

Analisa ini untuk mencari titik atau nilai optimum dari mesin pengering semprot, dengan mengacu pada perbandingan aliran udara dengan nilai kuantitas panas (Q) yang diberikan dalam suatu bahan.



Grafik 4.4 Kuantitas Panas vs Laju Aliran Udara Tekanan Kompresor 2 bar

Pada grafik 4.4 terlihat perbandingan antara kuantitas panas dengan laju aliran udara dimana terlihat semakin besar nilai kuantitas panas semakin besar

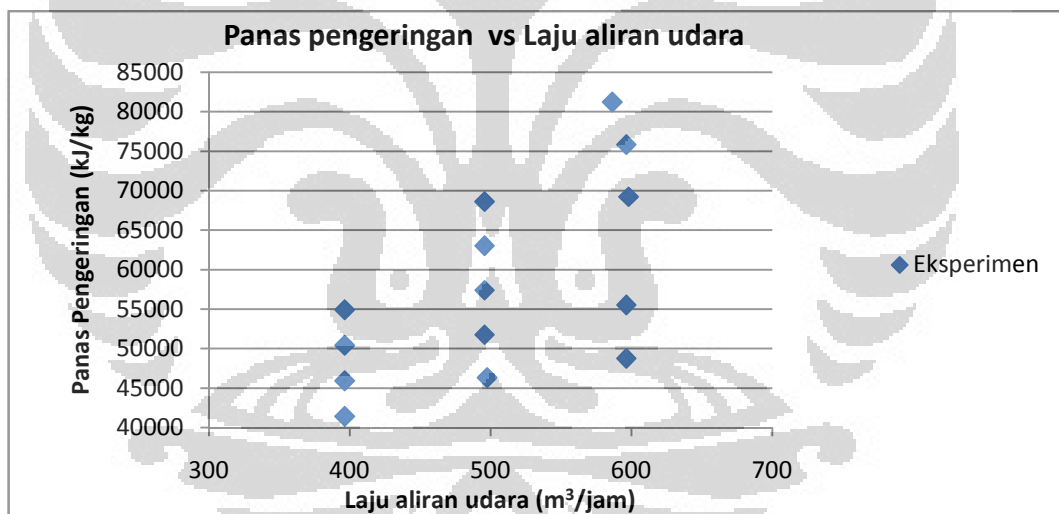
pula nilai laju aliran udaranya. Titik optimum dengan melihat titik terendah dari kuantitas panas, ini dikarenakan untuk mengeringkan diperlukan hanya diperlukan kuantitas panas sekitar kurang lebih 1.5 (kJ/s) dan laju lairan udara sebesar $1.9 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{jam}$.

$$\text{Kuantitas panas (Q)} = \dot{m}_{\text{bhn}} c_p (T_{\text{in}} - T_{\text{db}})$$

IV.1.2 Bahan Uji Larutan Air-Garam 2%

IV.1.2.1 Analisa Panas Pengeringan dengan Laju Aliran Udara (Q_{ud})

Analisa ini membandingkan antara panas pengeringan dari mesin pengering semprot menggunakan metode eksperimen dan simulasi. Perubahan laju aliran udara dilakukan dengan variasi $4 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{jam}$, $5 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{jam}$, dan $6 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{jam}$, pada tekanan kompresor 2 bar, disuhu masuk 130°C , 140°C dan 150°C . Pengambilanm variasi parameter berdasarkan kondisi kering saat ekperimen.



Grafik 4.5 Panas Pengeringan vs Laju Aliran Udara Tekanan Kompresor 2 bar

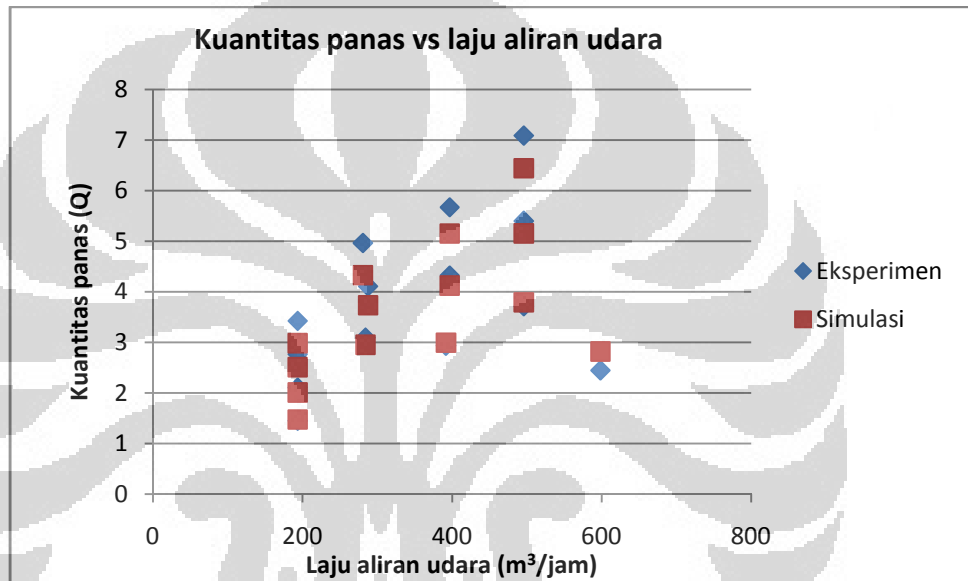
Dari grafik 4.5, didapat bahwa panas pengeringan yang terbesar pada laju aliran udara $6 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{jam}$, dimana nilai panas pengeringan pada eksperimen $8.1 \times 10^4 \text{ (kJ/kg)}$ dan panas pengeringan yang terendah pada laju aliran udara $4 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{jam}$. Sama dengan kondisi menggunakan bahan air, pada grafik 4.5 antara panas pengeringan dengan laju udara masuk pada bahan garam dianalisa semakin besar laju udara yang masuk ke ruang pengering maka semakin besar panas pengeringan mesin pengering semprot untk mengeringkan air. Ini dikarenakan

sesuai dengan dasar teori dengan bertambahnya laju aliran udara yang besar dapat mengambil uap air dan juga menghilangkan air tersebut dalam permukaan bahan.

$$\text{Panas pengeringan} = \frac{Q}{\dot{m}_{\text{bhn}}} = \frac{\dot{m}_{\text{ud}} c_p \Delta T}{\dot{m}_{\text{bhn}}}$$

IV.1.2.2 Analisa Titik Optimum Mesin Pengering Semprot

Analisa ini untuk mencari titik atau nilai optimum dari mesin pengering semprot, dengan mengacu pada perbandingan aliran udara dengan nilai kuantitas panas (Q) yang diberikan dalam suatu bahan.



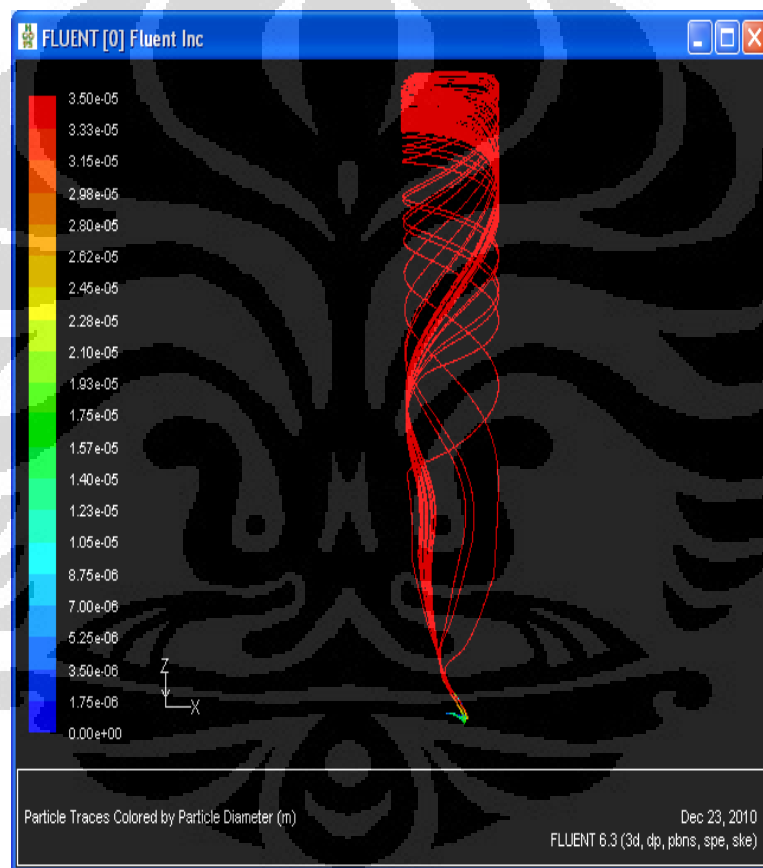
Grafik 4.6 Kuantitas Panas vs Laju Aliran Udara Tekanan Kompresor 2 bar

Pada grafik 4.6 terlihat perbandingan antara kuantitas panas dengan laju aliran udara dimana terlihat semakin besar nilai kuantitas panas semakin besar pula nilai laju aliran udaranya. Titik optimum dengan melihat titik terendah dari kuantitas panas, ini dikarenakan untuk mengeringkan diperlukan hanya diperlukan kuantitas panas sekitar kurang lebih 13.8 kJ/s dan laju aliran udara sebesar $4 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{jam}$.

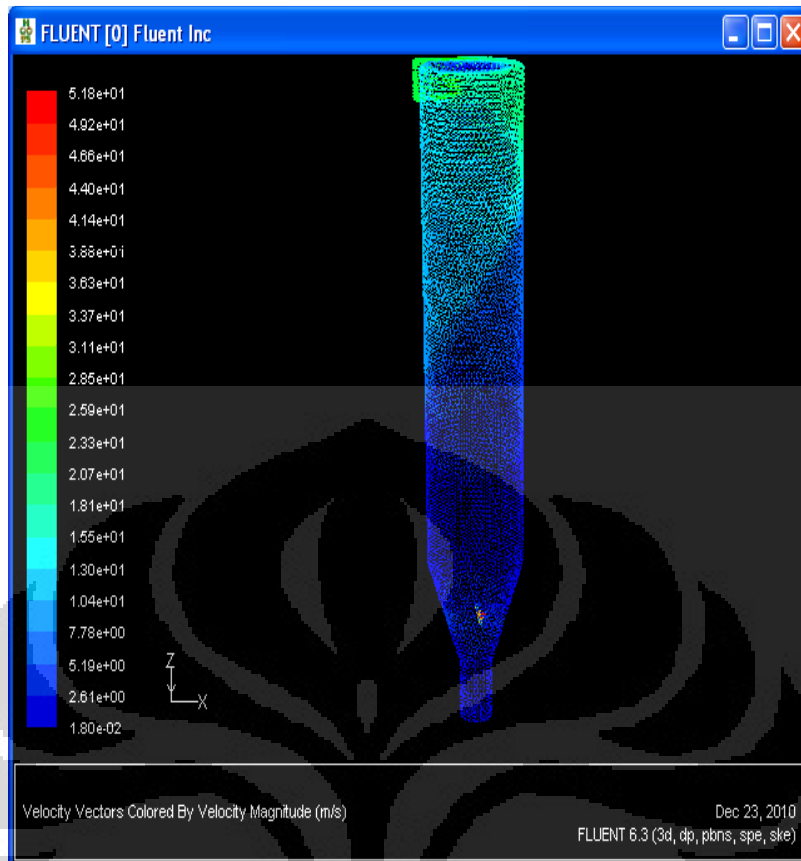
$$\text{Kuantitas panas (Q)} = \dot{m}_{\text{bhn}} c_p (T_{\text{in}} - T_{\text{db}})$$

IV.2 Analisa Perubahan Diameter Partikel dan Kecepatan Udara Pada Simulasi CFD Untuk Bahan Air.

Analisa ini dilakukan dengan menggunakan *software* Fluent dengan tujuan untuk melihat pergerakan dari diameter partikel dengan kecepatan udara, apakah memiliki kesamaan dalam pergerakan dan kondisi bahan sudah dalam keadaan kering atau tidak. Parameter yang digunakan pada kondisi dengan tekanan 2 bar, laju lairan udara $1.9 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{jam}$, temperatur masuk ruang pengering 50°C dan laju bahan 0.6 l/jam .



Gambar 4.1 Perubahan Diameter Partikel pada Laju Aliran Udara $1.9 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{jam}$, Temperatur 50°C



Gambar 4.2 Distribusi Kecepatan Udara pada Laju Aliran Udara $1.9 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{jam}$, Temperatur 50°C

Pada gambar 4.1 dan 4.2 terdapat kemiripan arah pergerakan searah jarum jam antara perubahan partikel diameter dengan distribusi kecepatan udara. Udara bergerak mengikuti kecepatan udara. Gambar 4.1 melihat ada perbedaan warna pada perubahan diameter partikel yang semakin kecil, perubahan warna tersebut terlihat dari warna merah menjadi warna biru yang terlihat dari perjalanan diameter partikel. Perubahan diameter partikel ini mengindikasikan terjadi pengurangan air didalam suatu bahan atau produk. Kemudian pada gambar 4.2 terlihat da perbedaan warna dari hijau menjadi biru yang menjelaskan bahwa semakin ke bawah kecepatan udara semakin kecil. Selain itu sebelum perjalanan udara terakhir terdapat perbedaan warna, ini diakibatkan oleh lubang keluar pada ruang pengering yang mengecil sehingga memperbesar kembali kecepatan udara.

BAB V

PENUTUP

V.1. Kesimpulan

Dari hasil pemodelan dan simulasi yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Panas pengeringan berbanding lurus dengan laju aliran udara semakin besar laju aliran udara dengan semakin besar pula panas pengeringan. Antara simulasi dan eksperimen pada grafik kinerja memiliki kecenderungan yang sama.
2. Panas pengeringan terbaik antara simulasi dengan eksperimen menggunakan bahan air dengan nilai panas pengeringan 4.3×10^4 (kJ/kg) dengan laju aliran udara 5.0×10^2 m³/jam dan bahan garam di eksperimen 8.1×10^4 m³/jam dengan laju aliran udara 4×10^2 m³/jam.
3. Titik optimum mesin pengering menggunakan bahan air mempunyai kuantitas panas sebesar 1.5 (kJ/s) dan laju aliran udara sebesar 1.9×10^2 m³/jam. Bahan air-garam 2% mempunyai kuantitas panas sebesar 13.8 (kJ/s) dan laju aliran udara sebesar 4×10^2 m³/jam.

IV.2 Saran

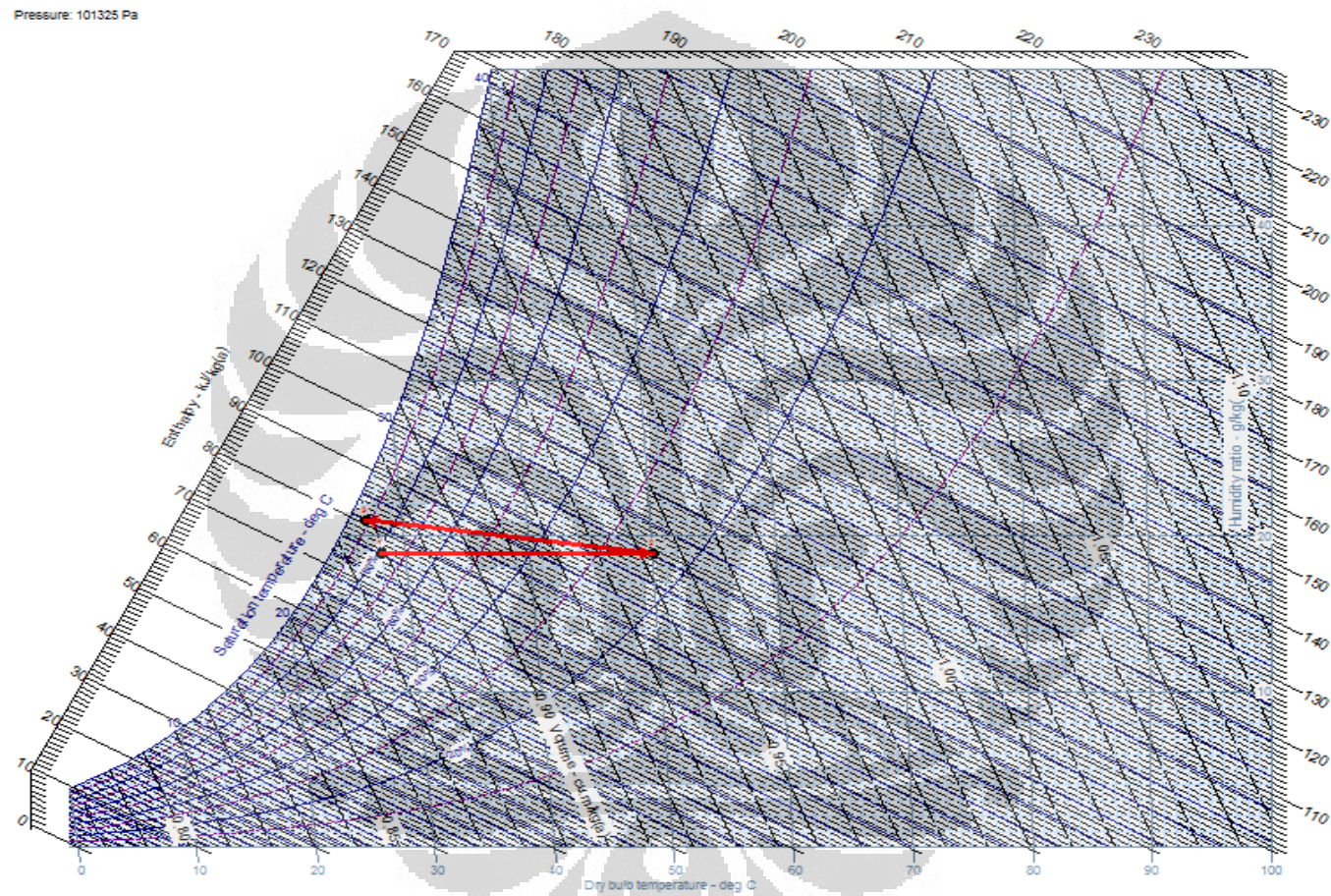
Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Alat ukur suhu *dry bulb* dan *wet bulb* sebaiknya menggunakan *sling psikometer* sehingga kesalahan pengukuran dapat diperkecil.
2. Menggunakan kompresor sebaiknya satu unit untuk melayani satu mesin pengering semprot untuk menghindari tekanan yang masuk menuju nosel

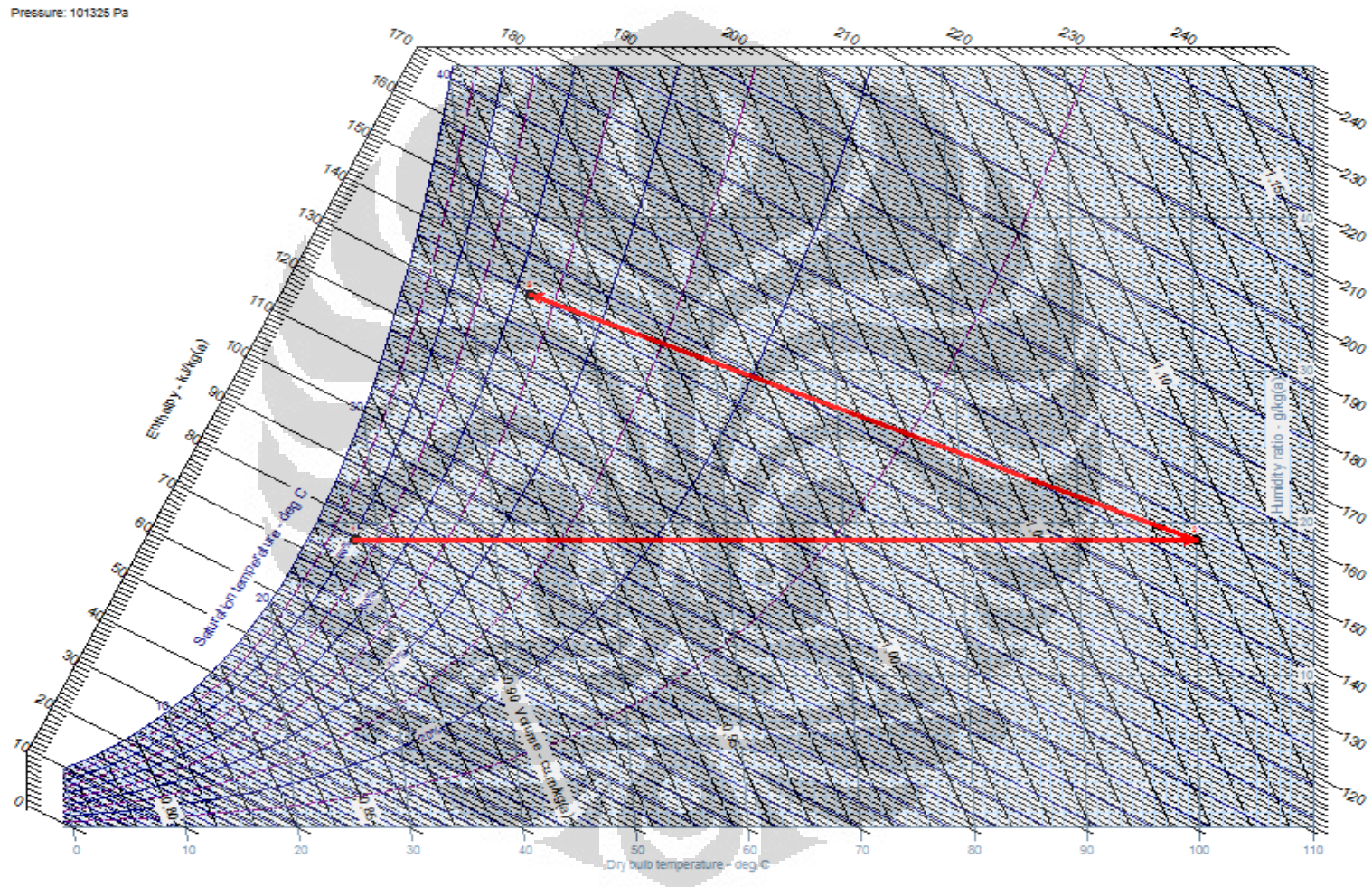
DAFTAR PUSTAKA

- Birchal V. S., dan Passos M. L. Brazilian Journal of Chemical Engineering. Vol. 22, No. 02, pp. 293 - 302, April - June, 2005.
- Cengel, Yunus A., Michael A. Boles, "Thermodynamics an Engineering Approach Fourth Edition International Edition", McGraw-Hill, 2002. Third-Edition. hal. 211-212.
- Supriono. (2003). Mengukur faktor faktor dalam proses pengeringan.
- Treybal, R.E., Mass Transfer Operations, McGraw-Hill, 1981, Chapter: Humidification and Drying.
- Modeling and simulation of milk emulsion drying in spray drying .
- Arun S. Mujumdar dan Sakamon Devahastin .Chapter 1: Fundamental principle of drying.
- Iva Filkova, Li Xin Huang, and Arun S. Mujumdar. Chapter 10: Industrial Spray Drying Systems.
- Chakraverty, A., dan D. S. De. Post Harvest Technology of Cereals and Pulses, Oxford and IBH Publishing Co, 1981, Chapter 2 : Psychrometry
- "Pengeringan Butiran Jagung Tipe Deep-Bed: Pemodelan dan Simulasi", Prosiding Seminar Teknik Kimia Soehadi Reksowardojo 1999, Teknik Kimia ITB Bandung, hal. pp. VI.47-VI.54, (1999).
- Moran, Michael.J, dan Shapiro, Howard.N. (2004). *Termodinamika teknik 2*, Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Holman J.P. (1984). *Metode Pengukuran Teknik*, Jakarta: Penerbit Erlangga.
- <http://el-ins.blogspot.com/2010/10/orifice-plate.html>
- <http://mtnugraha.wordpress.com/2009/07/05/158/>

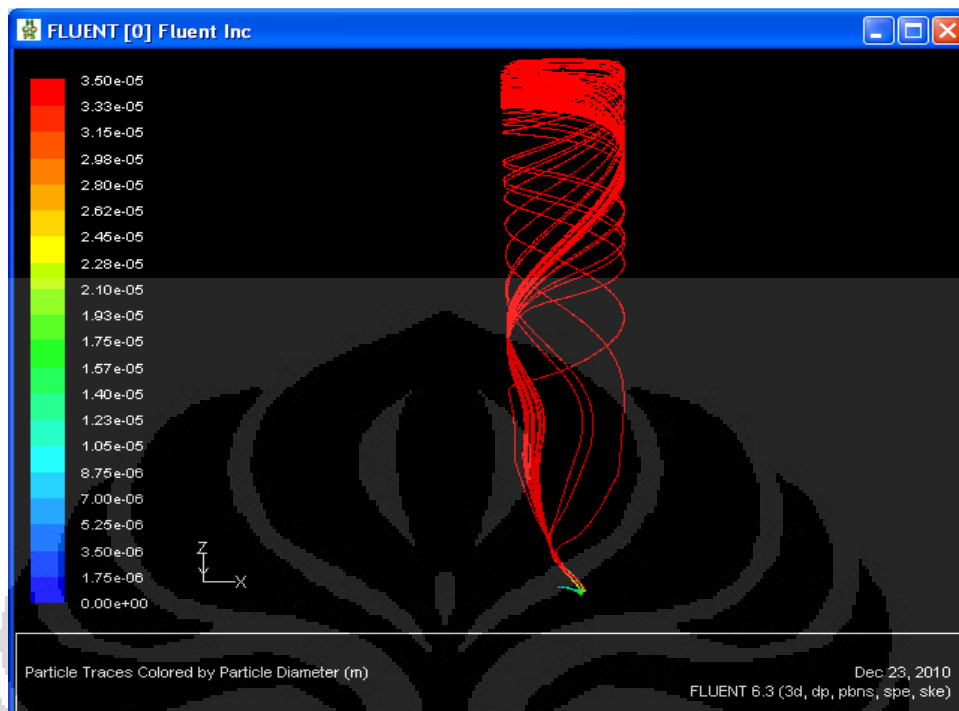
Lampiran 1. Diagram psikrometrik udara untuk Eksperimen Bahan Air



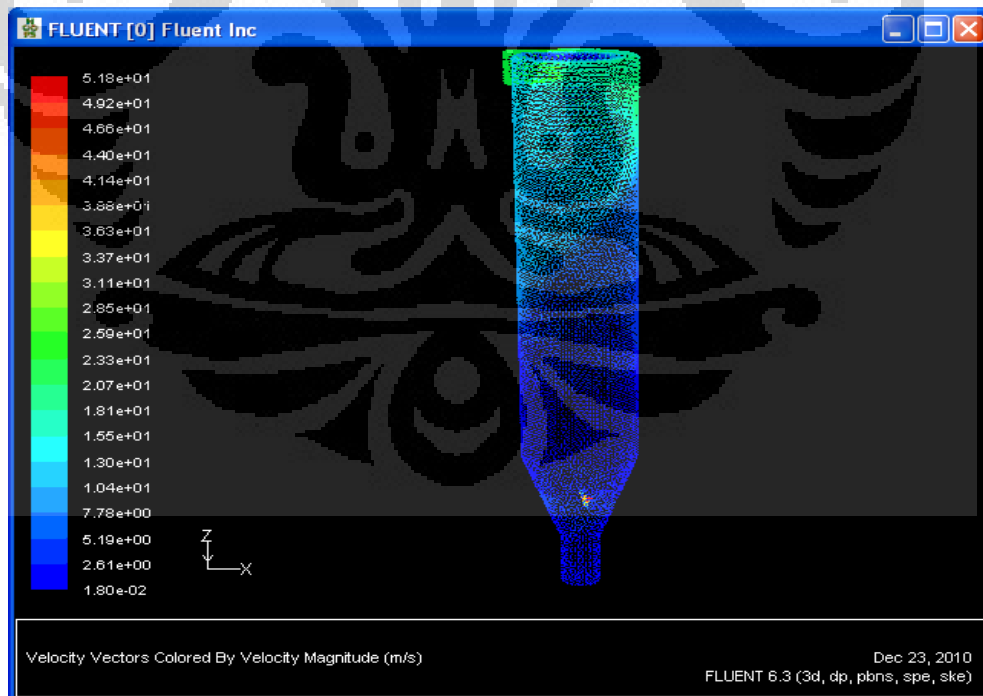
Lampiran 2. Diagram psikrometrik udara untuk Eksperimen Bahan Larutan Air-Garam (2%)



Lampiran 3. Perubahan Diameter Partikel dan Distribusi Kecepatan Udara pada Laju Udara $1.9 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{jam}$, Temperatur 50°C

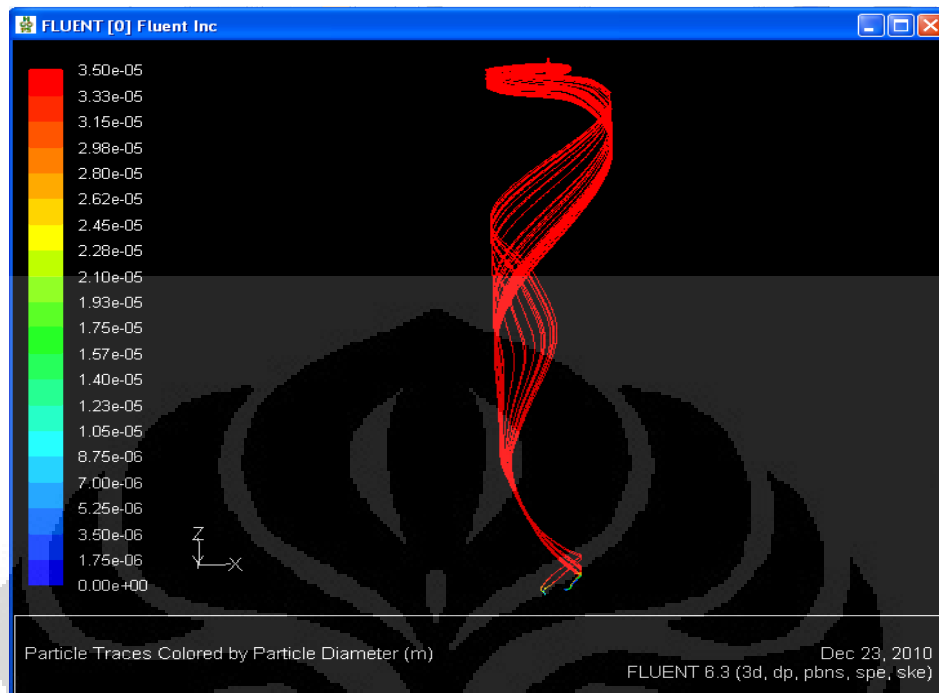


Perubahan diameter partikel pada laju Udara $1.9 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{jam}$, Temperatur 50°C

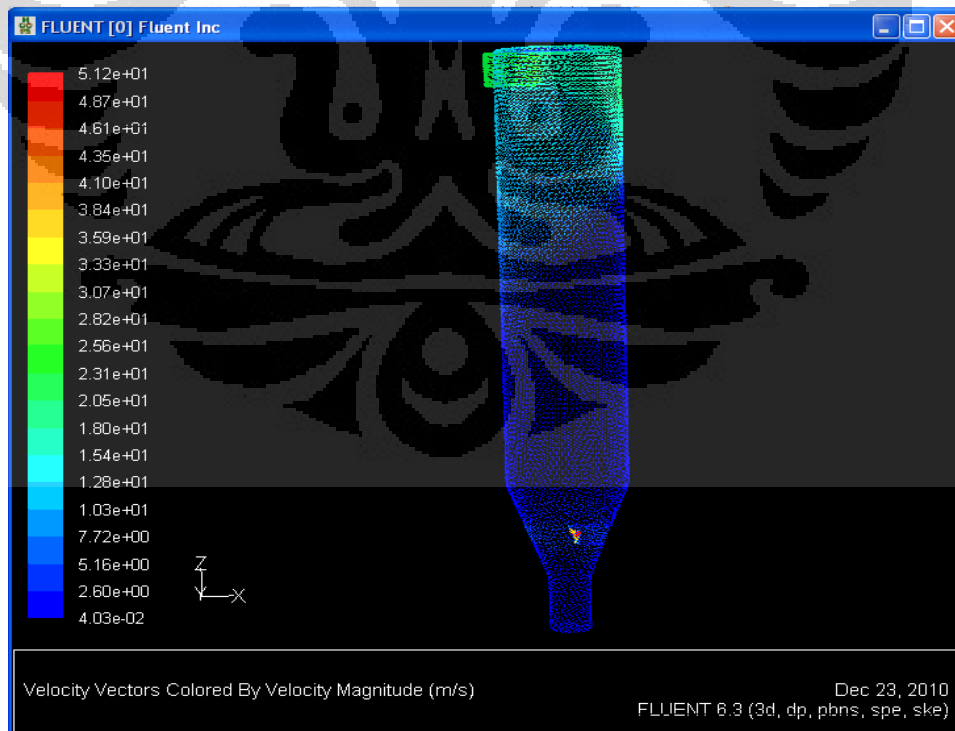


Distribusi kecepatan udara pada laju Udara $1.9 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{jam}$, Temperatur 50°C

Lampiran 4. Perubahan Diameter Partikel dan Distribusi Kecepatan Udara pada Laju Udara $1.9 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{jam}$, Temperatur 60°C

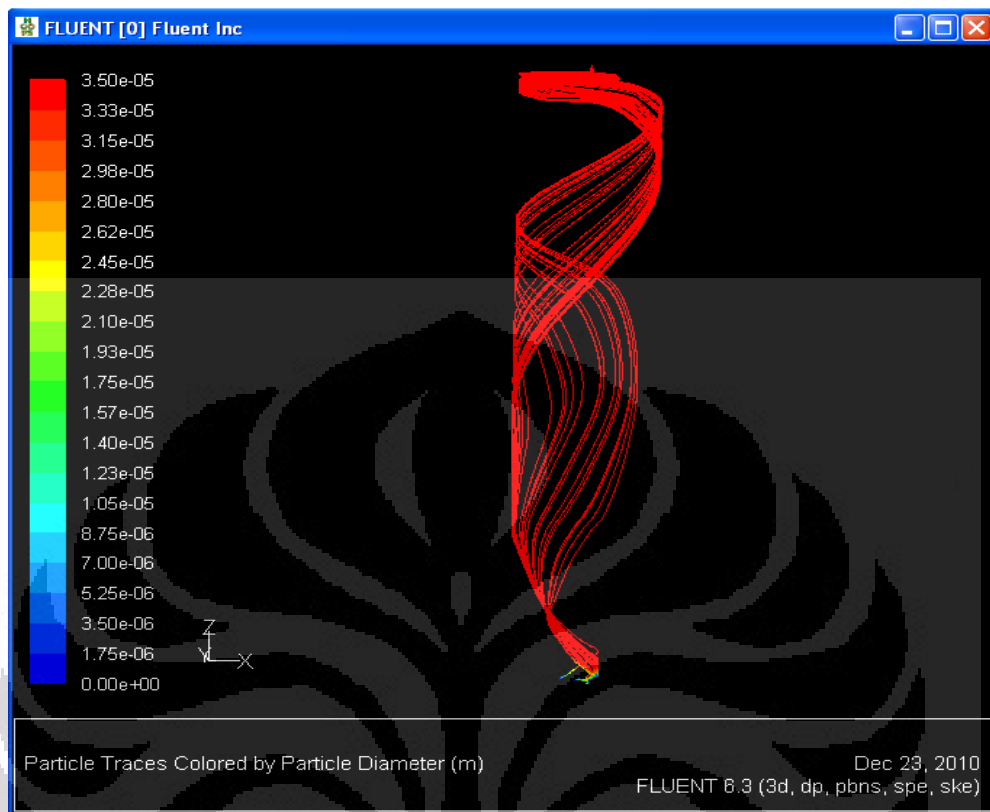


Perubahan diameter partikel pada laju Udara $1.9 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{jam}$, Temperatur 60°C

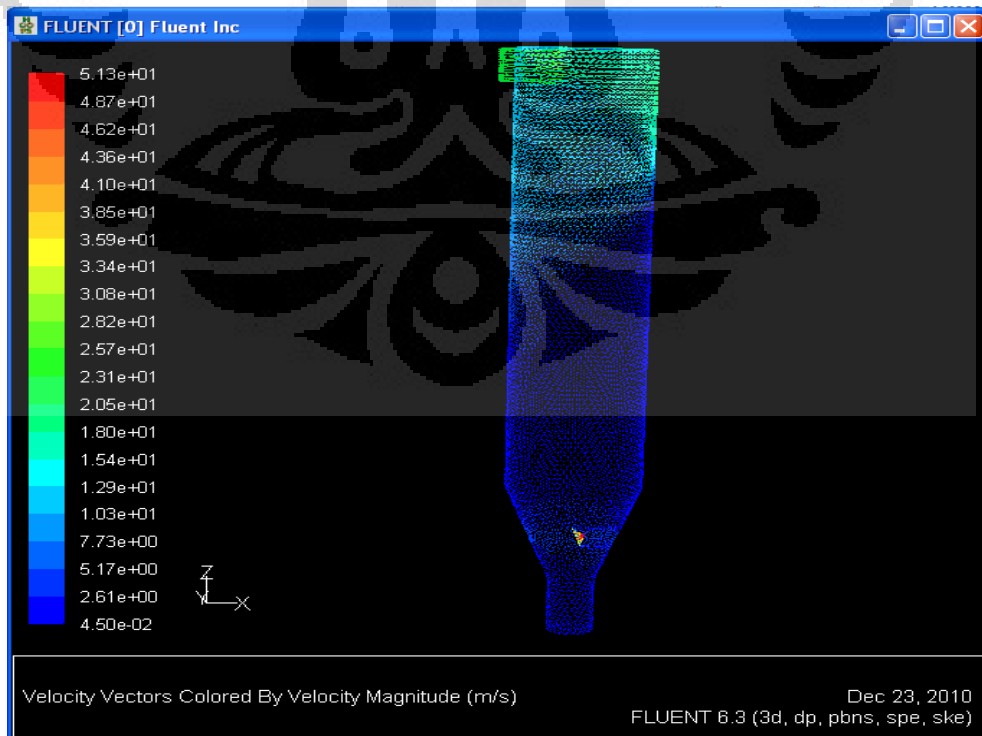


Distribusi kecepatan udara pada laju Udara $1.9 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{jam}$, Temperatur 60°C

Lampiran 5. Perubahan Diameter Partikel dan Distribusi Kecepatan Udara pada Laju Udara $1.9 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{jam}$, Temperatur 70°C

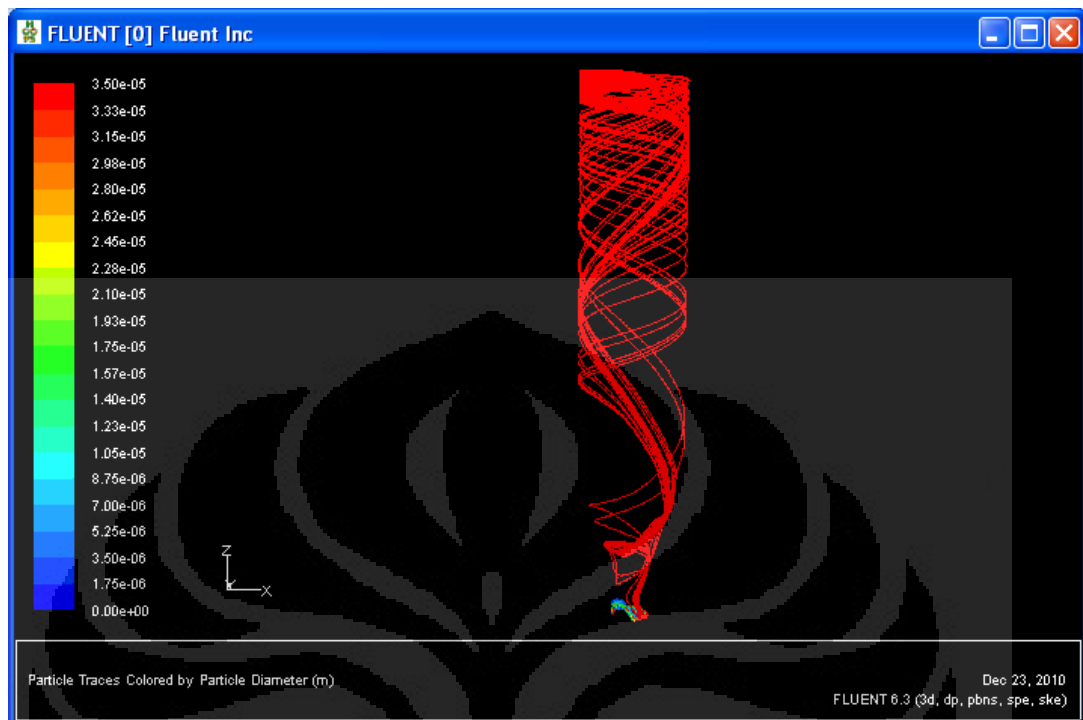


Perubahan diameter partikel pada laju Udara $1.9 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{jam}$, Temperatur 70°C

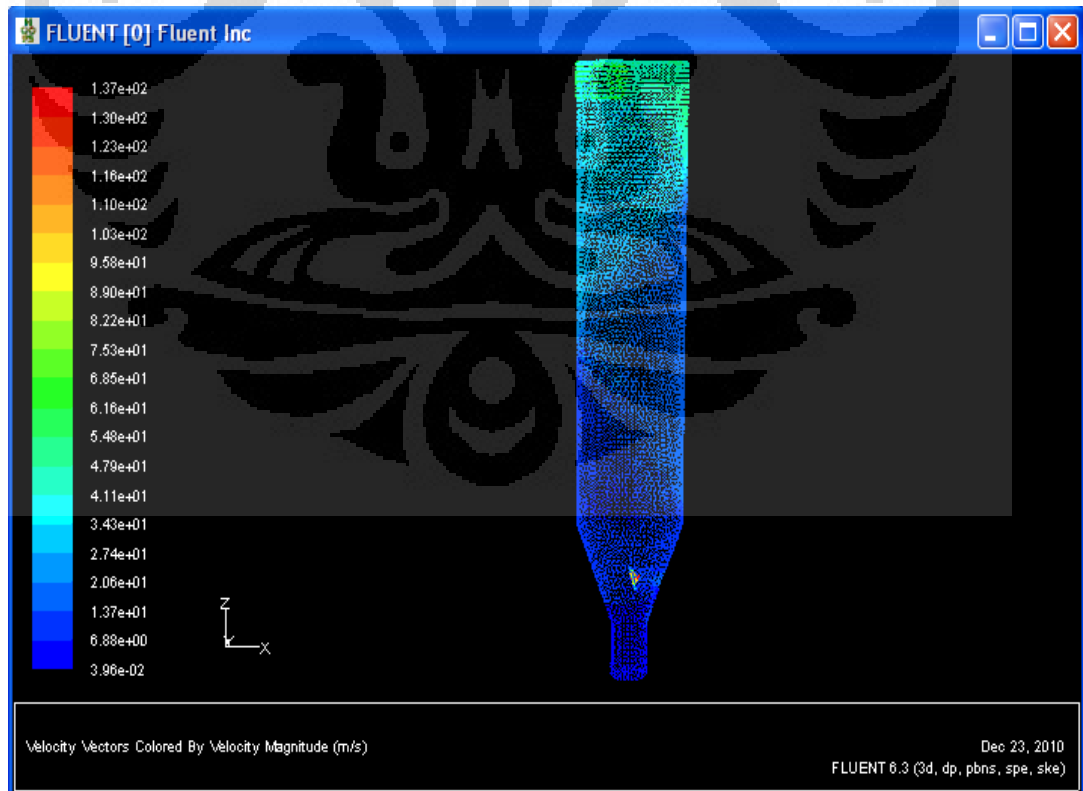


Distribusi kecepatan udara pada laju Udara $1.9 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{jam}$, Temperatur 70°C

Lampiran 6. Perubahan Diameter Partikel dan Distribusi Kecepatan Udara pada Laju Udara $5.0 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{jam}$, Temperatur 70°C



Perubahan diameter partikel pada laju Udara $5.0 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{jam}$, Temperatur 70°C



Distribusi kecepatan udara pada laju Udara $5.0 \times 10^2 \text{ m}^3/\text{jam}$, Temperatur 70°C