



**PENGARUH TEMPERATUR *INLET* UDARA DAN
TEKANAN UDARA *NOZZLE*
TERHADAP DISTRIBUSI TEMPERATUR DAN
EFISIENSI TERMAL *SPRAY DRYER***

Skripsi

**diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana
Teknik Program Studi Teknik Mesin**

Oleh

Akbar Rizki Mardawan

NIM. 5212415004

**TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2020**

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Akbar Rizki Mardawan

NIM : 5212415004

Program Studi : Teknik Mesin

Judul : Pengaruh Temperatur *Inlet* Udara dan Tekanan Udara *Nozzle*
terhadap Distribusi Temperatur dan Efisiensi Termal *Spray Dryer*

Skripsi ini telah disetujui oleh dosen pembimbing untuk diajukan ke sidang
panitia ujian Skripsi Program Studi Teknik Mesin S1 Fakultas Teknik Universitas
Negeri Semarang.

Semarang, 2 Januari 2020

Dosen Pembimbing,



Samsudin Anis, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 197601012003121002

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul “Pengaruh Temperatur *Inlet* Udara dan Tekanan Udara *Nozzle* terhadap Distribusi Temperatur dan Efisiensi Termal *Spray Dryer* telah dipertahankan didepan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang pada tanggal 16 Januari 2020.

Oleh

Nama : Akbar Rizki Mardiwani

NIM : 5212415004

Program Studi : Teknik Mesin

Panitia:

Ketua

Sekretaris



Rusiyanto, S.Pd., M.T.

NIP. 197403211999031002



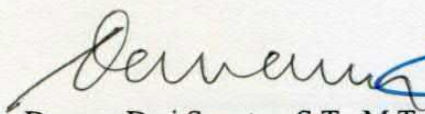
Dr. Ir. Rahmat Doni Widodo, S.T., M.T., IPP.

NIP. 197509272006041002

Penguji I

Penguji II

Penguji III/Pembimbing



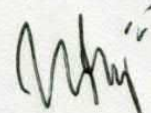
Danang Dwi Saputro, S.T., M.T.

NIP. 197811052005011001



Rusiyanto, S.Pd., M.T.

NIP. 197403211999031002



Samsudin Anis, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 197601012003121002

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang



Dr. Nur Qudus, M.T., IPM.

NIP. 196911301994031001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini

Nama : Akbar Rizki Mardiwawan
NIM : 5212415004
Prodi : Teknik Mesin
Fakultas : Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik sarjana, baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 2 Januari 2020



Akbar Rizki Mardiwawan

NIM. 5212415004

MOTTO

“Hiduplah secara sederhana. Bermimpilah yang besar. Bersyukur. Berilah cinta dan tertawalah yang banyak”.

(Paulo Coelho)

RINGKASAN

Mardiawan, Akbar Rizki. 2019. Pengaruh Temperatur *Inlet* Udara dan Tekanan Udara *Nozzle* terhadap Distribusi Temperatur dan Efisiensi Termal *Spray Dryer*. Samsudin Anis, S.T.,M.T., Ph.D. Teknik Mesin.

Banyak parameter-parameter yang mempengaruhi proses pengeringan menggunakan alat *spray dryer* agar menghasilkan produk yang baik. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui distribusi temperatur dan efisiensi termal di dalam ruang pengering (*chamber*) pada *spray dryer* dengan menggunakan variasi temperatur *inlet* udara dan tekanan udara *nozzle*.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *true experimental model factorial design* dengan variasi temperatur *inlet* udara yaitu 130°C, 160 °C, 190 °C, 220 °C, 250 °C dan tekanan udara *nozzle* 2 kgf/cm², 2,5 kgf/cm², 3 kgf/cm², 3,5 kgf/cm², dan 4 kgf/cm². Media yang digunakan dalam penelitian ini yaitu air yang mendidih (90°C). Pengambilan data dilakukan pada 5 titik distribusi yang terletak di dalam ruang pengering dengan jarak antar titik yaitu 5 cm, 10 cm, 15 cm 20 cm dan 25 cm yang diukur dari bagian atas ruang pengering (*chamber*) ke arah bawah secara vertikal dengan interval waktu 3 menit selama 11 menit. Hasil data distribusi temperatur yang diperoleh kemudian dihitung dan dianalisis untuk mengetahui efisiensi termal dengan mempertimbangan panas yang hilang (*heat loss*).

Hasil penelitian menunjukkan meningkatnya nilai temperatur *inlet* udara akan meningkatkan nilai temperatur yang terdistribusi di dalam ruang pengering, dan sebaliknya semakin meningkatnya nilai tekanan udara *nozzle* maka semakin menurun nilai temperatur yang terdistribusi di dalam ruang pengering. Berbeda dengan hasil efisiensi termal yang diperoleh, semakin besar nilai temperatur *inlet* pemanas dan tekanan udara *nozzle* maka semakin besar juga nilai efisiensi termal yang dihasilkan pada setiap pengujian. Berdasarkan hasil dari penelitian, kondisi yang relatif stabil terjadi ketika temperatur *inlet* udara 160°C-190°C pada tekanan udara *nozzle* 3,5 kgf/cm² dengan efisiensi termal 90,80%-91,28% dan *heat loss* sebesar 0,7784 kW-0,7556 kW.

Kata kunci: *Spray Dryer*, Temperatur *Inlet* Pemanas, Tekanan Udara *Nozzle*, Distribusi Temperatuur, Efisiensi Termal.

PRAKATA

Berkat limpahan rahmat Tuhan Yang Maha Esa, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Temperatur *Inlet* Udara dan Tekanan Udara *Nozzle* terhadap Distribusi Temperatur dan Efisiensi Termal *Spray Dryer*”. Penulis menyadari dengan sepenuh hati bahwa tersusunnya skripsi ini bukan hanya atas kemampuan dan usaha penulis semata, namun juga berkat bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada yang terhormat :

1. Bapak Prof. Dr. Fathur Rokhman, M. Hum., Rektor Universitas Negeri Semarang atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menempuh studi di Universitas Negeri Semarang.
2. Bapak Dr. Nur Qudus, M.T., IPM., Dekan Fakultas Teknik atas fasilitas yang disediakan bagi mahasiswa.
3. Bapak Samsudin Anis, S.T., M.T., Ph.D. selaku Koordinator Program Studi Teknik Mesin S1 sekaligus Pembimbing yang penuh perhatian memberikan bimbingan dan arahan dalam penulisan skripsi ini.
4. Bapak Danang Dwi Saputro, S.T., M.T., selaku Penguji I yang telah memberikan arahan agar skripsi ini lebih baik.
5. Bapak Rusiyanto, S.Pd., M.T., selaku Penguji II sekaligus Ketua Jurusan Teknik Mesin yang telah memberikan arahan untuk skripsi dan kegiatan akademik penulis.
6. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Mesin yang telah memberikan bekal ilmu dan pengetahuan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
7. Bapak dan Ibu serta Keluarga yang telah memberikan dukungan moril maupun materil sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
8. Rekan-rekan Prodi Teknik Mesin S1 angkatan 2015 yang telah memberikan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
9. Ruli Adi Pratama, rekan penulisan dalam penelitian ini.

10. Dwita Gladea, Pipit Risky Nurjanah dan Febri Yustiyansah, rekan yang banyak memberi motivasi.
11. Widi Santoso yang telah menjadi rekan diskusi terkait desain.
12. Seluruh keluarga besar Tim Pandawa.
13. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah memberikan bantuan dan dorongan baik material maupun spiritual sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.

Semoga Allah SWT memberikan pahala yang setimpal atas kebaikan yang telah diberikan selama ini. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak, baik pembaca, akademik serta perkembangan ilmu pengetahuan.

Semarang, 2 Januari 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
MOTTO	v
RINGKASAN	vi
PRAKATA	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR SINGKATAN TEKNIS DAN LAMBANG	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	5
1.3 Batasan Masalah	6
1.4 Rumusan Masalah	7
1.5 Tujuan	7
1.6 Manfaat	8
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	9
2.1 Kajian Pustaka	9
2.2 Landasan teori	16
2.2.1 Pengertian Pengeringan	16
2.2.2 Perpindahan panas	17
2.2.3 Aliran Fluida	20
2.2.4 Teori <i>Cyclone</i> (Aliran Sentrifugal)	22
2.2.5 Teori <i>Mixing Chamber</i>	24

2.2.6 Hubungan Tekanan dan Temperatur.....	25
2.2.7 Efisiensi Termal	25
2.2.8 Parameter Pengeringan	25
2.2.9 Sifat-sifat Bubuk Pengeringan	28
2.2.10 Mekanisme aliran Fluida Proses Pengeringan	29
2.2.11 Pengering Semprot (<i>Spray Dryer</i>)	31
2.2.12 Komponen <i>Spray Dryer</i>	33
BAB III METODE PENELITIAN	37
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	37
3.2 Desain Penelitian.....	37
3.2.1 Diagram Alir Penelitian	39
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	40
3.3.1 Alat Penelitian.....	40
3.3.2 Bahan Penelitian	48
3.4 Parameter Penelitian.....	48
3.4.1 Temperatur <i>Inlet</i> Udara.....	48
3.4.2 Tekanan Udara <i>Nozzle</i>	49
3.5 Teknik Pengumpulan Data	49
3.6 Kalibrasi Instrumen.....	54
3.7 Teknik Analisis Data.....	55
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	56
4.1 Deskripsi Data.....	56
4.1.1 Temperatur <i>Inlet</i> Udara.....	56
4.1.2 Tekanan Udara <i>Nozzle</i>	57
4.1.3 Distribusi Temperatur	58
4.1.4 Data Pengaruh Temperatur <i>Inlet</i> Udara dan Tekanan Udara <i>Nozzle</i> terhadap Distribusi Temperatur	60
4.2 Analisis Data	64
4.2.1 Analisis Distribusi Temperatur pada Tekanan 2 kgf/cm ²	64
4.2.2 Analisis Distribusi Temperatur pada Tekanan 2,5 kgf/cm ²	68
4.2.3 Analisis Distribusi Temperatur pada Tekanan 3 kgf/cm ²	73

4.2.4 Analisis Distribusi Temperatur pada Tekanan 3,5 kgf/cm ²	78
4.2.5 Analisis Distribusi Temperatur pada Tekanan 4 kgf/cm ²	83
4.2.6 Perhitungan Efisiensi Termal pada Analisis Data	88
4.3 Pembahasan.....	98
4.3.1 Pengaruh Temperatur <i>inlet</i> udara terhadap Distribusi Temperatur dan Efisiensi Termal pada <i>Spray Dryer</i>	98
4.3.2 Pengaruh Tekanan Udara <i>Nozzle</i> terhadap Distribusi Temperatur dan Efisiensi Termal pada <i>Spray Dryer</i>	102
BAB V PENUTUP	106
5.1 Kesimpulan	106
5.2 Saran.....	107
DAFTAR PUSTAKA	108
LAMPIRAN	111

DAFTAR SINGKATAN TEKNIS DAN LAMBANG

%	= Persen
q_{kond}	= Laju perpindahan panas konduksi (W)
q_{konv}	= Laju perpindahan panas konveksi (W)
q_{rad}	= Laju perpindahan panas radiasi (W)
η_{th}	= Efisiensi termal (%)
Q_{in}	= Total panas <i>input</i> (kJ)
Q_{out}	= Total panas <i>output</i> (kJ)
$W_{net, out}$	= <i>Output</i> kerja bersih (kJ)
$P_{(hg)}$	= Daya <i>heat gun</i> (kW)
$P_{(hb)}$	= Daya <i>heater band</i> (kW)
$P_{(kom)}$	= Daya kompresor (kW)
$P_{(kl)}$	= Daya kompor listrik (kW)
\dot{m}	= Laju aliran massa (kg/s)
h	= jumlah energi dari suatu sistem (kJ/kg)
ρ	= Massa jenis fluida (kg/m ³)
V	= Volume per satuan waktu/ debit (m ³ /s)
v	= Volume fluida (m ³)
t	= Waktu aliran (s)

- v = kecepatan fluida (m/s)
 k = Konduktivitas termal bahan (W/m.K)
 \dot{E} = Energi (kW)
 dT/dx = *Temperature gradient* (K/m)
 A = Luasan permukaan benda (m²)
 (-) = Perpindahan panas dari temperatur tinggi ke tempratur rendah.
 h = Koefisien konveksi (W/m²K)
 A = Luasan permukaan perpindahan panas (m²)
 T_w = Temperatur permukaan (K)
 T_∞ = Temperatur fluida (K)
 σ = Konstanta Stefan-Boltzmann (5,669 x 10⁻⁸ W/m².K⁴)
 T_s = Temperatur permukaan benda (K)
 T_{sur} = Temperatur *surrounding* (K)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Waktu yang dihasilkan oleh variasi temperatur	10
Tabel 3.1 Desain Penelitian.....	36
Tabel 3.2 Spesifikasi Kompresor	41
Tabel 3.3 Spesifikasi <i>Heat Gun</i>	42
Tabel 3.4 Spesifikasi Kompor Listrik	44
Tabel 3.5 Spesifikasi Multimeter Digital	45
Tabel 3.6 Spesifikasi Anemometer	46
Tabel 3.7 Spesifikasi Anemometer (<i>Air Velocity</i>)	46
Tabel 3.8 Pengambilan Data Penelitian	52
Tabel 4.1 Variasi T_{in} pada $p = 2 \text{ kgf/cm}^2$	60
Tabel 4.2 Variasi T_{in} pada $p = 2,5 \text{ kgf/cm}^2$	61
Tabel 4.3 Variasi T_{in} pada $p = 3 \text{ kgf/cm}^2$	61
Tabel 4.4 Variasi T_{in} pada $p = 3,5 \text{ kgf/cm}^2$	62
Tabel 4.5 Spesifikasi Multimeter Digital	63
Tabel 4.6 Hasil Distribusi Temperatur pada $p = 2 \text{ kgf/cm}^2$	89
Tabel 4.7 Pengaruh T_{Inlet} Udara terhadap Distribusi Temperatur	100
Tabel 4.8 Pengaruh T_{Inlet} Udara terhadap Efisiensi Termal	100

Tabel 4.9 Pengaruh (p) terhadap Distribusi temperatur	103
Tabel 4.10 Pengaruh (p) terhadap Efisiensi Termal	104

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Aliran Laminar	21
Gambar 2.2 Aliran Transisi	22
Gambar 2.3 Aliran Turbulen	22
Gambar 2.4 <i>Cyclone</i>	23
Gambar 2.5 Mesin <i>Spray Dryer</i>	31
Gambar 2.6 Rancangan Mesin <i>Spray dryer</i>	32
Gambar 2.7 Skema Alat <i>spray dryer</i>	32
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	38
Gambar 3.2 Komponen <i>Spray Dryer</i>	39
Gambar 3.3 Kompresor	41
Gambar 3.4 <i>Heater band</i>	42
Gambar 3.5 <i>Heat Gun</i>	43
Gambar 3.6 <i>Pressure Gauge</i>	43
Gambar 3.7 Kompor Listrik	44
Gambar 3.8 Filter Udara	44
Gambar 3.9 Multimeter Digital	45
Gambar 3.10 <i>Stopwatch</i>	46
Gambar 3.11 Anemometer	47
Gambar 3.12 Skema Mesin <i>Spray Dryer</i>	49
Gambar 3.13 Titik Pengambilan Data	53
Gambar 4.1 Pengambilan Nilai Temperatur	56
Gambar 4.2 Pengambilan Nilai Kecepatan Udara	57
Gambar 4.3 Pengambilan Nilai Tekanan Udara	57
Gambar 4.4 Titik Pengambilan Data	58

Gambar 4.5 Pengambilan Data menggunakan <i>Software</i> ADAM.....	59
Gambar 4.6 Proses Perhitungan Interval Waktu Pengambilan Data.....	59
Gambar 4.7 Grafik Distribusi Temperatur $T_{in} = 130^{\circ}\text{C}$ dan $p = 2 \text{ kgf/cm}^2$	64
Gambar 4.8 Grafik Distribusi Temperatur $T_{in} = 160^{\circ}\text{C}$ dan $p = 2 \text{ kgf/cm}^2$	65
Gambar 4.9 Grafik Distribusi Temperatur $T_{in} = 190^{\circ}\text{C}$ dan $p = 2 \text{ kgf/cm}^2$	66
Gambar 4.10 Grafik Distribusi Temperatur $T_{in} = 220^{\circ}\text{C}$ dan $p = 2 \text{ kgf/cm}^2$	67
Gambar 4.11 Grafik Distribusi Temperatur $T_{in} = 250^{\circ}\text{C}$ dan $p = 2 \text{ kgf/cm}^2$	68
Gambar 4.12 Grafik Distribusi Temperatur $T_{in} = 130^{\circ}\text{C}$ dan $p = 2,5 \text{ kgf/cm}^2$..	69
Gambar 4.13 Grafik Distribusi Temperatur $T_{in} = 160^{\circ}\text{C}$ dan $p = 2,5 \text{ kgf/cm}^2$..	70
Gambar 4.14 Grafik Distribusi Temperatur $T_{in} = 190^{\circ}\text{C}$ dan $p = 2,5 \text{ kgf/cm}^2$..	71
Gambar 4.15 Grafik Distribusi Temperatur $T_{in} = 220^{\circ}\text{C}$ dan $p = 2,5 \text{ kgf/cm}^2$..	72
Gambar 4.16 Grafik Distribusi Temperatur $T_{in} = 250^{\circ}\text{C}$ dan $p = 2,5 \text{ kgf/cm}^2$..	73
Gambar 4.17 Grafik Distribusi Temperatur $T_{in} = 130^{\circ}\text{C}$ dan $p = 3 \text{ kgf/cm}^2$	74
Gambar 4.18 Grafik Distribusi Temperatur $T_{in} = 160^{\circ}\text{C}$ dan $p = 3 \text{ kgf/cm}^2$	75
Gambar 4.19 Grafik Distribusi Temperatur $T_{in} = 190^{\circ}\text{C}$ dan $p = 3 \text{ kgf/cm}^2$	76
Gambar 4.20 Grafik Distribusi Temperatur $T_{in} = 220^{\circ}\text{C}$ dan $p = 3 \text{ kgf/cm}^2$	77
Gambar 4.21 Grafik Distribusi Temperatur $T_{in} = 250^{\circ}\text{C}$ dan $p = 3 \text{ kgf/cm}^2$	78
Gambar 4.22 Grafik Distribusi Temperatur $T_{in} = 130^{\circ}\text{C}$ dan $p = 3,5 \text{ kgf/cm}^2$..	79
Gambar 4.23 Grafik Distribusi Temperatur $T_{in} = 160^{\circ}\text{C}$ dan $p = 3,5 \text{ kgf/cm}^2$..	80
Gambar 4.24 Grafik Distribusi Temperatur $T_{in} = 190^{\circ}\text{C}$ dan $p = 3,5 \text{ kgf/cm}^2$..	81
Gambar 4.25 Grafik Distribusi Temperatur $T_{in} = 220^{\circ}\text{C}$ dan $p = 3,5 \text{ kgf/cm}^2$..	82
Gambar 4.26 Grafik Distribusi Temperatur $T_{in} = 250^{\circ}\text{C}$ dan $p = 3,5 \text{ kgf/cm}^2$..	83
Gambar 4.27 Grafik Distribusi Temperatur $T_{in} = 130^{\circ}\text{C}$ dan $p = 4 \text{ kgf/cm}^2$	84
Gambar 4.28 Grafik Distribusi Temperatur $T_{in} = 160^{\circ}\text{C}$ dan $p = 4 \text{ kgf/cm}^2$	85
Gambar 4.29 Grafik Distribusi Temperatur $T_{in} = 190^{\circ}\text{C}$ dan $p = 4 \text{ kgf/cm}^2$	86
Gambar 4.30 Grafik Distribusi Temperatur $T_{in} = 220^{\circ}\text{C}$ dan $p = 4 \text{ kgf/cm}^2$	87
Gambar 4.31 Grafik Distribusi Temperatur $T_{in} = 250^{\circ}\text{C}$ dan $p = 4 \text{ kgf/cm}^2$	88
Gambar 4.32 Grafik Pengaruh T_{inlet} terhadap Distribusi Temperatur.....	101
Gambar 4.33 Grafik Pengaruh T_{inlet} terhadap Efisiensi Termal	101
Gambar 4.34 Grafik Pengaruh (p) terhadap Distribusi Temperatur	104
Gambar 4.35 Grafik Pengaruh (p) terhadap Efisiensi Termal	104

Gambar 1. Pengaturan Temperatur <i>Inlet</i> Udara 130°C	143
Gambar 2. Pengaturan Temperatur <i>Inlet</i> Udara 160°C	143
Gambar 3. Pengaturan Temperatur <i>Inlet</i> Udara 190°C	144
Gambar 4. Pengaturan Temperatur <i>Inlet</i> Udara 220°C	144
Gambar 5. Pengaturan Temperatur <i>Inlet</i> Udara 250°C	144
Gambar 6. Pengaturan Tekanan Udara <i>Nozzle</i> 2 kgf/cm ²	145
Gambar 7. Pengaturan Tekanan Udara <i>Nozzle</i> 2,5 kgf/cm ²	145
Gambar 8. Pengaturan Tekanan Udara <i>Nozzle</i> 3 kgf/cm ²	145
Gambar 9. Pengaturan Tekanan Udara <i>Nozzle</i> 3,5 kgf/cm ²	146
Gambar 10. Pengaturan Tekanan Udara <i>Nozzle</i> 4 kgf/cm ²	146
Gambar 11. Dokumentasi Ujian Skripsi	146

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Cengel Properti Tabel A-6 (<i>Superheated Water</i>)	112
Lampiran 2. Cengel Properti Tabel A-17 (<i>Ideal gas property of air</i>).....	113
Lampiran 3. Perhitungan Laju Aliran Massa	114
Lampiran 4. Perhitungan Efisiensi Termal pada 5 T_{inlet} ($p = 2 \text{ kgf/cm}^2$)...	116
Lampiran 5. Perhitungan Efisiensi Termal pada 5 T_{inlet} ($p = 2,5 \text{ kgf/cm}^2$)	121
Lampiran 6. Perhitungan Efisiensi Termal pada 5 T_{inlet} ($p = 3 \text{ kgf/cm}^2$)...	126
Lampiran 7. Perhitungan Efisiensi Termal pada 5 T_{inlet} ($p = 3,5 \text{ kgf/cm}^2$)	132
Lampiran 8. Perhitungan Efisiensi Termal pada 5 T_{inlet} ($p = 4 \text{ kgf/cm}^2$)...	137
Lampiran 9. Dokumentasi Penelitian	144
Lampiran 10. Gambar <i>Chamber</i>	148
Lampiran 11. Gambar Siklon (<i>Cyclone</i>)	149
Lampiran 12. Gambar Tanki	150
Lampiran 13. <i>Assembly Spray Dryer</i>	151

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki potensi kekayaan alam yang melimpah namun pemanfaatannya belum optimal. Hal ini dilihat dari beberapa sektor agraris seperti pertanian, peternakan dan pangan. Kurang tepatnya penerapan teknologi menjadi kendala utama untuk menghasilkan produk yang berkualitas. Menurut Widyastutik dan Yanti (2012), Salah satu subsektor dalam pertanian adalah peternakan. Pembangunan subsektor peternakan merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari pembangunan pertanian. Ternak dan produk olahannya merupakan sumber bahan pangan protein yang sangat penting untuk meningkatkan kualitas sumber daya manusia. Selain itu, kandungan gizi (protein, lemak, vitamin, dan mineral) yang dimiliki ternak dan produk olahannya lebih baik dibandingkan dengan tumbuhan.

Salah satu produk olahan di sektor peternakan adalah susu. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Nugroho, (2010) Indonesia memproduksi susu segar relatif sangat sedikit yaitu sekitar 635.000 ton per tahun, apabila dibandingkan dengan produksi susu segar di Australia dan Selandia Baru, masing-masing sekitar 10 juta ton per tahun sehingga produksi susu segar di Indonesia saat ini hanya mampu mencukupi kebutuhan domestik sekitar 35 % dan sisanya 65% harus diimpor dari luar negeri. Hal ini menunjukkan rendahnya nilai ekspor yang disebabkan karena kurangnya perhatian terhadap proses produksi sehingga

menjadi dorongan untuk mengembangkan teknologi agar lebih dioptimalkan. Upaya untuk meningkatkan kualitas hasil suatu produk dapat dilakukan dengan metode pengeringan. Menurut Takwim (2014), proses pengeringan terjadi karena pengaruh penguapan cairan dengan pemberian panas pada bahan yang dikeringkan. Proses pengeringan ini secara tidak langsung dapat memperpanjang umur simpan produk, karena proses pengeringan dilakukan dengan tujuan untuk mengurangi kadar air yang terkandung dalam suatu bahan sehingga dapat meminimalisir pertumbuhan mikroorganisme dan reaksi kimia yang menyebabkan pembusukan. Ada beberapa metode pengeringan pada proses produksi, salah satunya adalah menggunakan *spray dryer*. Teknologi *spray dryer* atau pengering semprot menjadi pilihan dalam proses pengeringan karena dapat menghasilkan produk berupa bubuk. Proses produksi bubuk dengan bahan alami sebagian besar dibuat melalui proses pengeringan dengan menggunakan teknologi *spray dryer*. Tidak hanya pada produksi susu bubuk, proses pengeringan dengan metode *spray dryer* merupakan alternatif teknologi yang banyak digunakan pada industri-industri untuk menghasilkan bubuk yang memiliki kualitas lebih baik, seperti contoh lain penerapannya adalah pada produksi santan bubuk, ekstrak makanan, zat pewarna alami dan lain sebagainya.

Spray dryer dalam proses menghasilkan randemen berupa bubuk bergantung pada faktor-faktor yang mempengaruhi proses pengeringan yaitu temperatur, kecepatan udara pengering, kelembaban udara dan tekanan udara. Temperatur pada *spray dryer* lebih di titik beratkan pada temperatur bahan dan temperatur udara ruangan pengering. Temperatur bahan merupakan temperatur

awal atau temperatur umpan bahan pada proses pengeringan, sementara temperatur udara ruangan berasal dari udara panas yang dihasilkan dari pemanas yang di kontakkan ke bahan maupun pemanas yang menyelimuti dinding *spray dryer*. Temperatur pada proses pengeringan berpengaruh pada kecepatan waktu pengeringan, seperti yang dijelaskan Fernandes *et al.*, (2013) pada penelitiannya yaitu bahwa teknik ini sesuai untuk pengeringan bahan karena waktu kontak panas yang sangat singkat dan tingkat penguapan tinggi.

Temperatur udara ruangan pengering juga dipengaruhi kecepatan udara dari pemanas. Menurut pendapat Dwika *et al.*, (2012) menjelaskan bahwa dengan bertambahnya kecepatan udara pengering akan meningkatkan difusi panas udara ke dalam butiran butiran umpan sehingga meningkatkan jumlah air yang dapat diuapkan. Jumlah air yang diuapkan pada proses ini merupakan parameter kelembaban udara pada ruangan pengering. Udara yang kurang mengandung uap air dikatakan udara kering sedangkan udara yang mengandung banyak air dikatakan udara lembab (Syahrul *et al.*, 2016). Kendala yang sering terjadi pada proses pengeringan menurut penelitian yang dilakukan oleh Priyadi *et al.*, (2012) mengungkapkan bahwa kondisi kelembaban udara yang cukup tinggi dapat menyebabkan berkurangnya panas udara pengering, sehingga dapat disimpulkan bahwa pengeringan maksimum terjadi apabila udara mampu menguapkan air dalam suatu bahan sehingga udara tersebut kering. Seiring dengan berjalannya penguapan pada proses pengeringan, diperlukan adanya sistem insulasi untuk menjaga temperatur agar tetap stabil pada alat *spray dryer*.

Faktor berikutnya yang mempengaruhi proses pengeringan adalah faktor yang berhubungan dengan proses terbentuknya bubuk yaitu, tekanan udara. Tekanan udara berasal dari udara yang dikompresi menggunakan kompresor untuk menekan fluida atau bahan yang diatomisasi menggunakan *nozzle* dan disemprotkan sehingga terbentuk *droplets* (butiran-butiran kecil). Butiran-butiran kecil dari cairan tersebut kemudian dikontakkan dengan udara panas sehingga terbentuk bubuk. Alfat dan Purqon (2016) dalam penelitiannya mengungkapkan bahwa variasi tekanan sangat mempengaruhi laju penurunan kadar air. Penggunaan variasi tekanan juga dipengaruhi oleh viskositas bahan yang digunakan. Menurut Patel *et al.*, (2009) menjelaskan bahwa viskositas yang rendah menyebabkan berkurangnya energi dan tekanan dalam menghasilkan semprotan partikel pada proses atomisasi. *Nozzle* dalam proses pengeringan berperan sebagai alat penyemprot yang digunakan untuk mengatomisasi bahan. Sonone *et al.*, (2016) pada penelitiannya menjelaskan bahwa *nozzle* digunakan untuk membuat tetesan sekecil mungkin untuk memaksimalkan perpindahan panas dan tingkat penguapan air pada alat *spray dryer*.

Hasil penelitian yang dilakukan Maulina *et al.*, (2013) menjelaskan pengertian teknologi *spray dryer* yaitu, metode *spray dryer* mengeringkan cairan kental atau pasta dengan cara mengontakkan butiran-butiran cairan dengan arah yang berlawanan atau searah dengan udara panas. Lisboa *et al.*, (2018) juga berpendapat bahwa pengering semprot adalah operasi yang mampu mengubah solusi, suspensi atau emulsi menjadi padatan.

Prinsip kerja mesin *spray dryer* menurut penelitian Nurhayati, (2014) menjelaskan bahwa semakin tinggi temperatur *inlet* dan tekanan udara nosel maka nilai rendemen efisiensi produksi dan kadar air menurun. Penelitian ini diperkuat penelitian Kumalla *et al*, (2013) bahwa proses pengeringan dipengaruhi oleh temperatur *inlet* dan tekanan udara untuk mengurangi kadar air sehingga pengeringan berlangsung lebih cepat. Berdasarkan uraian tersebut selain temperatur *inlet*, tekanan udara nosel dapat dijadikan variabel penelitian.

Sementara menurut penelitian yang dilakukan Parastiwi *et al.*, (2015) menjelaskan bahwa mesin *spray dryer* yang tersedia di pasaran harganya mahal dan membutuhkan energi yang tinggi (kilo Watt) untuk operasionalnya yang tidak mungkin dapat diupayakan para petani yang sebagian besar merupakan petani miskin, oleh sebab itu dibutuhkan mesin *spray-dryer* yang dapat beroperasi dengan energi yang minim. Konsumsi energi yang bekerja pada mesin *spray dryer* sangat erat kaitannya dengan perpindahan panas atau distribusi temperatur. Sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Soedjono dan Sarsetiyanto (2006) bahwa Konsep dasar tentang distribusi temperatur udara adalah terkait erat dengan aliran energi antara udara *supply* dengan udara ruangan.

Berdasarkan uraian di atas, diperlukan penelitian mengenai pengaruh temperatur *inlet* udara dan tekanan udara *nozzle* terhadap distribusi temperatur pada mesin *spray dryer* untuk mengetahui komposisi pengaturan temperatur dan tekanan yang menyesuaikan setiap karakteristik bahan yang digunakan.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang yang telah dipaparkan, maka identifikasi masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Perolehan randemen pada *spray dryer* kurang maksimal, dimungkinkan settingan alat tidak sesuai dengan karakteristik fluida yang digunakan.
2. Temperatur *inlet* dengan nilai tinggi dimungkinkan menyebabkan kerusakan hasil pengeringan.
3. Tekanan udara nosel yang tidak sesuai dimungkinkan mempengaruhi hasil butiran pengeringan, sehingga hasil pengkabutan *nozzle* tidak terdispersi dengan baik.
4. Temperatur dinding reaktor berpengaruh pada distribusi temperatur dan perolehan hasil pengeringan
5. Ukuran *nozzle* diprediksi mempengaruhi semprotan partikel pada proses pengeringan.
6. Fluida dengan viskositas tertentu berpengaruh pada pembentukan *droplets*.
7. Kombinasi pengaturan temperatur *inlet* udara dan tekanan udara *nozzle* yang tidak sesuai menyebabkan bubuk tidak terbentuk dengan baik.

1.3 Batasan Masalah

Ruang lingkup dari penelitian ini adalah :

1. Temperatur *inlet* udara menggunakan variasi nilai tertentu.
2. Tekanan udara *nozzle* menggunakan variasi nilai tertentu
3. Penelitian ini terbatas pada analisis pengaruh temperatur *inlet* udara dan tekanan udara *nozzle* terhadap distribusi temperatur pada *spray dryer*.

4. Penelitian ini terbatas pada analisis pengaruh temperatur *inlet* udara dan tekanan udara *nozzle* terhadap efisiensi termal pada *spray dryer*.
5. Penelitian ini terbatas pada analisis proses yang terjadi di dalam ruang pengering (*chamber*).

1.4 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh temperatur *inlet* udara terhadap distribusi temperatur pada mesin *spray dryer*?
2. Bagaimana pengaruh tekanan udara *nozzle* terhadap distribusi temperatur pada mesin *spray dryer*?
3. Bagaimana pengaruh temperatur *inlet* udara terhadap efisiensi termal pada mesin *spray dryer*?
4. Bagaimana pengaruh tekanan udara *nozzle* terhadap efisiensi termal pada mesin *spray dryer*?

1.5 Tujuan

Secara umum, tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis proses distribusi temperatur pada *spray dryer*. Secara khusus tujuan penelitian ini antara lain :

1. Mengetahui pengaruh temperatur *inlet* udara terhadap distribusi temperatur pada mesin *spray dryer*.
2. Mengetahui pengaruh tekanan udara *nozzle* terhadap distribusi temperatur pada mesin *spray dryer*.
3. Mengetahui pengaruh temperatur *inlet* udara terhadap efisiensi termal pada mesin *spray dryer*.

4. Mengetahui pengaruh tekanan udara *nozzle* terhadap efisiensi termal pada mesin *spray dryer*.

1.6 Manfaat

1. Bagi Ilmu Pengetahuan dan Teknologi

Sebagai bahan referensi dalam bidang ilmu pengetahuan dan teknologi tentang distribusi temperatur dan efisiensi termal pada *spray dryer*.

2. Bagi Mahasiswa

Dapat menambah wawasan dan keterampilan tentang pengaruh tekanan udara *nozzle* dan temperatur *inlet* terhadap distribusi temperatur dan efisiensi termal pada mesin *spray dryer*.

3. Bagi Masyarakat

Dapat mengetahui tentang penerapan teknologi pengeringan dengan menggunakan mesin *spray dryer*.

4. Bagi Peneliti

Dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan atau referensi lebih lanjut terhadap penelitian berikutnya.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Variabel penelitian yang mempengaruhi proses pengeringan menggunakan teknologi *spray dryer* diantaranya sebagai berikut :

Salah satu cara untuk membuat bubuk dengan proses pengeringan adalah menggunakan teknologi pengering semprot atau *spray dryer*. Prinsip kerja *spray dryer* adalah dengan menyemprotkan cairan atau fluida kerja menjadi butiran-butiran kecil partikel dan dikontakkan dengan udara panas. Proses pengeringan menggunakan *spray dryer* sangat dipengaruhi oleh temperatur *inlet* yang berasal dari pemanas dalam proses kerjanya . Pinalia *et al.*,(2017) dalam penelitiannya mengungkapkan bahwa temperatur *inlet* juga berpengaruh terhadap rendemen produk, semakin tinggi temperatur *inlet* pada pengeringan suatu bahan, maka rendemen yang dihasilkan semakin rendah. Hal ini dikarenakan semakin tinggi temperatur *inlet*, jumlah kandungan air dalam bahan yang diuapkan lebih banyak, sehingga berpengaruh terhadap massa produk.

Dewi dan Satibi, (2013) melakukan penelitian tentang kajian pengaruh temperatur pengeringan semprot (*spray dryer*) terhadap waktu pengeringan dan rendemen bubuk santan kelapa (*Coconut milk powder*). Bahan baku yang digunakan adalah santan kelapa. Metode penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu melakukan variasi temperatur *inlet* yang digunakan dalam penelitian yaitu, 110°C, 120°C, 130°C,140°C,150°C, menggunakan santan 500 ml

sebagai fluida kerja atau bahan baku penelitian dengan zat tambahan yaitu maltodextrin 10% dan Natrium Kaseinat 3%, menghasilkan :

Tabel 2.1 Waktu yang dihasilkan dengan variasi temperatur (Dewi dan Satibi, 2013)

No.	T°C	Waktu Pencapaian (s)
1.	110	866
2.	120	866
3.	130	898
4.	140	806
5.	150	602

Hasil dari penelitian tersebut diperoleh pencapaian yang terbaik pada temperatur 140°C dengan waktu yang dibutuhkan 806 detik (13 menit 26 detik). Pada temperatur 150°C waktu pengeringan juga sangat cepat yaitu 602 detik (10 menit 2 detik). pengeringan pada temperatur awal 110°C dan 120°C memiliki pencapaian waktu pengeringan yang lama yaitu 866 detik (14 menit 26 detik). Semakin tinggi temperatur udara pengeringan, maka lebih cepat pengambilan uap dari bahan sehingga proses pengeringan lebih cepat.

Pembahasan mengenai temperatur *inlet* dapat merujuk pada studi penelitian yang dilakukan oleh Srihari *et al.*, (2015) tentang pembuatan ekstrak bawang putih dengan menggunakan proses *spray dryer*. Penelitian yang dilakukan adalah percobaan pembuatan ekstrak bawang putih dengan pelarut air tertentu yang dimulai dari perbandingan 1:1, 1:2, 1:3, 1:4 dan 1:5 variasi konsentrasi maltodekstrin 0%, 10%, 20%, 30%, 40% dan 50%, serta variasi temperatur udara masuk 160°C, 170°C, 180°C dan 190°C. Hal yang diamati dalam penelitian tersebut adalah pengaruh konsentrasi maltodekstrin dan temperatur udara masuk terhadap karakteristik ekstrak bawang putih bubuk yang dihasilkan.

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini terdiri dari 2 tahap yaitu, penelitian pendahuluan dan penelitian utama. Penelitian pendahuluan adalah pembuatan ekstrak bawang putih yang optimal dengan perbandingan air melalui proses ekstraksi. Proses ekstraksi bawang putih menggunakan pelarut air, dengan perbandingan massa bawang putih dan volume air tertentu, yaitu dimulai 1:1. Penelitian utama adalah pembuatan ekstrak bawang putih bubuk dengan berbagai konsentrasi maltodekstrin dan variasi temperatur udara masuk terhadap karakteristik ekstrak bawang putih bubuk hasil proses *spray drying*.

Hasil dari penelitian tersebut diperoleh larutan ekstrak bawang putih dengan perbandingan massa bawang putih dan pelarut air yaitu 1:6. Pada karakteristik kadar air ekstrak bawang putih bubuk dipilih pada temperatur *inlet* udara 180°C dengan berbagai konsentrasi maltodekstrin karena memiliki kadar air yang bagus, berkisar 3%-5%. Karakteristik *bulk density*, tidak dapat dipilih karena memiliki *bulk density* yang hampir sama berkisar 0,4-0,6 g/ml. Karakteristik *wettability* yang dipilih pada temperatur udara *inlet* 180°C dengan konsentrasi maltodekstrin 10%, karena memiliki waktu terbasahi yang paling rendah. Karakteristik *solubility* yang dipilih pada temperatur udara *inlet* 180°C dengan konsentrasi maltodekstrin 10%, karena memiliki waktu pengadukan yang paling rendah.

Berdasarkan penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa dengan meningkatnya temperatur udara *inlet* menyebabkan terjadinya penurunan kadar air, begitu juga dengan meningkatnya temperatur udara masuk menyebabkan terjadinya peningkatan *bulk density*, *wettability* dan *solubility*.

Paramater lain yang berpengaruh pada proses pembuatan bubuk menggunakan *spray dryer* adalah tekanan udara. Tekanan udara yang dimaksud dalam pembahasan ini adalah tekanan udara *nozzle*. Secara runtut dapat dijelaskan bahwa tekanan udara pada *spray dryer* berasal dari udara yang dikompresi menggunakan kompresor dan dialirkan ke *nozzle* yang berperan sebagai media untuk proses mengatomisasi bahan pada proses pengeringan sehingga terbentuk *droplets* (butiran-butiran kecil).

Nurhayati, (2014) dalam penelitiannya mengenai pengaruh variasi temperatur udara *inlet* dan tekanan udara nosel pada *spray dryer* terhadap sifat bubuk wortel (*Daucus carota L.*) yang di enkapsulasi dengan maltodextrin. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk meningkatkan umur simpan, mengurangi volume dan berat, selain itu juga untuk memudahkan dalam pengemasan, penanganan dan transportasi. Bahan pengisi (*carrier agent*) yang digunakan dalam proses ini adalah maltodextrin.

Metode yang dilakukan pada penelitian ini yaitu wortel dibersihkan dan dihaluskan menggunakan *juicer* untuk mendapatkan sari wortel, kemudian sari wortel ditambahkan dengan maltodextrin dengan perbandingan rasio 83 : 17. Variasi temperatur udara *inlet* yang digunakan pada penelitian ini yaitu 160°C, 170°C, 180°C, 190°C dan tekanan udara nosel dengan *nozzle* tipe *pneumatic* 2 kgf/cm², 2,5 kgf/cm², 3 kgf/cm², dengan debit *blower* yang digunakan adalah 0,0082 m³/s sebanyak 600 g bahan campuran yang akan dikeringkan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa alat *spray dryer* ini mampu menghasilkan rendemen 7,44 – 12,26 %, Efisiensi produksi berkisar 31,44 –

56,42% dan kadar air bubuk wortel berkisar 4,30- 8,08%. Kualitas terbaik pada percobaan ini adalah perlakuan dengan kombinasi temperatur udara *inlet* 190°C dan tekanan udara nosel 2 kgf/cm² . Berdasarkan penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur udara *inlet* dan tekanan udara nosel maka nilai rendemen, efisiensi produksi dan kadar air semakin menurun.

Penelitian mengenai tekanan udara diperkuat oleh penelitian yang dilakukan oleh Manurung, (2019) tentang analisis pengaruh tekanan udara nosel dan konsentrasi total padatan bahan terhadap sifat fisik susu bubuk pada pengeringan susu sapi menggunakan *spray dryer*. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menjaga kualitas susu dengan cara mengubah bentuk dari cair menjadi bubuk menggunakan *spray dryer*, mengingat susu merupakan bahan pangan yang sangat mudah menjadi media pertumbuhan mikroba yang dapat merusak kualitas susu apabila tidak diolah dengan baik.

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah menggunakan alat *spray dryer*, peneliti mengungkapkan bahwa proses pengeringan menggunakan *spray dryer* bahan fluida akan dikabutkan menjadi partikel-partikel kecil untuk memperluas permukaan atau bidang kontak fluida. Sehingga fluida lebih mudah untuk dikeringkan dan waktu yang diperlukan untuk proses pengeringan menjadi lebih singkat, pada penelitian ini peneliti lebih memilih *atomizer* tipe *pneumatic* sebagai alat untuk mengkabutkan bahan fluida, karena luas permukaan hasil proses pengkabutan dapat diatur, sehingga *chamber* yang dibutuhkan tidak terlalu besar. Garis besar pada penelitian ini yaitu mengkaji analisis pengaruh tekanan udara dan konsentrasi total solid bahan terhadap beberapa sifat fisik susu bubuk

meliputi kadar air, derajat keputihan, *wettability*, *flowability* dan nilai efisiensi produksi. Variasi tekanan udara yang digunakan yaitu 2 kgf/cm², 3 kgf/cm² dan variasi konsentrasi total solid 10%, 20%, 30% dan 40%.

Hasil dari penelitian diperoleh perhitungan dan analisa uji statistik pada variasi tekanan udara 2 kgf/cm² dan 3 kgf/cm² dan variasi konsentrasi total solid 10%, 20%, 30% dan 40% menunjukkan bahwa berpengaruh signifikan terhadap nilai laju pengumpanan, temperatur rata-rata *chamber*, kadar air, derajat keputihan, *wettability*, dan efisiensi produksi. Proses pengeringan yang optimum diperoleh pada variasi tekanan 2 kgf/cm² dan konsentrasi total solid 40% berdasarkan uji kadar air.

Berdasarkan uraian di atas dapat disimpulkan bahwa tekanan udara nosel berpengaruh signifikan pada laju umpan, pengurangan kadar air, temperatur rata-rata *chamber* dan kualitas hasil pengeringan sehingga proses pengeringan dapat berjalan secara optimal.

Sistem kerja alat *spray dryer* dalam proses pengeringan pada dasarnya mengacu pada konsep perpindahan panas dan massa. Proses perambatan panas ditunjukkan pada distribusi temperatur yang terjadi pada alat saat bekerja, sehingga distribusi temperatur menjadi parameter kritis dalam proses pengeringan. Purwanto dan Rohmat (2015) melakukan penelitian tentang kajian eksperimental biomasa sekam padi pada *cyclone burner*. *cyclone burner* merupakan teknologi pembakaran dengan memanfaatkan aliran pusar. Teknologi ini menggunakan sekam padi berbentuk bubuk sebagai bahan bakar pembakaran.

Penelitian ini juga mengkaji pengaruh variasi ukuran partikel biomasa, laju aliran biomasa, dan laju aliran udara terhadap temperatur di dalam ruang pembakaran.

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah melakukan pengamatan distribusi temperatur pembakaran menggunakan termokopel yang dipasang sebanyak 3 (tiga) titik ke arah aksial dan radial, proses memperoleh hasil berupa variasi ukuran partikel terdiri dari tiga tahap proses yaitu, proses pengeringan, reduksi ukuran partikel dan pengayakan. Proses pencampuran bahan bakar dengan udara terjadi di dalam ruang pembakaran *cyclone burner*.

Hasil dari penelitian ini diperoleh, ukuran bahan bakar semakin kecil menghasilkan temperatur pembakaran lebih optimum hingga mencapai temperatur 858°C pada AFR 8,37. Pembakaran bahan bakar terjadi secara berpusar sepanjang dinding ruang pembakaran dan konsentrasi campuran udara dengan partikel bahan bakar relatif sama sehingga menghasilkan pelepasan panas yang tidak jauh berbeda.

Berdasarkan penelitian penelitian diatas tentang kajian mengenai temperatur *inlet*, tekanan udara *nozzle* dan distribusi temperatur merupakan variabel variabel yang digunakan dalam penelitian penulis tentang pengaruh temperatur *inlet* udara dan tekanan udara *nozzle* terhadap distribusi temperatur pada *spray dryer*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui distribusi temperatur pada alat *spray dryer* agar dapat mempermudah pengoperasian *spray dryer* dalam proses pembuatan bubuk. Media yang digunakan dalam penelitian ini adalah air sebagai bahan fluida yang disemprotkan dengan *nozzle* yang berperan sebagai *atomizer* dengan variasi temperatur *inlet* yang berasal dari pemanas

yaitu 130°C, 160°C, 190°C, 220°C dan 250°C. Variasi tekanan udara udara yang digunakan pada penelitian ini yaitu 2 kgf/cm², 2,5 kgf/cm², 3 kgf/cm² 3,5 kgf/cm², dan 4 kgf/cm² dengan pengamatan distribusi temperatur menggunakan termokopel yang dipasang sebanyak 5 (lima) titik jarak yaitu 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm dan 25 cm yang diukur dari *chamber* bagian atas ke arah bawah secara vertikal pada dekat lubang *exhaust spray dryer* dengan interval waktu proses yang digunakan yaitu 3 menit, 5 menit, 7 menit, 9 menit dan 11 menit.

Desain alat *spray dryer* yang digunakan dalam penelitian ini meliputi sistem tekanan yang berasal dari kompresor untuk menekan fluida yang dialirkan ke *nozzle* untuk diatomisasikan dan dikontakkan dengan udara panas yang berasal dari pemanas (*heater*) sehingga terbentuk bubuk. Pemanas yang digunakan terdiri dari 2 (dua) jenis yaitu *heat gun* dan *heater band*. *Heat gun* berperan sebagai penyuplai udara panas untuk mengeringkan *droplets* (butiran cairan) sehingga terbentuk bubuk, sedangkan *heater band* berperan sebagai stimulan atau media panas tambahan yang menempel pada dinding tabung (*chamber*) agar proses pengeringan berlangsung optimal. Proses pembentukan bubuk berlangsung di dalam satu tabung *chamber* yang tersambung dengan *cyclone* menjadi satu. Alat *spray dryer* ini juga disertai sistem insulasi yang menyelimuti tabung (*chamber*) dengan tujuan menjaga kestabilan temperatur pada proses pengeringan dan mengurangi kehilangan panas yang terjadi pada saat proses.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pengertian Pengeringan

Pengeringan merupakan proses hilangnya kandungan air dalam suatu bahan. Menurut Syahrul *et al.*, (2016) pengeringan merupakan proses perpindahan panas dari sebuah permukaan benda sehingga kandungan air pada permukaan benda berkurang. Perpindahan panas dapat terjadi karena adanya perbedaan temperatur yang signifikan antara dua permukaan. Perbedaan temperatur ini ditimbulkan oleh adanya aliran udara panas di atas permukaan benda yang akan dikeringkan yang mempunyai temperatur lebih dingin. Alasan yang mendukung proses pengeringan dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme adalah untuk mempertahankan mutu produk terhadap perubahan fisik dan kimiawi yang ditentukan oleh perubahan kadar air, mengurangi biaya penyimpanan, pengemasan dan transportasi, untuk mempersiapkan produk kering yang akan dilakukan pada tahap berikutnya, memperpanjang umur simpan dan memperbaiki kegagalan produk. Produk kering dapat digunakan sebagai bahan tambahan dalam pembuatan produk baru.

2.2.2 Perpindahan panas

Menurut Murti (2008), dalam penelitiannya menjelaskan bahwa perpindahan panas didefinisikan sebagai sebagai perpindahan energi dari suatu daerah ke daerah lainnya sebagai akibat dari perbedaan temperatur antar daerah tersebut, Secara umum ada 3 (tiga) cara proses perpindahan panas yaitu :

a. Konduksi

Perpindahan panas konduksi merupakan perpindahan energi yang terjadi pada media padat atau fluida yang diam sebagai akibat dari perbedaan temperatur. Hal ini merupakan perpindahan dari partikel yang lebih enerjik ke partikel yang kurang enerjik pada benda akibat interaksi antar partikel-partikel. Energi ini dihubungkan dengan peragaan translasi, sembarang, rotasi dan getaran dari molekul-molekul. Temperatur lebih tinggi berarti molekul lebih berenergi memindahkan energi ke temperatur lebih rendah (kurang energi), untuk konduksi panas, persamaan aliran dikenal dengan Hukum Fourier.

Jika pada kondisi dinding datar, laju perpindahan panas satu dimensi adalah sebagai berikut :

$$q_{kond} = -k \cdot A \cdot dT/dx \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan :

q_{kond} = Besar laju perpindahan panas konduksi (W)

k = Konduktivitas termal bahan (W/m.K)

dT/dx = *Temperature gradient* (K/m)

A = Luasan permukaan perpindahan panas (m²)

(-) = Perpindahan panas dari temperatur tinggi ke tempratur rendah.

b. Konveksi

Perpindahan panas konveksi adalah suatu perpindahan panas yang terjadi antara suatu permukaan padat dan fluida yang bergerak atau mengalir akibat adanya perbedaan temperatur. Secara umum konveksi dapat dibedakan menjadi 3 (tiga) yaitu :

1. Konveksi bebas (*free convection*) atau *natural convection*, yaitu konveksi dimana aliran fluida terjadi bukan karena dipaksa oleh suatu alat, tetapi disebabkan karena gaya apung (*buoyancy force*).
2. Konveksi paksa (*force convection*), yaitu konveksi yang terjadi dimana aliran fluida disebabkan oleh peralatan bantu seperti *fan*, *blower* dan lain lain.
3. Konveksi dengan perubahan fase, yaitu sama seperti pendidihan (*boiling*) dan pengembunan (kondensasi)

Persamaan laju perpindahan panas konveksi, bila $T_s < T_\infty$ adalah :

$$q_{konv} = h A (T_w - T_\infty) \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan :

- q_{konv} = Besar laju perpindahan konveksi (W)
 h = Koefisien konveksi (W/m²K)
 A = Luasan permukaan perpindahan panas (m²)
 T_w = Temperatur permukaan (K)
 T_∞ = Temperatur fluida (K)

Persamaan di atas disebut dengan Hukum Newton tentang pendinginan atau *Newton's Law of Cooling*.

c. Radiasi

Radiasi termal adalah energi yang diemisikan oleh benda yang berada pada temperatur tinggi, dimana merupakan perubahan dalam konfigurasi elektron dari atom. Energi dari medan radiasi ditransportasikan oleh gelombang elektromagnetik atau lainnya. *Photon* berasal dari energi dalam sebuah elektron

yang memancar, pada perpindahan panas konduksi dan konveksi adalah mutlak membutuhkan media. Sedangkan pada perpindahan panas radiasi tidak diperlukan media. Kenyataannya panas radiasi lebih efektif terjadi pada ruang hampa.

Laju perpindahan panas *netto* radiasi dirumuskan sebagai berikut :

$$q_{rad} = \varepsilon \sigma A (T_s^4 - T_{sur}^4) \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan :

q_{rad} = Laju perpindahan panas radiasi (W)

ε = Emisivitas permukaan material

σ = Konstanta Stefan-Boltzmann

$$= 5,669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$$

A = Luasan permukaan benda (m^2)

T_s = Temperatur permukaan benda (K)

T_{sur} = Temperatur *surrounding* (K)

2.2.3 Aliran Fluida

Priyanto, (2008) dalam penelitiannya menjelaskan banyak kriteria yang dapat digunakan untuk mengklasifikasikan fluida sebagai contoh aliran dapat digolongkan sebagai aliran *steady* dan *unsteady*, satu, dua, atau tiga dimensi, seragam atau tidak seragam laminar atau turbulen dan dapat mampat atau tidak dapat mampat. Selain itu, aliran gas ada yang subsonik, transonik, supersonik atau hipersonik, sedangkan zat cair yang mengalir disalurkan terbuka ada yang sub kritis, kritis atau super kritis. Secara garis besar Menurut Munson *et al.*, (2003) aliran dapat dibedakan atau dikelompokkan jenis aliran adalah sebagai berikut :

a. Aliran tunak (*steady*)

Suatu aliran dimana kecepatannya tidak terpengaruh oleh perubahan waktu sehingga kecepatan konstan pada setiap titik (tidak mempunyai percepatan).

b. Aliran seragam (*uniform*)

Suatu aliran yang tidak terjadi perubahan baik besar maupun arah, dengan kata dengan kata lain tidak terjadi perubahan kecepatan dan penampang lintasan.

c. Aliran tidak tunak (*unsteady*)

Suatu aliran dimana terjadi perubahan kecepatan terhadap waktu.

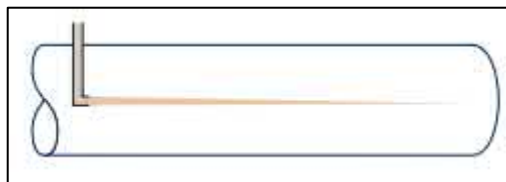
d. Aliran tidak seragam (*non uniform*)

Suatu aliran yang dalam kondisi berubah baik kecepatan maupun penampang berubah.

Klasifikasi berikutnya didasarkan pada aliran fluida di dalam pipa, yaitu :

a. Aliran Laminar

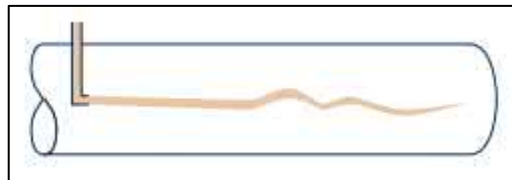
Aliran laminar didefinisikan sebagai aliran dengan fluida yang bergerak dalam lapisan-lapisan atau lamina lamina dengan satu lapisan meluncur secara lancar. Aliran laminar ini mempunyai nilai bilangan Reynoldnya kurang dari 2300, dalam aliran laminar ini viskositas berfungsi untuk meredam kecenderungan terjadinya gerakan relatif antara lapisan.



Gambar 2.1 Aliran Laminar

b. Aliran Transisi

Aliran transisi merupakan aliran peralihan dari aliran laminar ke aliran turbulen. Ketika kecepatan aliran itu bertambah atau viskositasnya berkurang (dapat disebabkan temperatur meningkat) maka gangguan-gangguan akan terus teramati dan semakin membesar serta kuat yang akhirnya suatu keadaan peralihan tercapai. Keadaan peralihan ini tergantung pada viskositas fluida, kecepatan dan lain-lain yang menyangkut geometri aliran dimana nilai bilangan Reynoldnya antara 2300 sampai dengan 4000.



Gambar 2.2 Aliran Transisi

c. Aliran Turbulen

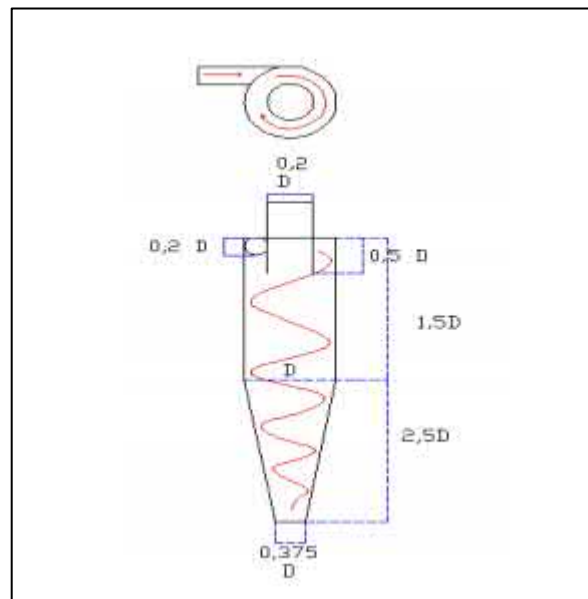
Aliran turbulen didefinisikan sebagai aliran yang dimana pergerakan dari partikel-partikel fluida sangat tidak menentu karena mengalami percampuran serta putaran partikel antar lapisan, yang mengakibatkan saling tukar momentum dari satu bagian fluida ke bagian fluida yang lain dalam skala yang besar di mana nilai bilangan Reynoldnya lebih besar dari 4000, dalam keadaan aliran turbulen maka turbulensi yang terjadi membangkitkan tegangan geser yang merata diseluruh fluida sehingga menghasilkan kerugian aliran.



Gambar 2.3 Aliran Turbulen

2.2.4 Teori *Cyclone* (Aliran Sentrifugal)

Revari *et al.*, (2012) menjelaskan prinsip kerja *cyclone* (separator) yaitu gas atau aliran fluida diinjeksikan melalui pipa *input*. Bentuk kerucut pada bagian *body cyclone* menyebabkan aliran gas atau fluida untuk berputar, menciptakan *vortex*. *Vortex* yaitu gerak alamiah yang terjadi pada suatu fluida yang diakibatkan adanya pengaruh parameter kecepatan dan tekanan. Partikel dengan ukuran atau kerapatan yang lebih besar didorong ke arah luar *vortex* menempel di dinding separator karena pengaruh gaya sentrifugal. Gaya gravitasi menyebabkan partikel-partikel tersebut jatuh ke sisi kerucut menuju tempat pembuangan. Partikel dengan ukuran atau kerapatan yang lebih kecil keluar melalui bagian atas dari *cyclone* melalui pusat yang bertekanan rendah. Gaya sentrifugal berpengaruh pada aliran yang masuk sehingga akan bergerak berputar spiral, karena adanya gaya momentum dan inersia yang menyebabkan partikulat terlepas dari aliran gas dan mengenai dinding *cyclone* yang menyebabkan partikulat jatuh ke bawah. Aliran udara yang masuk *cyclone* menjadi aliran turbulen sehingga partikel yang memiliki berat jenis lebih tinggi akan terlempar kebawah dan udara yang memiliki berat jenis ringan akan keluar dari atas *cyclone*.



Gambar 2.4 *Cyclone* (Revari *et al.*, 2012)

2.2.5 Teori *Mixing Chamber*

Mixing Chamber merupakan teori yang menjelaskan proses mencampur dua aliran cairan. Bagian di mana proses pencampuran berlangsung biasanya disebut sebagai ruang pencampuran. Ruang pencampuran tidak harus seperti ruang yang berbeda. Siku-T biasa atau siku-Y di pancuran, untuk misalnya, berfungsi sebagai ruang pencampur untuk aliran air dingin dan panas. Prinsip massa untuk ruang pencampuran mensyaratkan bahwa jumlah laju aliran massa yang masuk sama dengan laju aliran massa dari campuran yang keluar. Ruang pencampur biasanya terisolasi dengan baik ($q=0$) dan biasanya tidak melibatkan segala jenis usaha ($w=0$), juga energi kinetik dan potensial dari aliran fluida biasanya diabaikan, yang tersisa dalam persamaan energi adalah energi total dari

aliran yang masuk dan campuran keluar. Prinsip konversi energi mensyaratkan keduanya sama rata. Keseimbangan massa dan energi untuk sistem aliran tetap ini dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan (2.4) sampai dengan (2.7) sebagai berikut.

Keseimbangan massa :
$$\dot{m}_{in} - \dot{m}_{out} = \frac{dm_{system}}{dt}, \quad (dt = 0/steady) \dots \dots (2.4)$$

Keseimbangan Energi :
$$\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out} = \frac{d\dot{E}_{system}}{dt}, \quad (dt = 0/steady) \dots \dots (2.5)$$

$$\dot{E}_{in} = \dot{E}_{out} \dots \dots \dots (2.6)$$

$$\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_2 h_2 = \dot{m}_3 h_3 \dots \dots \dots (2.7)$$

Keterangan : \dot{m} = Laju aliran massa (kg/s)

h = Entalpi (kJ/kg)

\dot{E} = Energi (kW)

2.2.6 Hubungan Tekanan dan Temperatur

Penurunan tekanan digunakan untuk menurunkan titik didih cairan agar lebih rendah daripada titik didih air biasa pada tekanan normal yaitu 1 atm. Sehingga tanpa memerlukan temperatur yang tinggi, penguapan akan tetap berlangsung. Semakin rendah tekanan dalam ruang maka semakin tinggi transfer panas yang terjadi, sehingga pergerakan fluida semakin cepat (Tyas dan Wirosedarmo, 2014).

2.2.7 Efisiensi termal

Cengel dan Boles (2006) dalam bukunya menjelaskan bahwa efisiensi termal merupakan bagian *input* panas yang dikonversi menjadi *output* kerja bersih adalah ukuran kinerja mesin, Q_{out} mewakili besarnya energi yang terbuang untuk menyelesaikan siklus, tetapi Q_{out} tidak pernah nol, dengan demikian, hasil kerja bersih dari panas mesin selalu kurang dari jumlah *input* panas. Artinya, hanya sebagian dari panas yang ditransfer ke mesin panas dikonversi untuk bekerja, *output* yang diinginkan adalah *output* kerja bersih, dan *input* yang dibutuhkan adalah jumlah panas yang dipasok ke fluida kerja. Efisiensi termal dari mesin panas dapat dinyatakan pada persamaan (2.8) sebagai berikut :

$$\text{Efisiensi termal} = \frac{\text{Output kerja bersih}}{\text{Total panas input}} \dots\dots\dots(2.8)$$

2.2.8 Parameter pengeringan

Proses pengeringan pada fase pembentukan bubuk menggunakan *spray dryer* dipengaruhi oleh beberapa parameter proses dan hasil pengeringan, diantaranya sebagai berikut. Putri dan Hidayati (2016) mengungkapkan beberapa parameter proses menggunakan *spray dryer* :

a. Temperatur *Inlet*

Temperatur udara masuk (*inlet*) adalah temperatur udara panas yang dialirkan dengan kecepatan tinggi ke dalam ruangan pengeringan yang berfungsi untuk menguapkan kandungan air pada *droplets* cair hasil dari atomisasi. Peningkatan kapasitas produksi dan kualitas produk dapat dilakukan dengan meningkatkan temperatur *inlet* yang digunakan. Peningkatan temperatur *inlet* dapat mempercepat evaporasi kandungan air dari emulsi sehingga produk yang

dihasilkan lebih kering karena semakin banyak energi yang tersedia untuk menguapkan air. Peningkatan temperatur *inlet* juga mampu meningkatkan kapasitas produk yang diproduksi karena semakin cepat proses pengeringan emulsi yang terjadi. Peningkatan temperatur *inlet* pada kondisi proses pengeringan tidaklah selalu memberikan dampak positif, namun juga memberikan dampak negatif. Peningkatan temperatur *inlet* mampu mempengaruhi kualitas akhir produk.

b. Temperatur Outlet

Temperatur *outlet* adalah temperatur yang dikeluarkan dari dalam pengering untuk membawa air yang diuapkan oleh produk. Jika temperatur *outlet* terlalu rendah, partikel produk dalam ruang pengering tidak akan menjadi cukup kering, dan memungkinkan partikel lengket serta menyebabkan penyumbatan. Temperatur *inlet* diatur dengan cara melakukan peningkatan, maka pada temperatur *outlet* pengaturan yang dilakukan adalah penurunan temperatur *outlet*. Penurunan temperatur *outlet* yang digunakan selama proses pengeringan diharapkan dapat menghasilkan produk yang kualitasnya tetap bagus karena produk yang dihasilkan cepat dingin dan tidak mudah rusak. Peningkatan temperatur *outlet* menyebabkan pecahnya atau retaknya permukaan *powder*, dan menyebabkan kebocoran. Retak pada permukaan tersebut menyebabkan hilangnya kadar air pada *powder* dan digantikan dengan udara, yang mana hal tersebut akan menyebabkan menurunnya *bulk density*.

c. Total Different Pressure

Total Different Pressure adalah tekanan yang dihasilkan oleh fluida yang bergerak dan diukur dengan cara membandingkan jumlah fluida sesudah dan sebelum masuk ke *blower fan* dimana dengan perhitungan tersebut diharapkan dapat diketahui berapa jumlah udara yang digunakan untuk mengeringkan *powder*. Semakin banyak jumlah udara yang masuk ke dalam *chamber*, maka semakin kencang juga aliran *powder* di dalam *chamber*. Jika aliran *powder* di dalam *chamber* semakin kencang, hal ini menyebabkan *powder* cepat turun ke bawah dan dikhawatirkan *powder* belum kering sempurna sehingga menyebabkan terjadinya gumpalan di dalam *chamber*.

d. Pressure Nozzle

Pressure nozzle adalah besarnya tekanan yang digunakan untuk menyemprotkan emulsi menjadi *droplets* pada proses atomisasi. Letak *nozzle* ini berada di bagian atas *chamber*, semakin kecil *pressure nozzle* yang digunakan maka semakin kecil ukuran *droplet* (ukuran partikel) yang dihasilkan, dan semakin tinggi pula *bulk density powder* hal ini dikarenakan *bulk density powder* dipengaruhi oleh ukuran partikel.

Parameter pengeringan berikutnya adalah parameter yang berpengaruh pada hasil pengeringan, diantaranya sebagai berikut:

a. Kadar Air

Kadar air merupakan banyaknya air yang terkandung pada bahan yang dinyatakan dalam persen. Penghitungan kadar air berguna untuk mengetahui ketahanan suatu bahan yang akan disimpan dalam jangka waktu yang cukup lama (Lestari, 2010).

b. Bulk Density

Djaafar *et al.*, (2016) menjelaskan *bulk density* merupakan banyaknya massa bahan per satuan volume tertentu. *Bulk density* mengindikasikan kerapatan antar partikel bubuk, peningkatan temperatur *inlet* akan meningkatkan keruahan (*bulky*) bubuk. Hal ini disebabkan oleh semakin tingginya temperatur *inlet* pada proses *spray drying* maka partikel bubuk yang terbentuk semakin ringan dan kadar airnya menurun sehingga menyebabkan porositas intragranular bubuk menjadi tinggi.

c. Viskositas

Viskositas merupakan nilai kekentalan suatu bahan atau fluida yang digunakan dalam proses, Patel *et al.*, (2009) mengungkapkan bahwa viskositas yang tinggi menghalangi pembentukan *droplets*, apabila viskositas diturunkan, lebih sedikit energi atau tekanan diperlukan untuk membentuk semprotan.

2.2.9 Sifat-sifat bubuk pengeringan

Menurut penelitian yang dilakukan Parastiwi *et al.*, (2015) bubuk ekstrak pengeringan harus mudah dibasahkan dan dilarutkan air dan memiliki sifat :

a. Wettability

Wettability (keterbasahan) merupakan kemampuan bubuk ekstrak untuk menyerap air, tergantung ukuran partikel bubuk dan komposisi bubuk.

b. Sinkability

Sinkability adalah kemampuan bubuk ekstrak untuk tetap mengendap di bawah saat dicampur air tergantung dari densitas bubuk

c. *Disperability*

Disperability (Disperibilitas) merupakan kemampuan bubuk ekstrak untuk terdistribusi ke air tanpa pembentukan gumpalan.

d. *Solubility*

Solubility (kelarutan) kemampuan bubuk ekstrak untuk cepat larut dalam air, tergantung dari sifat fisik dan kimia dari bubuk ekstrak yang dihasilkan.

2.2.10 Mekanisme aliran fluida proses pengeringan

Mufarida (2016) dalam bukunya menjelaskan, selama proses pengeringan, perpindahan panas dan massa terjadi antara bahan padat dan gas pengering (udara). Pada awalnya, padatan memiliki kandungan air yang tinggi sehingga semua kapiler terisikan dengan cairan air dan seluruh permukaan padatan jenuh dengan air. Ketika benda basah dikeringkan secara termal, ada dua proses yang berlangsung secara simultan, yaitu:

1. Perpindahan energi dari lingkungan untuk menguapkan air yang terdapat di permukaan benda padat.

Perpindahan energi dari lingkungan ini dapat berlangsung secara konduksi, konveksi, radiasi, atau kombinasi dari ketiganya. Proses ini dipengaruhi oleh temperatur, kelembaban, laju dan arah aliran udara, bentuk fisik padatan, luas permukaan kontak dengan udara dan tekanan. Proses ini merupakan proses penting selama tahap awal pengeringan ketika air tidak terikat dihilangkan.

Penguapan yang terjadi pada permukaan padatan dikendalikan oleh peristiwa difusi uap dari permukaan padatan ke lingkungan melalui lapisan tipis udara.

2. Perpindahan massa air yang terdapat di dalam benda ke permukaan.

Ketika terjadi penguapan pada permukaan padatan, terjadi perbedaan temperatur sehingga air mengalir dari bagian dalam benda padat menuju ke permukaan benda padat. Struktur benda padat tersebut akan menentukan mekanisme aliran internal air.

Pencampuran antara udara pengering dengan *droplets* merupakan hal yang penting pada rancangan *spray dryer*. Pencampuran ini terjadi karena arah aliran antara *droplets* dan udara pengering. Arah aliran antara *droplets* dan udara pengering terdiri dari :

a. *Co-current flow dryer*

Aliran udara pengering dan *droplets* terjadi dalam satu arah yaitu udara pengering dialirkan dari atas ruang pengering searah dengan *droplets* yang disemprotkan oleh atomiser. Pada penelitian ini menggunakan konsep perancangan *spray dryer cocurrent flow dryer*.

b. *Counter-current flow dryer*

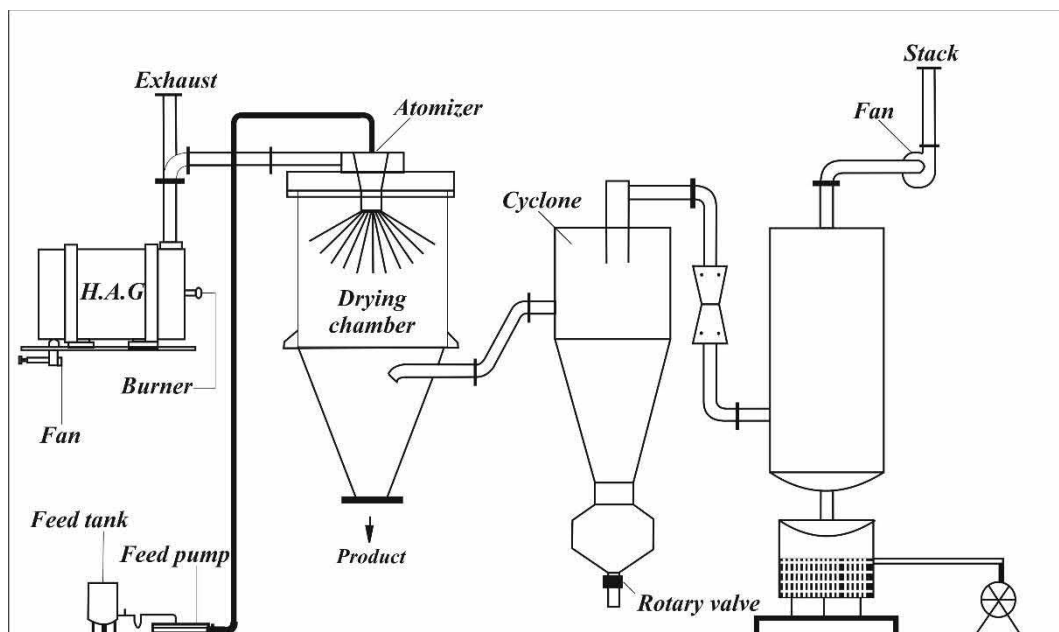
Aliran udara pengering dan *droplets* terjadi berlawanan arah yaitu udara pengering dialirkan dari bawah ruang pengering berlawanan arah dengan *droplets* yang disemprotkan oleh atomiser.

c. *Mixed flow dryer*

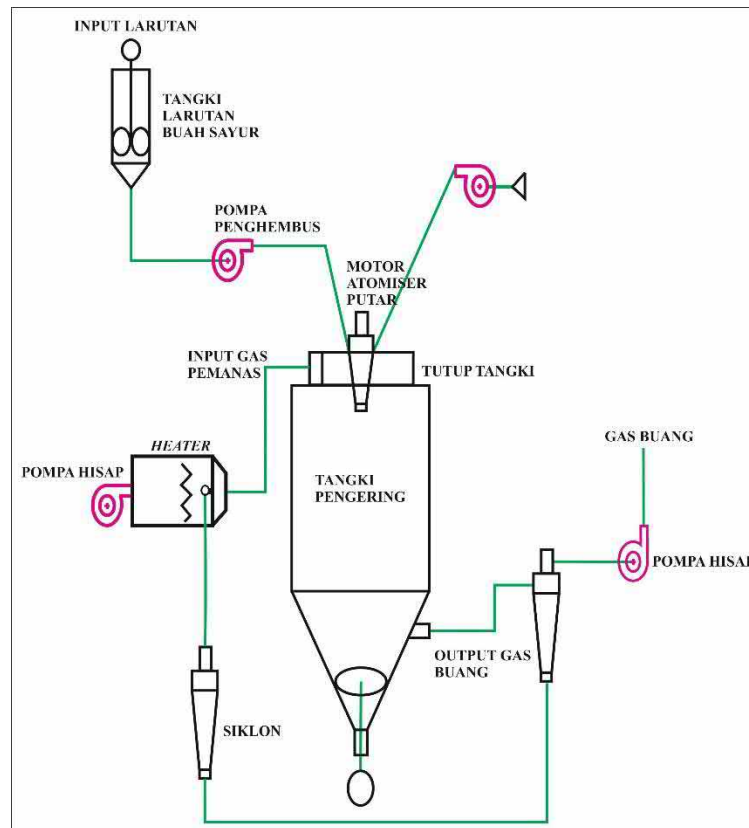
Aliran udara pengering masuk melalui bagian atas ruang pengering, sedangkan aliran *droplets* disemprotkan atomiser yang diletakkan di bagian bawah ruang pengering dengan arah ke atas.

2.2.11 Pengering Semprot (*Spray Dryer*)

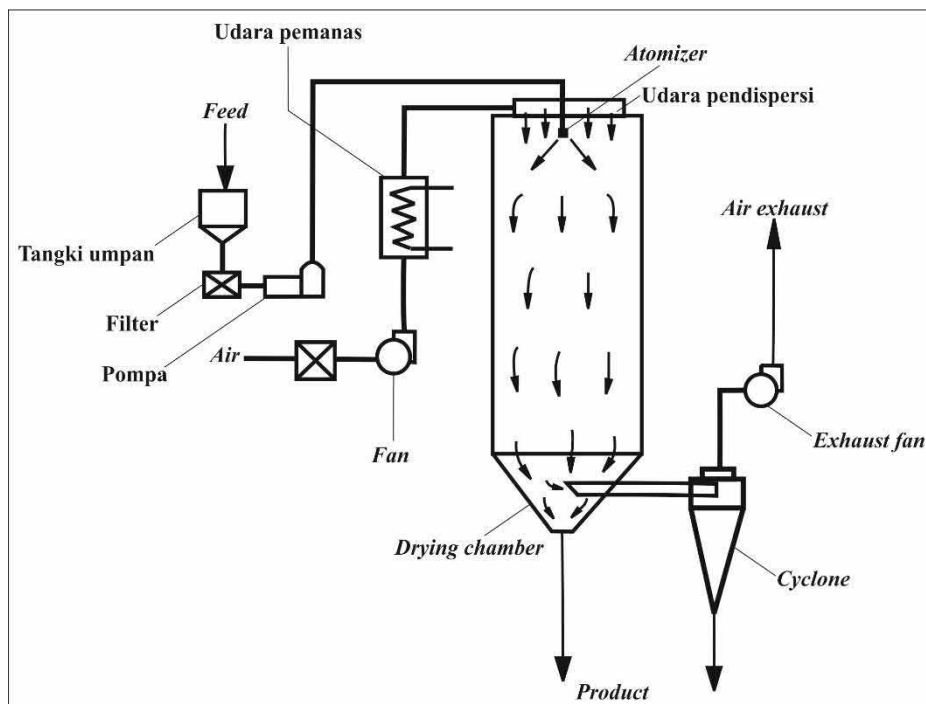
Spray dryer merupakan alat pengering yang digunakan untuk menghasilkan bahan berbentuk butiran halus (bubuk) dari bahan masukan yang berupa cairan (Fauzan, 2006). Pengertian *spray dryer* juga dijelaskan oleh Siddick dan Ganesh (2013) Pengeringan dengan semprotan didefinisikan sebagai transformasi cairan pakan ke dalam bentuk bubuk kering. Ini dicapai oleh atomisasi cairan ke dalam ruang pengering, di mana cairan tetesan dilewatkan melalui aliran udara panas. Berikut beberapa contoh desain mesin pengering semprot *spray dryer* :



Gambar 2.5 Mesin *Spray Dryer* (Siddick dan Ganesh, 2013)



Gambar 2.6 Rancangan Mesin *Spray Dryer* (Parastiwi *et al.*, 2015)



Gambar 2.6 Skema Alat *Spray Dryer* (Dewi *et al.*, 2015)

2.2.12 Komponen *Spray Dryer*

Secara fungsional alat pengering semprot (*spray dryer*) terdiri dari beberapa komponen utama yang terintegrasi menjadi satu sistem pada proses pengeringan, diantaranya sebagai berikut:

a. Pemanas Udara (*Heater*)

Heater berfungsi sebagai pemanas udara yang akan digunakan sebagai pengering. Panas yang diberikan harus diatur sesuai dengan karakteristik bahan, ukuran *droplets* yang dihasilkan dan jumlah *droplets*. Temperatur udara pengering yang digunakan diatur agar tidak terjadi *over heating*. Pemanas berfungsi untuk memanaskan udara yang akan digunakan untuk proses penguapan air dari bahan. Udara pengering selanjutnya dialirkan menuju ruang pengering melalui ruang distribusi udara panas. *Spray dryer* ini juga dilengkapi dengan termokontrol untuk mengatur temperatur udara yang akan digunakan sebagai pengering *droplets*. Bubuk yang telah kering jatuh ke bawah *drying chamber* (ruang pengering) dari atas *chamber* hingga mencapai dasar hanya memerlukan waktu selama beberapa detik.

b. Kompresor

Kompresor menghasilkan udara bertekanan yang berfungsi untuk menekan larutan dalam tangki dan udara menuju atomiser. Sistem tekanan pada *spray dryer* juga dilengkapi *pressure gauge* yang berfungsi untuk mengetahui besarnya nilai tekanan sistem saat alat bekerja.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis data yang sudah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Temperatur *inlet* udara yang digunakan dalam penelitian berpengaruh pada distribusi temperatur, semakin besar nilai temperatur *inlet* udara menyebabkan temperatur yang terdistribusi semakin meningkat, sehingga transfer panas di dalam ruang pengering semakin optimal.
2. Tekanan udara *nozzle* yang digunakan dalam penelitian berpengaruh pada distribusi temperatur, semakin tinggi tekanan udara *nozzle* menyebabkan temperatur yang terdistribusi semakin menurun, sehingga semakin rendah tekanan udara *nozzle* maka dapat mengoptimalkan distribusi temperatur.
3. Temperatur *inlet* udara berpengaruh pada efisiensi termal *spray dryer*, semakin besar nilai temperatur *inlet* udara maka semakin besar nilai efisiensi termal yang di hasilkan di dalam ruang pengering.
4. Tekanan udara *nozzle* berpengaruh pada efisiensi termal *spray dryer*, semakin meningkat nilai tekanan udara *nozzle* maka semakin besar efisiensi termal yang di hasilkan di dalam ruang pengering.

5.2 Saran

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan maka terdapat saran sebagai berikut :

1. Penelitian selanjutnya harus lebih memperhatikan faktor-faktor yang mempengaruhi distribusi temperatur.
2. *Heat gun* yang digunakan diganti menggunakan *heater* dan *blower* yang terpisah sehingga tidak terbatas pada kapasitas pemakaian.
3. Komponen yang mengalami kontak langsung dengan panas perlu di *upgrade material* menggunakan *stainless steel*.
4. Atomiser (*nozzle*) yang digunakan diganti dengan tipe otomatis dua input (cair dan udara) agar lebih memudahkan saat proses pengujian.
5. Sambungan (*flange*) antara ruang pengering dan siklon perlu dirapatkan, untuk mengantisipasi kebocoran.
6. Variasi nilai temperatur *inlet* udara dan tekanan udara *nozzle* diperbanyak dengan selisih angka yang digunakan tidak terpaut jauh, agar diperoleh data yang lebih rinci.
7. Interval waktu yang digunakan dalam pengujian sebaiknya diperpanjang sehingga dapat terlihat perubahan temperatur yang terdistribusi saat penelitian.
8. Untuk proses pengeringan yang ideal disarankan menggunakan variasi temperatur *inlet* udara 160°C-190°C dan tekanan udara *nozzle* 3,5 kgf/cm².

DAFTAR PUSTAKA

- Alfat, S dan A, Purqon. 2016. Efek Transfer Panas dan Massa Menggunakan Persamaan Luikof. *Prosiding Simposium Nasional Inovasi dan Pembelajaran Sains*. Bandung. 688-694.
- Cengel, Y. A dan M.A, Boles. 2006. *Thermodynamics An Engineering Approach*. Fifth Edition. MC Graw Hill, Inc. New York.
- Dewi, A. K., dan L, Satibi. 2015. Kajian Pengaruh Temperatur Pengeringan Semprot (Spray Dryer) Terhadap Waktu Pengeringan Dan Rendemen Bubuk Santan Kelapa (Coconut Milk Powder). *Jurnal Teknik Kimia* 4(0): 25-31.
- Dewi, A K., R. A, Nugrahani., dan L, Satibi. 2015. Kajian Pengaruh Temperatur Pengeringan Semprot (Spray Dryer) Terhadap Kadar Air Santan Kelapa Bubuk (Coconut Milk Powder). *Seminar Nasional Sains dan Teknologi*. 1-5.
- Dwika, R. T., T, Ceningsih, dan S. B, Sasongko. 2012. Pengaruh Suhu dan Laju Alir Udara Pengeriing pada Pengeringan Karaginan Menggunakan Teknologi Spray Dryer. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri* 1(1): 298-304.
- Fadholi, A. 2013. Study Pengaruh Suhu Dan Tekanan Udara Terhadap Operasi Penerbangan Di Bandara H.A.S. Hananjoeddin Buluh Tumbang Belitung Periode 1980-2010. *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya* 3(1): 1-10.
- Fauzan, A. (2006). Rekayasa Sistem Pengkabut Pada Mesin Penurun Kadar Air Madu. *Jurnal Teknik Mesin* 1(2): 125-127.
- Fernandes, R. V. D. B., S. V, Borges., V, Soraia., dan D. A, Brotel. 2013. Influence of Spray Drying Operating Condition on Microencapsulated Rosemary Esssential Oil Properties. *Jurnal Sains dan Teknologi Pangan* 33(1):171-178.
- Kumalla, M. L., H. S, Sumardi dan M. B, Hermanto. 2013. Uji Performansi Pengeriing Semprot Tipe Buchi B-290 pada Proses Pembuatan Tepung Santan. *Jurnal Bioproses Komoditas Tropis* 1(1): 44-53.
- Lestari, O. 2010. Kajian Produksi Tanin Bubuk dari Gambir Asalan Dengan Pengeriing Semprot (Spray Dryer). *Skripsi*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Lisboa, H. M., M. E, Duarte., E, Maria., dan M. E, Cavalcanti-Mata. 2017. Modeling Of Food Drying Processes In Industrial Spray Dryers. *Jurnal Pengolahan Makanan dan Bioproduk* 107(1): 49-60.
- Manurung, S. E. R. 2014. Analisis Pengaruh Variasi Tekanan Udara Nosel Dan Konsentrasi Total Padatan Bahan Terhadap Sifat Fisik Susu Bubuk Pada Pengeringan Susu Sapi dengan Spray Dryer. *Tesis*. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
- Maulina, C. A., A, Rossarah., dan M, Djaeni. 2013. Aplikasi Spray Dryer untuk Pengeringan Larutan Garam Amonium Perklorat Sebagai Bahan Propelan. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri* 2(4): 84-92.

- Mufarida, N A. 2016. Perpindahan Panas dan Massa pada Spray Dryer. Edisi Pertama. Cetakan Pertama. Jember: Pustaka Abadi.
- Munson, B. R., D.F, Young dan T.H, Okiishi. 2003. Fundamentals of Fluids Mechanics. Fourth Edition. Jhon Wiley & Sons, Inc. Iowa.
- Murti, M. R. 2008. Laju Pembuangan Panas radiator dengan Fluida Campuran 80% air dan 20% RC pada RPM Konstan. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin* 2(1): 4-9.
- Priyadi, M. H. B., T. A, Afifi, S. B, Sasongko. (2012). Pemanfaatan Zeolit Alam Untuk Pengeringan Karaginan dengan Spray Dryer. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri* 1(1): 417-423.
- Nugroho, B. A. 2010. Pasar Susu Dunia dan Posisi Indonesia. *Jurnal Ilmu-ilmu Peternakan*, 20(1) :65-76.
- Nurhayati, V. 2014. Analisis Pengaruh Variasi Suhu Udara Inlet dan Tekanan Nosel Pada Spray Dryer terhadap Sifat Fisik Bubuk Wortel (*Daucus Carota L.*) yang di Enkapsulasi dengan Maltodekstrin. *Tesis*. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
- Parastiwi, A., C, Rahmad., E, Hendri, S., dan Ekojono. 2015. Bubuk Ekstrak Buah dan Sayur: Teknologi Produksi Menggunakan Metode Spray Drying. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Aplikasi*. Malang. A25-A28.
- Paryanto., R, Kridyantoro., dan Y. S, Prabowo. 2015. Pembuatan Zat Warna Alami Berbentuk Bubuk (Powder) Dari Biji Kesumba (*Bixa Orellana*). *Jurnal Ekuilibrium* 14(1): 13-16.
- Patel, R. P., M. P Patel., dan A. M, Suhtar. 2009. Spray Drying Technology: an overview. *Jurnal Pengetahuan dan teknologi* 2(10): 44-47.
- Pinalia, A., B, Priyanto., dan R. R, Puspitasari. 2017. Pengaruh Surfaktan Dalam Proses Rekrystalisasi Ap terhadap Ukuran Partikel. *Seminar Nasional Iptek Penerbangan dan Antariksa*. Bandung. 402-406.
- Purwanto, S dan T. A, Rohmat. 2015. Kaji Eksperimental Biomasa Sekam Padi Pada Cyclone Burner. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi*. Jakarta. 1-6.
- Putri, H. L. R dan A, Hidayati. 2016. Pengendalian Kualitas Non Dairy Creamer Pada Kondisi Proses Pengeringan Semprot Di Pt. Kievit Indonesia, Salatiga: Kajian Pustaka. *Jurnal Pangan dan Agroindustri* 4(1): 443-448.
- Priyanto, E. S. 2008. Analisa Aliran Fluida pada Pipa Acrylic Diameter 12,7 mm (0,5 Inchi) dan 38,1 mm. *Skripsi*. Jakarta: Universitas Gunadarma.
- Revvari, R., I.M, Ariana., dan A, Zuhdi M.F. 2012. Rancang Bangun Alat Pereduksi Particulate Matter (PM) Gas Buang Mesin Diesel dengan Metode Cyclone. *Jurnal Teknik ITS* 1(1): 292-296.
- Siddick, S.A dan D, Ganesh S. 2013. Spray Drying Parameters For The Maximum Recovery Of Fruit Powder From Different Tomato Varieties Grown In Dindigul District. *Jurnal Internasional Publikasi Ilmiah dan Penelitian* 3(2): 1-2.

- Soedjono, D. M. E dan J, Sarsetyo. 2006. Pengaruh Posisi Difuser dan Variasi Kecepatan Udara Masuk terhadap Distribusi Temperatur Ruang Terkondisi (Sebuah Studi Numerik). *Jurnal Teknik Mesin* 8(1): 1-7.
- Sonone, E. V. S., A, Dr. Prakash., dan D. V. P, Kad. 2016. Effect of Spray Dryer Parameters on Different Properties of Fruit Juice Powder. *Jurnal Teknik Canggih* 2(8): 1301-1312.
- Srihari, E., F. S, Lingganingrum., D, Damayanti, dan N, Fanggih. 2015. Ekstrak Bawang Putih Bubuk dengan Menggunakan Proses Spray Drying. *Jurnal Teknik Kimia* 9(2): 62-68.
- Sugiyono. 2014. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan Kombinasi (Mixed Methods)*. Bandung: Alfabeta.
- Syahrlul, R. R. 2016. Pengaruh Variasi Kecepatan Udara Dan Massa Bahan Terhadap Waktu Pengeringan Jagung Pada Alat Fluidized Bed. *Jurnal Dinamika Teknik Mesin* 6(2):119-126.
- Taqwim, R. N. A. 2014. Desain Dan Pembuatan Ultrasonic Spray Dryer Untuk Produksi Garam Halus Skala Laboratorium. *Jurnal Teknik Mesin* 15(2): 213-226.
- Tyas, M.W., dan A. T. S. H. R, Wirosodarmo. 2014. Analisis Nomografi Suhu, Laju Penguapan Dan Tekanan Udara pada Alat Desalinasi Tenaga Surya dengan Pengaturan Vakum. *Jurnal Sumber Daya Alam dan Lingkungan*. 1(3): 55-61.
- Yanti, L dan Widyastutik. 2012. Daya Saing Produk Turunan Susu Indonesia di Pasar Dunia. *Jurnal Manajemen & Agribisnis* 9(3): 183-193.