

**PENGERINGAN PASTA SUSU KEDELAI MENGGUNAKAN  
PENGERING UNGGUN TERFLUIDAKAN PARTIKEL INERT**



**TESIS**

**Untuk memenuhi persyaratan  
mencapai derajat S-2**

**Dosen Pembimbing :**

**Dr. Ing. Suherman, ST, MT**

**Disusun Oleh :**

**Hanny Vistanty L4C008008**

**MAGISTER TEKNIK KIMIA  
PROGRAM PASCA SARJANA  
UNIVERSITAS DIPONEGORO  
2010**

## **ABSTRAK**

Susu kedelai merupakan pengganti susu sapi yang sangat ekonomis, selain memiliki sedikit lemak jenuh dan non kolesterol. Kini banyak permintaan produk susu kedelai dalam bentuk bubuk, karena memiliki umur yang lebih lama, biaya transportasi dan biaya penyimpanan lebih rendah, sehingga lebih mudah didistribusikan ke berbagai daerah. Pada penelitian ini digunakan pengering unggun terfluidakan partikel inert untuk memperoleh susu bubuk kedelai, dimana metode ini membutuhkan biaya investasi dan operasi yang lebih rendah jika dibandingkan pengering spray dryer. Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan pengaruh suhu udara, laju alir udara, dan konsentrasi umpan terhadap laju pengeringan dan kualitas produk bubuk yang dihasilkan. Variabel percobaan meliputi suhu udara (40, 50, 60, 70, 80°C), laju alir udara (0,025; 0,030, 0,035, 0,040, 0,045 kg/det), dan kadar air awal umpan (18, 19, 20, 21, 22%). Hasil penelitian menunjukkan peningkatan laju pengeringan dengan semakin naiknya suhu dan laju alir udara pengering, serta konsentrasi umpan. Efisiensi produksi bubuk mengalami peningkatan dengan naiknya suhu dan laju alir udara pengering, serta kadar air awal umpan. Wetabilitas dan dispersibilitas bubuk masih perlu ditingkatkan, sedangkan flowabilitas dan kohesivitas bubuk sudah cukup baik..

Kata kunci : bubuk, partikel inert, pengering unggun terfluidakan, susu kedelai

## **ABSTRACT**

*Soy milk is an economical alternative to dairy milk, with low saturated fat and non cholesterol. Nowadays, there are more demands on soy milk powder, for having a longer shelf life, low transportation and storage cost, and easier to be distributed to various area. In this research, fluidized bed particle inert dryer is used to obtain soy milk powder, in which, compared to spray dryer, it needs lower investment and operational cost. The aim of this study is to investigate the influence of gas temperature and flowrate, and initial moisture content of feed on the drying rate and to examine the quality of powder obtained. Variable of this study consists of gas temperature (40, 50, 60, 70, 80°C), gas flowrate (0,025; 0,030, 0,035, 0,040, 0,045 kg/s), and initial moisture content of feed (18, 19, 20, 21, 22%). The result shows an increase in drying rate with increasing gas temperature and flowrate, and initial moisture content of feed. Efficiency of the powder production increases with increasing gas temperature and flowrate and initial moisture content of feed. The wettability and dispersibility of powder needs to be improved, while its flowability and cohesivity is good.*

*Keywords : fluidized bed dryer, inert particle, powder, soy milk*

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1. Latar Belakang

Umumnya, susu adalah cairan berwarna putih buram yang dihasilkan dari kelenjar susu mamalia. Komponen susu bervariasi, tergantung pada spesiesnya, yang secara garis besar mengandung lemak, protein, kalsium, serta vitamin C. Namun, istilah susu juga digunakan untuk minuman berwarna putih dan/atau berasa seperti susu yang berasal dari non-hewan, seperti susu kedelai, susu beras, susu almond, dan susu kelapa.

Susu kedelai merupakan larutan yang dibuat dari kacang kedelai. Susu kedelai merupakan emulsi stabil dari lemak, air, dan protein, yang diperoleh dengan cara merendam kacang kedelai kering dan menggilingnya dengan air. Komposisi nutrisi, tampilan, dan kualitasnya nyaris sama dengan susu sapi. Susu kedelai sangat populer di berbagai negara di Asia, dan beberapa tahun belakangan ini juga menarik minat pasar yang semakin meningkat di kawasan Eropa dan Amerika karena susu kedelai memiliki kandungan nutrisi yang sangat tinggi. Susu kedelai merupakan pengganti susu sapi yang sangat ekonomis, karena hanya memiliki sedikit lemak jenuh dan non kolesterol, sehingga akan mengurangi risiko penyakit jantung. Keuntungan yang utama adalah bagi mereka yang memiliki intoleransi terhadap laktosa atau alergi susu. Selain itu, susu kedelai juga dapat digunakan sebagai pengganti ASI bagi bayi yang menderita galaktosemia. Susu kedelai juga mengandung lesitin, vitamin E, dan isoflavon yang menguntungkan bagi kesehatan. Kandungan susu kedelai sebagian besar adalah protein, zat besi, asam lemak tak jenuh, dan niacin, namun rendah akan lemak, karbohidrat, dan kalsium jika dibandingkan dengan susu dari sapi dan ASI (Liu, 1997).

Susu kedelai juga diutamakan sebagai makanan sehat karena bebas kolesterol dan lactose dan mengandung *phytochemical*. Dianjurkan bagi mereka yang alergi protein susu atau intoleransi terhadap *lactose* untuk mengkonsumsi susu kedelai (Liu, 1997). Selanjutnya, banyak permintaan

produk susu kedelai dalam bentuk bubuk, karena produk dalam bentuk bubuk kering memiliki umur yang lebih lama, biaya transportasi dan penyimpanan lebih rendah rendah, dan akan lebih mudah didistribusikan ke berbagai daerah. Dengan demikian, dibutuhkan suatu proses untuk memproduksi susu bubuk kedelai kering yang mudah larut tanpa menghilangkan nutrisinya.

Selama ini, teknologi *spray dryer* paling banyak digunakan secara komersial untuk metode pengeringan susu karena waktu kontak panas yang dibutuhkan sangat singkat dan laju pengeringan yang diperoleh tinggi (Liu, 1997; Wijeratne, 1993). Akan tetapi, teknologi *spray dryer* membutuhkan biaya tinggi karena membutuhkan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan pengering unggun terfluidakan (Mujumdar, 1995). Selain itu, pengeringan *spray* akan menimbulkan keterbatasan jika bahan baku yang ingin dikeringkan memiliki sifat yang lengket, karena produk akan menempel pada permukaan alat atau terjadi penggumpalan (Jinapong dkk., 2008).

Dengan adanya keterbatasan dan kekurangan dari metoda pengeringan dengan menggunakan *spray dryer*, dalam proposal ini diajukan gagasan untuk memproduksi susu bubuk dengan menggunakan metode pengeringan unggun terfluidakan (*fluidized bed*) inert partikel. Teknologi ini dapat digunakan juga untuk umpan lain yang berupa pasta atau larutan untuk kemudian diubah menjadi bentuk bubuk. Dibandingkan *spray dryer*, teknologi unggun terfluidakan inert partikel membutuhkan biaya yang lebih rendah, dengan tingkat kualitas produk yang sama.

## **1.2. Perumusan Masalah**

Penelitian sebelumnya telah menggunakan pengering unggun terfluidakan partikel inert untuk mengeringkan beberapa jenis slurry, yaitu slurry fungisida Zineb, tembaga hidroksida, dan kalsium karbonat (Grbavcic dkk, 2004). Studi ini mempelajari pengaruh dari berbagai kondisi operasi, yaitu diameter partikel inert, kecepatan superfisial udara dan suhu udara terhadap kinerja pengering, yaitu laju penguapan air spesifik, konsumsi panas spesifik, dan konsumsi udara spesifik, serta kualitas produk, yaitu moisture content dan distribusi ukuran partikel. Hasilnya menunjukkan bahwa laju

penguapan yang terjadi sangat tinggi, konsumsi panas spesifik dan konsumsi udara spesifik menurun dengan adanya peningkatan perbedaan temperatur udara masuk dan keluar. Namun penelitian tersebut belum berhasil melakukan pengeringan pada bahan-bahan organik, seperti kalsium stearat, asam tartarik, yeast, pulp tomat, telur mentah, dan starch. Dilaporkan bahwa setelah beberapa menit proses pengeringan berlangsung, terjadi fenomena *channeling*.

Untuk umpan susu kedelai cair, Pan dkk (2001) telah melakukan penelitian dengan menggunakan pengering vibro-fluidized bed partikel inert. Parameter yang dipelajari adalah pengaruh dari suhu udara masuk, kecepatan udara superfisial udara, dan laju umpan terhadap pressure-drop bed, hold-up produk dan koefisien perpindahan panas. Hasilnya menunjukkan bahwa koefisien perpindahan panas menurun dengan adanya kenaikan suhu udara masuk dan naik dengan meningkatnya laju umpan & kecepatan udara masuk. Sedangkan, material hold-up mengalami penurunan dengan semakin meningkatnya suhu udara masuk. Mereka juga melaporkan terjadinya “*dead bed*” pada laju umpan di atas nilai tertentu (30 ml/menit), yang disebut dengan *clogging point*.

Akan tetapi belum ada penelitian yang mempelajari pengeringan susu kedelai dengan menggunakan unggun pengering terfluidakan partikel inert. Oleh karena itu, penelitian ini akan mempelajari pengeringan susu kedelai dalam bentuk pasta dengan menggunakan pengering unggun terfluidakan partikel inert. Parameter yang akan dikaji adalah pengaruh dari kecepatan superfisial dan suhu udara serta kadar air awal umpan terhadap performance pengering dan kualitas produk yang dihasilkan.

### **1.3. Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Menentukan pengaruh dari suhu dan kecepatan superfisial udara pengering serta kadar air awal umpan terhadap laju pengeringan dan efisiensi produksi bubuk.
2. Mengkaji kualitas produk yang dihasilkan, yaitu analisa proksimat, wetabilitas & dispersibilitas, serta flowabilitas & kohesivitas dari susu kedelai bubuk.

### **1.4. Manfaat Penelitian**

Penelitian ini merupakan kajian eksperimental yang hasilnya berupa data-data proses konversi susu kedelai pasta menjadi produk susu kedelai bubuk. Hasil dari penelitian ini dapat diaplikasikan pada perancangan *pengering unggun terfluidakan* skala industri dan dapat dijadikan referensi untuk penelitian pengembangan di masa depan.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Susu Kedelai

Di Indonesia, kedelai menjadi sumber gizi protein nabati utama, meskipun Indonesia harus mengimpor sebagian besar kebutuhan kedelai. Pemanfaatan utama kedelai adalah pada bijinya. Biji kedelai kaya akan protein dan lemak serta beberapa bahan gizi penting lainnya, misalnya vitamin dan lesitin. Komposisi kacang kedelai selengkapnya dapat dilihat pada tabel 1. Olahan bijinya dapat dibuat menjadi tahu (tofu), bermacam-macam saus penyedap (salah satunya kecap, yang aslinya dibuat dari kedelai hitam), tempe, susu kedelai (baik bagi orang yang sensitif laktosa), tepung kedelai, minyak (dari sini dapat dibuat sabun, plastik, kosmetik, resin, tinta, krayon, pelarut, dan biodiesel, dll).

Tabel 1. Komposisi kacang kedelai mentah

<i>Komposisi</i>	<i>Jumlah</i>
Protein	36,49 g
Lemak	19,94 g
Karbohidrat	30,16 g
Vitamin C	6,0 mg
Vitamin B6	0,377 mg
Vitamin K	47 µg
Vitamin A	1 µg
Air	8,54 g

*Sumber : Buku Panduan Teknologi Pangan, LIPI, 1993*



Susu kedelai merupakan larutan sari kacang kedelai yang kaya akan protein larut air, karbohidrat, dan minyak. Komposisi nutrisi, tampilan, dan kualitasnya nyaris sama dengan susu sapi. Susu kedelai sangat populer di berbagai negara di Asia, dan beberapa tahun belakangan ini juga menarik minat pasar yang semakin meningkat di kawasan Eropa dan Amerika karena susu kedelai memiliki kandungan nutrisi yang sangat tinggi. Susu kedelai merupakan pengganti susu sapi yang sangat ekonomis, karena hanya memiliki sedikit lemak jenuh dan non kolesterol, sehingga akan mengurangi risiko penyakit jantung. Komposisi dari susu kedelai cair bisa dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi susu kedelai dan susu sapi cair

Komposisi	Susu kedelai (%)	Susu sapi (%)
Protein	4,40	3,30
Lemak	2,50	3,40
Karbohidrat	3,80	4,90
Vitamin C	0,04	1,00
Vitamin B1	0,02	0,03
Vitamin K	0,02	0,02
Air	88,60	87,30

*Sumber : Buku Panduan Teknologi Pangan, LIPI, 1993*

Tidak seperti susu sapi, susu kedelai bebas laktosa dan bisa dikonsumsi oleh penderita intoleran laktosa (Liu, 1997; Pomeranz, 1991). Selain itu, susu kedelai juga dapat digunakan sebagai pengganti ASI bagi bayi yang menderita galaktosemia. Susu kedelai juga mengandung lesitin, vitamin E, dan isoflavon yang menguntungkan bagi kesehatan. Kandungan dari susu kedelai sebagian besar adalah protein, besi, asam lemak tidak jenuh, dan niacin, namun rendah akan lemak, karbohidrat, dan kalsium jika dibandingkan dengan susu dari sapi dan ASI (Liu, 1997).

Susu kedelai juga diutamakan sebagai makanan sehat karena bebas kolesterol dan lactose dan mengandung *phytochemical*. Dianjurkan bagi mereka yang alergi protein susu atau intoleransi terhadap *lactose* untuk mengkonsumsi susu kedelai (Liu, 1997). Selanjutnya, banyak permintaan produk susu kedelai dalam bentuk kering. Produk dalam bentuk bubuk kering sangat diinginkan karena memiliki umur yang lama, biaya transportasi dan penyimpanan yang rendah, dan produk dapat disalurkan ke berbagai daerah yang jauh. Dengan demikian, proses untuk memproduksi susu bubuk kedelai kering yang mudah larut dan tanpa kehilangan nutrisi yang bergizi sangat diinginkan. Untuk komposisi susu bubuk kedelai dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Komposisi susu kedelai dan susu sapi bubuk

Komposisi	Susu kedelai (%)	Susu sapi (%)
Protein	40,65	26,34
Lemak	18,15	29,17
Karbohidrat	31,60	36,09
Air	2,61	2,29
Abu	6,69	6,11

Sumber : Buku Panduan Teknologi Pangan, LIPI, 1993

## 2.2. Sifat Komponen Susu Kedelai

### Protein

Protein merupakan senyawa makro-molekul yang terdiri atas sejumlah asam amino yang dihubungkan dengan ikatan peptida. Jika ikatan peptid tersebut terdiri dari dua asam amino maka disebut dengan dipeptida, dan jika dari tiga, empat, atau lima peptida, maka disebut dengan tripeptida, peptapeptida, dan penta peptida. Jika ikatan peptida tersebut lebih dari dua ikatan maka secara umum dapat dinamakan sebagai polipeptida.

Atas dasar susunan asam amino serta ikatan-ikatan yang terjadi antara asam amino dalam suatu molekul protein, struktur protein bisa dibedakan menjadi 4 macam, yaitu struktur primer, sekunder, tersier, dan kuarter.

Protein sering mengalami perubahan sifat setelah mengalami perlakuan tertentu, meskipun sangat sedikit ataupun ringan dan belum menyebabkan terjadinya pemecahan ikatan kovalen atau peptida. Perubahan ini disebut dengan denaturasi protein. Denaturasi protein melibatkan rusaknya struktur sekunder dan tersier namun tidak cukup kuat untuk memecahkan ikatan peptida, sehingga struktur primer protein (rangkaian asam amino) tetap sama.

Denaturasi protein dapat terjadi dengan berbagai macam perlakuan, antara lain dengan perlakuan panas, pH, garam dan tegangan permukaan. Suhu mulai terjadinya denaturasi sebagian besar protein terjadi berkisar antara 70-75°C. Setelah mengalami denaturasi, protein akan mengendap, karena gugus-gugus yang bermuatan positif dan negatif dalam jumlah yang sama atau netral atau dalam keadaan titik isoelektrik. Oleh karena itu, kita bisa mengamati adanya presipitasi atau koagulasi protein. Terjadi pemutusan ikatan hidrogen, interaksi hidrofobik dan ikatan garam sehingga molekul protein tidak memiliki lipatan lagi. Protein yang mengalami denaturasi juga akan mengalami perubahan seperti naiknya viskositas (karena mol menjadi asimetris dan hilangnya lipatan) dan meningkatnya rotasi optis larutan protein (Ophardt, 2003).

### Karbohidrat

Karbohidrat adalah polihidroksil-aldehid atau polihidroksil-ke-ton. Bentuk molekul karbohidrat paling sederhana terdiri dari satu molekul gula sederhana yang disebut monosakarida, misalnya glukosa, galaktosa, dan fruktosa. Banyak karbohidrat merupakan polimer yang tersusun dari molekul gula yang terangkai menjadi rantai yang panjang serta dapat pula bercabang, disebut dengan polisakarida, misalnya pati, kitin, dan selulosa. Selain monosakarida dan polisakarida, terdapat pula disakarida (rangkaian dua monosakarida) dan oligosakarida (rangkaian beberapa monosakarida). Selama perlakuan panas, seperti *blanching*, pendidihan, atau pengalengan bahan makanan, kandungan karbohidrat dengan berat molekul rendah (yaitu mono dan disakarida) di dalamnya akan menurun, seperti juga mikronutrien (Fox dkk., 2008).

## Lemak

Lemak tersusun atas sekelompok senyawa yang umumnya terlarut dalam solven organik dan sangat tidak terlarut dalam air. Lemak merupakan triester dari gliserol dan asam lemak. Lemak dapat berbentuk padat atau cair pada suhu kamar, tergantung pada struktur dan komposisinya. Sifat dari molekul lemak tergantung pada asam lemak yang menyusunnya. Asam lemak memiliki jumlah atom karbon dan hidrogen yang berbeda-beda. Semakin banyak atom karbonnya, maka akan semakin panjang rantai molekulnya. Asam lemak dengan rantai panjang akan lebih rentan terhadap gaya tarik antar molekul (gaya van der Waals), sehingga akan meningkatkan titik lelehnya (Vasic dkk., 1995).

Asam lemak tak jenuh yang telah mengalami pemrosesan bisa berubah menjadi asam lemak jenuh dengan adanya reaksi hidrogenasi, dimana bentuknya juga akan berubah menjadi padat pada suhu ruang. Ketika asam lemak tak jenuh diubah dengan adanya hidrogenasi parsial, asam lemak tersebut akan terkonversi menjadi asam lemak jenuh, yang akan berefek pada lurusnya rantai dan berubahnya sifat fisik molekul. Hidrogenasi akan meningkatkan titik leleh lemak dan memperlambat ketengikan. Proses hidrogenasi pada umumnya terjadi pada suhu tinggi dan terjadi dengan adanya gas hidrogen (Vasic, dkk, 1995).

### **2.3. Proses Pembuatan Susu Kedelai Bubuk**

Selama ini, teknologi *spray dryer* paling banyak digunakan secara komersial untuk metode pengeringan susu karena waktu kontak panas yang sangat singkat dan laju yang tinggi (Liu, 1997; Wijeratne, 1993). Akan tetapi, teknologi *spray dryer* membutuhkan biaya tinggi karena adanya sistem vakum (Mujumdar, 1995). Selain itu, pengeringan spray memiliki keterbatasan jika bahan baku memiliki sifat yang lengket, sehingga produk akan menempel pada permukaan peralatan atau terjadi penggumpalan (Jinapong dkk., 2008).

Selain itu, penelitian sebelumnya juga telah meneliti proses produksi bubuk susu kedelai melalui 3 tahapan proses, yaitu ultrafiltrasi, spray drying

dan aglomerasi unggun terfluidakan (Jinapong dkk., 2008). Proses ultrafiltrasi dilakukan untuk meningkatkan konsentrasi susu kedelai, sebagai alternatif dari proses evaporasi konvensional, karena proses ini merupakan proses yang non termal. Selain itu, ultrafiltrasi juga dilakukan untuk menghilangkan komponen-komponen berat molekul rendah yang bersifat anti-nutrisional, seperti oligosakarida dan asam phytic (Ang dkk., 1986; Omosaiye dkk., 1978). Proses selanjutnya, yaitu pengeringan spray merupakan metode komersial yang paling banyak digunakan dalam mengeringkan susu. Sedangkan untuk proses terakhir, yaitu aglomerasi, bisa didefinisikan sebagai proses pembesaran ukuran, dimana material awal yang berbentuk partikel halus seperti debu akan saling bergabung atau terikat satu sama lain, sehingga menghasilkan struktur agregat berpori yang berukuran jauh lebih besar daripada material awal (Ortega-Rivas, 2005; Parikh dkk., 1997; Schuchmann, 1995). Akan tetapi hasil bubuk susu kedelai yang dihasilkan terlalu besar sehingga sulit larut dalam air, khususnya dengan energi mekanis yang minimum. Ketika didispersikan, partikel bubuknya akan mengambang ke permukaan atau mengendap ke bagian bawah wadah pada satu periode waktu tertentu.

Oleh karena itu, saat ini berkembang teknologi untuk memproduksi susu bubuk dengan menggunakan pengeringan unggun terfluidakan (*fluidized bed*) inert partikel. Teknologi ini dapat digunakan juga untuk umpan lain yang berupa pasta atau larutan untuk kemudian diubah menjadi bentuk bubuk. Dibandingkan *spray dryer*, teknologi unggun terfluidakan inert partikel memiliki biaya yang lebih rendah, dengan tingkat kualitas produk yang sama (Medeiros dkk., 2002). Pengering unggun terfluidakan memiliki volume dan luas area yang lebih kecil dibandingkan *spray dryer*. Sehingga biaya investasi dan operasi lebih rendah yang juga menurunkan konsumsi daya (Mujumdar, 1995). Hal ini bisa dicapai karena pengering unggun terfluidakan dioperasikan pada kondisi atmosferik. Selain itu, efisiensi pengeringan yang tinggi tercapai karena bidang kontak yang besar dan perbedaan yang besar antara suhu udara masuk dan keluar. Fleksibilitas regim, pengendalian penggumpalan partikel, tingginya efisiensi pengeringan, pelepasan lapisan

dari permukaan partikel dan produksi bubuk dapat terus ditingkatkan di dalam pengeringan larutan dalam fluidized bed inert partikel (Cabral dkk, 2007).

#### **2.4. Konsep Dasar Pengeringan**

Pengeringan zat padat adalah pemisahan sejumlah kecil air atau zat cair dari bahan sehingga mengurangi kandungan sisa zat cair di dalam zat padat itu sampai suatu nilai rendah yang dapat diterima. Pengeringan biasanya merupakan langkah terakhir dari sederetan operasi dan hasil pengeringan biasanya siap dikemas. Pemisahan air dari bahan padat dapat dilakukan dengan memeras zat tersebut secara mekanik sehingga air keluar, dengan pemisah sentrifugal, atau dengan penguapan termal. Pemisahan air secara mekanik biasanya lebih murah biayanya, sehingga biasanya kandungan zat cair itu diturunkan terlebih dahulu sebanyak-banyaknya dengan cara mekanik sebelum diumpankan ke dalam pengering termal. Kandungan zat cair dalam bahan yang dikeringkan berbeda dari satu bahan ke bahan lain. Ada bahan yang tidak mempunyai kandungan zat cair sama sekali (bone dry). Pada umumnya zat padat selalu mengandung sedikit fraksi air sebagai air terikat. Zat padat yang akan dikeringkan biasanya terdapat dalam bentuk serpih (flake), bijian (granule), kristal (crystal), serbuk (powder), lempeng (slab), atau lembaran sinambung (continous sheet) dengan sifat-sifat yang berbeda satu sama lain. Zat cair yang akan diuapkan mungkin terdapat pada permukaan zat padat seperti pada kristal; dapat pula seluruh zat cair terdapat di dalam zat padat seperti pada pemisahan pelarut dari lembaran polimer; atau dapat pula sebagian zat cair sebagian di luar dan sebagian di dalam. Umpan pengering mungkin berupa zat cair di mana zat padat melayang sebagai partikel, atau dapat pula berbentuk larutan.

Kadar air atau *moisture content* adalah jumlah air yang terkandung dalam suatu bahan. Kadar air dari padatan bisa akan mengalami penurunan selama proses pengeringan berlangsung, yang kemudian akan menurunkan densitasnya. Pada beberapa kasus, bahan kering akan menyusut. Kadar air yang terkandung dalam bahan bisa dihitung dengan beberapa cara, di

antaranya, susu kedelai bubuk bisa ditentukan dengan dua basis, yaitu basis basah dan basis kering.

Perhitungan basis basah :

$$X_{bb} = \frac{M_w - M_d}{M_w} \times 100\% \quad (2.1)$$

Perhitungan basis kering :

$$X_{bk} = \frac{M_w - M_d}{M_d} \times 100\% \quad (2.2)$$

Dimana :

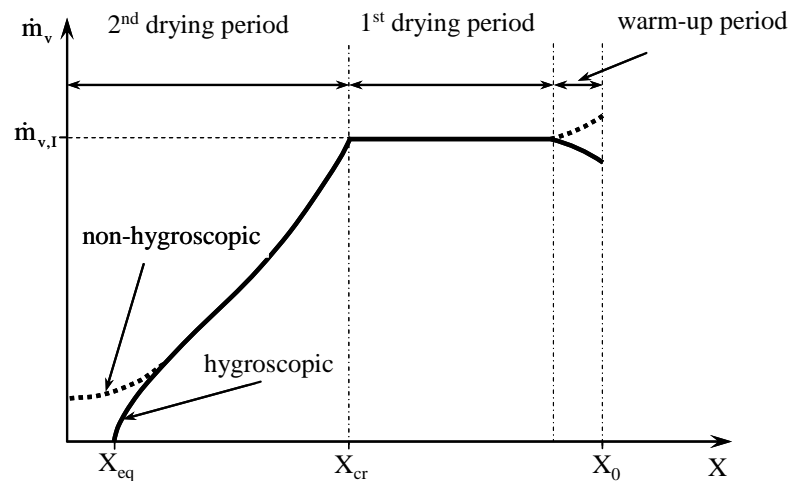
$X_{bb}$  = kadar air basis basah (%)

$X_{bk}$  = kadar air basis kering (%)

$M_w$  = berat bahan basah

$M_d$  = berat bahan kering

Kinetika pengeringan berhubungan dengan kadar uap di padatan dan suhu terhadap waktu (Strumillo, 1986). Selama proses pengeringan, perpindahan massa dan panas terjadi antara bahan padat dan gas pengering (udara). Gambar 1 menunjukkan laju pengeringan versus kandungan moisture.



Gambar 1. Kurva laju pengeringan

Pada awalnya padatan memiliki kandungan air yang tinggi, sehingga semua kapiler terisikan dengan cairan air dan seluruh permukaan padatan jenuh dengan air. Setelah pemanasan singkat, suhu padatan mencapai *wet bulb temperature*  $T_{wb}$ . Udara terjenuhkan pada permukaan, yang digambarkan dengan tekanan uap jenuh  $P_v^*(T_{wb})$ . Udara bulk air memiliki suhu  $T_\infty$  dan tekanan uap  $P_{v,\infty}$ .  $P_v^*(T_{wb})$  lebih besar dari  $P_{v,\infty}$ , sehingga uap air berdifusi secara konstan ke lingkungan. Dari arah yang berlawanan, panas di suplai dari lingkungan ke permukaan padatan dan digunakan untuk menguapkan air. Selama periode ini, laju pengeringan konstan. Hal ini tergantung pada kondisi udara pengering dan koefisien perpindahan massa. Periode ini disebut sebagai periode pertama atau periode laju konstan (lihat Gbr. 1).

Selanjutnya, ketika gaya kapiler tidak mampu lagi memindahkan cukup air, maka laju pengeringan menurun. Hal ini disebut periode pengeringan kedua atau periode laju menurun (lihat Gambar 1). Perpindahan air didalam produk menentukan laju pengeringan, dan tekanan uap di permukaan turun dibawah nilai saturasi. Suhu padatan secara bertahap meningkat menuju suhu *bulk*  $T_\infty$ . Transisi antara periode pengeringan pertama dan kedua adalah titik balik dari kurva pengeringan. Pada titik ini kandungan uap air disebut sebagai kandungan uap air kritis  $X_{cr}$ .

## 2.5. Pengering Unggun Terfluidakan

Pengering unggun terfluidakan merupakan sistem pengeringan yang banyak digunakan untuk mengeringkan suspensi, pulp, dan pasta, terutama karena kelebihanannya yang memiliki laju perpindahan massa dan panas yang tinggi di antara padatan dan udara panas, yang kemudian akan memberikan waktu pengeringan yang pendek. Pengering ini biasanya digunakan untuk pengolahan produk bahan kimia, bahan makanan, biomaterial, produk minuman, keramik, obat-obatan dalam bentuk bubuk atau aglomerat, produk kesehatan, pestisida, agrokimia, pigmen, detergent dan surfaktan, pupuk, polimer, resin, tanin, bahan untuk kalsinasi, bahan untuk pengolahan limbah dan insinerasi.

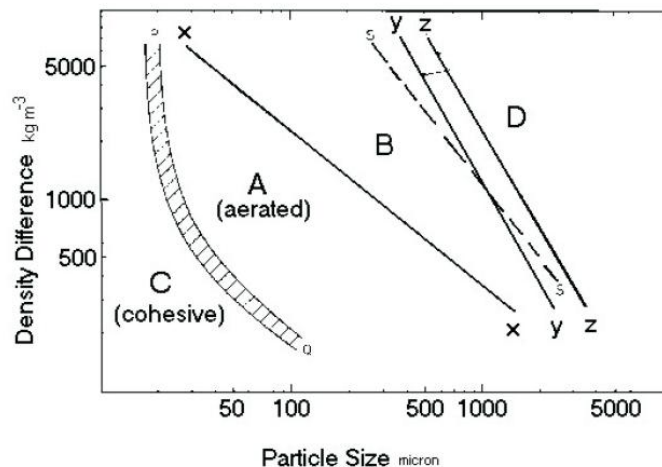


Kontak langsung antara partikel dan udara / gas dalam terjadi di dalam unggun terfluidakan. Pengerong unggun terfluidakan beroperasi di bawah prinsip pengeringan secara langsung dimana kontak langsung antara gas / udara panas dan produk dan selanjutnya terjadi efek transfer panas dan massa. Operasi pada pengerong unggun terfluidakan menghasilkan pencampuran padatan yang lebih merata, tingginya laju panas dan massa, dan mudahnya transportasi bahan.

Unggun terfluidakan memiliki beberapa keuntungan tertentu dibanding pengerong lain, seperti laju pengeringan yang tinggi akibat besarnya luas permukaan kontak antara fase padatan dan fluida, efisiensi termal yang tinggi, perpindahan bahan yang mudah, pengendalian dan penanganan mudah, biaya perawatan rendah, dan cocok digunakan untuk operasi skala besar.

Sedangkan kelemahan dari unggun terfluidakan adalah pressure drop tinggi, konsumsi energi tinggi, kualitas fluidisasi untuk beberapa partikel yang kurang baik, kualitas produk tidak seragam, serta terjadinya erosi pada pipa dan kolom.

Partikel / bubuk bisa dibedakan menjadi empat kelompok utama berdasarkan pada karakteristik yang dimiliki ketika dipaparkan dengan aliran gas. Gambar 2 menunjukkan perbedaan densitas dan ukuran partikel dari empat kelompok Geldart Group.



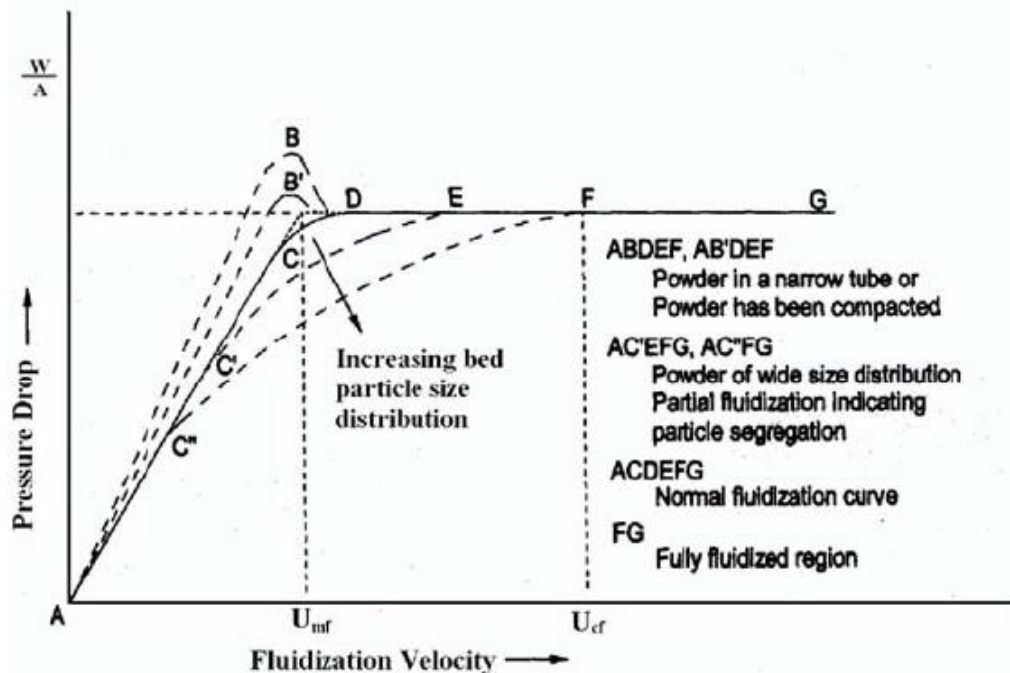
Gambar 2. Klasifikasi Geldart Group untuk bubuk (Geldart, 1986)

Karakteristik dan sifat dari klasifikasi Geldart bisa dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Karakteristik dan sifat partikel/bubuk menurut Geldart Group

Grup	Karakteristik dan Sifat
A	Kualitas fluidisasi bagus, mudah terfluidisasi, smooth pada kecepatan rendah dan bubbling pada kecepatan sedang tinggi, serta slug pada kecepatan tinggi. Unggun terekspansi. Pencampuran padatan bagus. Ukuran partikel rata-rata kecil. Densitas rendah, umumnya $30 < d_p < 100\mu\text{m}$ dan $\rho < 1400 \text{ kgm}^{-3}$
B	Kualitas fluidisasi bagus. Partikel seperti pasir, penuh bubbling, slug pada kecepatan tinggi. Unggun ekspansi sedikit. Pencampuran padatan bagus di bubbling. Umumnya $40 \mu\text{m} < d_p < 500 \mu\text{m}$ , $1400 \text{ kgm}^{-3} < \rho < 4000 \text{ kgm}^{-3}$
C	Kualitas fluidisasi jelek. Kohesif karena kuatnya gaya antar partikel. Banyak slugging dan aglomerasi. Dapat menimbulkan gaya elektrostatik. Pencampuran padatan jelek. Partikel lembut dan sangat lembut.
D	Kualitas fluidisasi jelek. Spoutable. Sulit terfluidisasi untuk ungun yang dalam. Bubble besar. Channeling kuat. Pencampuran padatan relatif jelek. Partikel besar dan atau berat, umumnya $d_p > 500 \mu\text{m}$ , $\rho > 1400 \text{ kgm}^{-3}$

Fluidisasi minimum merupakan titik awal terjadinya fluidisasi. Unggun terfluidakan biasanya dioperasikan pada kecepatan gas superfisial yang lebih tinggi daripada kecepatan fluidisasi minimum ( $U_{mf}$ ), biasanya 2 – 3 kali  $U_{mf}$  (Mujumdar, 2004). Kecepatan minimum fluidisasi bisa ditentukan dengan menggunakan metode pressure drop, dimana pressure drop diplotkan terhadap kecepatan gas superfisial. Kecepatan minimum fluidisasi adalah kecepatan gas dimana pressure drop pada ungun terfluidakan tetap konstan (lihat Gambar 3).



Gambar 3. Grafik plot *pressure drop* terhadap kecepatan gas superfisial (Mujumdar, 1995)

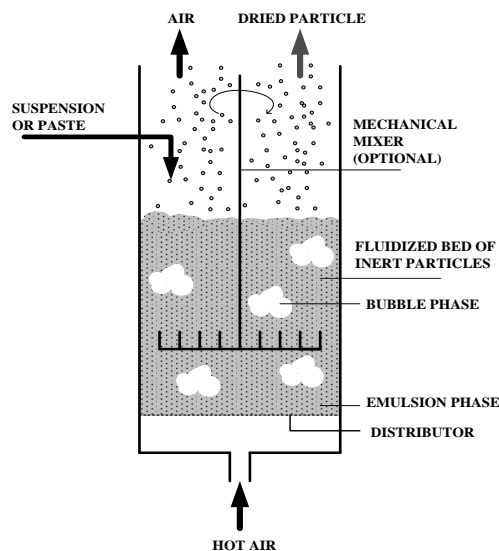
Ada beberapa kondisi operasi yang mempengaruhi proses pengeringan, yaitu : tinggi kolom, ukuran partikel, kecepatan gas, dan suhu bed. Kecepatan gas memiliki pengaruh yang dominan terhadap proses penguapan kadar air permukaan. Akan tetapi, kecepatan gas tidak berpengaruh pada partikel-partikel yang memiliki resistansi internal tinggi terhadap perpindahan moisture. Temperatur bed akan naik dengan meningkatnya fluks panas yang kemudian akan menyebabkan kenaikan difusivitas moisture dan laju pengeringan. Efek ini bersifat kompleks dan bergantung pada signifikansi relatif dari resistansi internal dan eksternal dari transfer moisture.

## 2.6. Pengering Unggun Terfluidakan Partikel Inert

Pada beberapa tahun belakangan, pengering unggun terfluidakan mulai banyak diaplikasikan untuk umpan pasta, slurry, dan suspensi. Metode ini kemudian disempurnakan dengan menggunakan partikel inert. Pengeringan dengan menggunakan partikel inert bisa dilakukan pada berbagai jenis unggun fluidisasi, seperti unggun terfluidakan biasa, spouted bed, jetting-

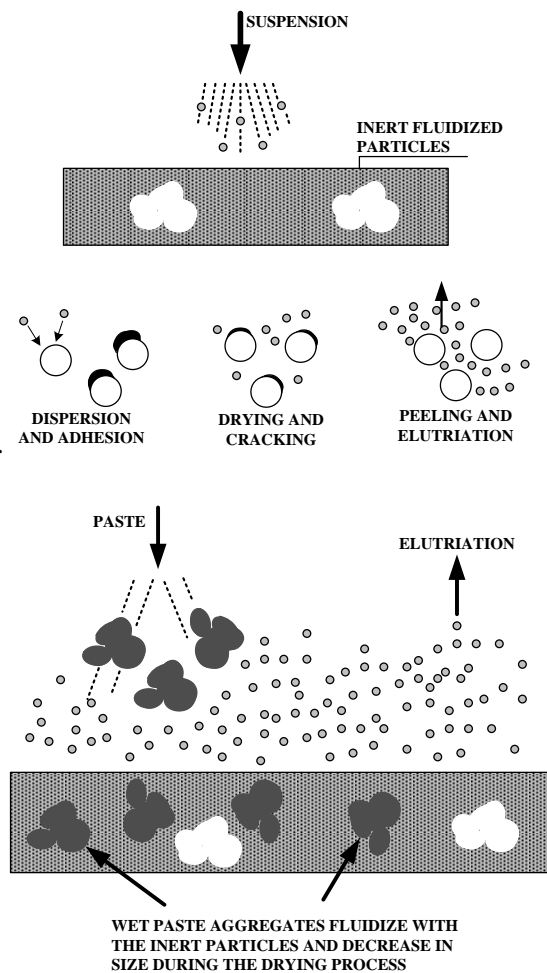
spouted bed, dan vibrated fluidized bed. Bahan yang akan dikeringkan disempotkan dan dilapiskan pada permukaan partikel inert. Partikel inert yang sudah terlapisi kemudian difluidisasi dengan menggunakan arus gas. Lapisan bahan pada partikel inert akan kering karena transfer panas konvektif dari udara panas yang dikombinasikan perpindahan panas antara lapisan bahan dengan partikel inert. Lapisan yang sudah kering akan menjadi rapuh serta pada akhirnya pecah dan terkelupas akibat adanya tumbukan antara partikel dengan partikel dan antara partikel dengan dinding kolom. Bubuk akan terbentuk dan terbawa oleh gas keluar yang kemudian akan terkumpul dan terpisah di dalam separator gas, seperti siklon (Mujumdar, 2004).

Berdasarkan efisiensi alatnya, seperti tingkat penguapan air spesifik, konsumsi panas spesifik, dan konsumsi udara spesifik, pengering unggun terfluidakan dengan partikel inert menjadi alternatif yang sangat menarik jika dibandingkan dengan metode pengeringan lainnya ketika slurry (atau larutan) tidak bisa dipompa. Tingginya efisiensi pengeringan bisa diperoleh dengan besarnya luas permukaan kontak dan tingginya selisih temperatur antara udara masuk dan udara keluar.



Gambar 4. Pengeringan larutan pada pengering unggun terfluidakan partikel inert (Grbavcic dkk., 2004)

Diagram skematis pengeringan larutan dalam unggun terfluidakan dengan partikel inert ditampilkan dalam Gambar 4. Bahan umpan diberikan secara langsung ke dalam kolom dimana partikel inert terfluidisasi oleh udara panas. Produk lepas dari udara buang oleh *cyclone* dan kantong penyangring. Jika umpan slurry encer (larutan), maka mekanisme pengeringan terdiri dari tiga langkah yang terjadi secara simultan di berbagai daerah unggun. Larutan yang masuk akan membentuk lapisan film, yang melekat pada permukaan partikel inert. Karena permukaan bidang partikel inert yang sangat besar dan intensif fluidisasi, uap akan terlepas dalam beberapa detik.



Gambar 5. Mekanisme pengeringan umpan larutan dan umpan pasta (Grbavcic, 2004)

Padatan yang tersisa pada permukaan partikel inert, akan dilepas oleh gesekan dan tumbukan. Akhirnya, produk bubuk terangkat dari unggun inert bersama udara buang (Gbr. 5a). Jika umpan adalah slurry padat (pasta) maka pasta basah mengumpal terfluidakan bersama-sama dengan partikel inert. Selama proses pengeringan besarnya gumpalan menurun karena pengangkatan (*elutriation*) partikel dari permukaan unggun (Gbr. 5b). Dalam hal ini, unggun akan lebih homogen dan stabil bila ditambahkan mixer mekanis kecepatan rendah ( $\approx 30 \text{ min}^{-1}$ ), yang berperan untuk mencegah pembentukan gumpalan besar. Sebagai catatan, pada umumnya ukuran partikel produk kering dua kali lebih kecil dibandingkan dengan partikel inert di unggun. Karena adanya pencampuran intensif antara partikel inert selama fluidisasi unggun, maka suhu di unggun hampir seragam (Grbavic, dkk., 2004).

Selain itu, pada proses pengeringan, analisa performa alat juga bisa didasarkan pada efisiensi produksi bubuk, yang didefinisikan pada persamaan berikut (Medeiros, dkk, 2002) :

$$\eta_{po} = \frac{m_{pb} (1 - X_{pb})}{m_{umpan} (1 - X_{umpan})} \quad (2.3)$$

dimana :

- $\eta_{po}$  = efisiensi produksi bubuk
- $m_{pb}$  = massa bubuk
- $X_{pb}$  = moisture content bubuk
- $m_{umpan}$  = massa umpan
- $X_{umpan}$  = moisture content umpan

Efisiensi produksi bubuk merupakan perbandingan antara massa bubuk yang diperoleh dengan massa umpan, yang merupakan indikator performa alat.

Beberapa penelitian telah mempelajari parameter-parameter proses (lihat tabel 5), yang menggunakan partikel inert dalam unggun terfluidakan untuk menghasilkan produk bubuk dari umpan cair ataupun pasta.

Tabel 5. Penelitian pengering unggun terfluidakan partikel inert

<b>PENULIS</b>	<b>LARUTAN</b>
Schneider et al (1993)	Gliserol dan alumina
Martinez et al. (1996).	Susu, jus jeruk, dan wortel
Pan et al. (2001)	Susu
Medeiros, et. al. (2002)	Mangga
Grbavcic, et. al. (2004)	Fungisida, dan kalsium karbonat
Cabral et al. (2007)	Jambu
US Patent 4608203 (1986)	Protein kacang kedelai
US Patent 6423517 (2002)	Protein dan garam

## 2.7. Parameter kualitas produk berbentuk bubuk

### Wetabilitas

Ada beberapa parameter yang menjadi tolok ukur kualitas produk bubuk, di antaranya adalah wetabilitas, yang bisa didefinisikan sebagai ukuran kemampuan bubuk untuk terbasahi oleh air pada temperatur tertentu. Pembasahan terdiri dari beberapa tahapan, yaitu *submergence*, dispersi, dan disolusi partikel. Wetabilitas juga bisa didefinisikan sebagai kemampuan bubuk *bulk* untuk menyerap cairan di bawah pengaruh gaya kapiler. Pada umumnya, pembasahan merupakan satu proses dimana fase gas pada permukaan fase padat digantikan oleh fase cair. Wetabilitas tergantung kepada beberapa variabel, seperti ukuran partikel, densitas, porositas, tegangan muka, luas permukaan, dan aktivitas permukaan (Early, 2002).

### Dispersibilitas

Sifat bubuk lainnya yang juga penting adalah dispersibilitas, yang dapat didefinisikan sebagai kemampuan bubuk untuk memisahkan diri menjadi partikel-partikel tunggal ketika terdispersi di dalam air, dengan bantuan

pengadukan. Yang berarti bahwa bubuk harus terdisintegrasi menjadi aglomerat, yang kemudian terdisintegrasi kembali menjadi partikel-partikel primer tunggal. Untuk mendapatkan dispersibilitas yang baik, bubuk harus bisa terbasahi dan teraglomerasi dengan optimal, yang berarti tidak ada partikel halus di dalamnya. Bubuk yang dispersibilitasnya tinggi akan memiliki wetabilitas yang tinggi pula dan teraglomerasi, serta tidak mengandung partikel halus. Bubuk dengan sifat dispersi yang rendah dapat membentuk endapan dan membutuhkan energi yang lebih besar untuk memperoleh larutan sempurna (Varnam, dkk, 2003).

### Flowabilitas

Sedangkan flowabilitas merupakan tolok ukur karakteristik *free-flow* dari bubuk. Flowabilitas merupakan kemampuan padatan granular dan bubuk untuk mengalir yang menjadi satu faktor penting dalam operasi penanganan dan pengemasan bubuk, dimana bubuk yang tidak bisa mengalir bebas akan mengganggu dan menghentikan proses produksi. Bubuk dengan flowabilitas yang rendah bahkan akan membentuk sumbatan di dalam silo dan tempat penyimpanan. Pada umumnya, bubuk dengan sifat flowabilitas yang baik adalah bubuk yang berbentuk aglomerat besar dengan sedikit partikel kecil / halus. Beberapa faktor yang mempengaruhi flowabilitas dari padatan bulk dan bubuk di antaranya adalah ukuran partikel, *moisture content*, humiditas, suhu, dan tekanan (Fox dkk., 2005).

### Kohesivitas

Kohesivitas dapat mempengaruhi pencampuran dan pemisahan partikel di dalam unggun. Kekuatan interaksi antar partikel di dalam bubuk memiliki pengaruh tertentu pada sifat bubuk itu sendiri. Jika gaya tarik antar partikel kuat, maka bubuk akan cenderung kohesif. Sedangkan jika gaya gravitasi lebih dominan daripada gaya tarik antar partikel, maka bubuk bisa disebut dengan *free-flowing* (non kohesif) (Freeman, 2007). Gaya adesi antar partikel di dalam unggun terfluidakan partikel inert dapat berasal dari gaya



elektrostatik, gaya van der Waals dan kandungan air pada permukaan partikel bubuk.

Flowabilitas dan kohesivitas bubuk dihitung berdasarkan indeks Carr (CI) dan rasio Hausner (HR). Klasifikasi flowabilitas dan kohesivitas dapat dilihat pada Tabel 6 dan 7.

Tabel 6. Klasifikasi flowabilitas bubuk berdasarkan indeks Carr (CI) (Jinapong dkk, 2008).

CI (%)	Flowabilitas
<15	Sangat baik
15-20	Baik
20-35	Cukup
35-45	Buruk
>45	Sangat Buruk

Tabel 7. Klasifikasi kohesivitas bubuk berdasarkan Rasio Hausner (HR) (Jinapong dkk, 2008).

HR	Kohesivitas
<1,2	Rendah
1,2-1,4	Sedang
>1,4	Tinggi

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### **3.1. Rancangan Penelitian**

Kedelai dipisahkan dari kotoran dan biji yang rusak, direndam selama 8 jam, kemudian direbus dan dicuci. Kedelai digiling menggunakan air dengan perbandingan air dan kedelai 8 : 1. Hasilnya kemudian disaring, hingga diperoleh susu kedelai cair.

Susu kedelai cair dipanaskan pada suhu 60-65°C, hingga diperoleh susu kedelai pasta dengan konsentrasi sesuai variabel. Pasta yang diperoleh kemudian digunakan sebagai feed untuk proses pengeringan dengan menggunakan unggun terfluidakan partikel inert, dengan perbandingan feed dan partikel inert (F:I) 0,20. Partikel inert yang digunakan berbahan dasar plastik berbentuk bola dengan diameter 5 mm.

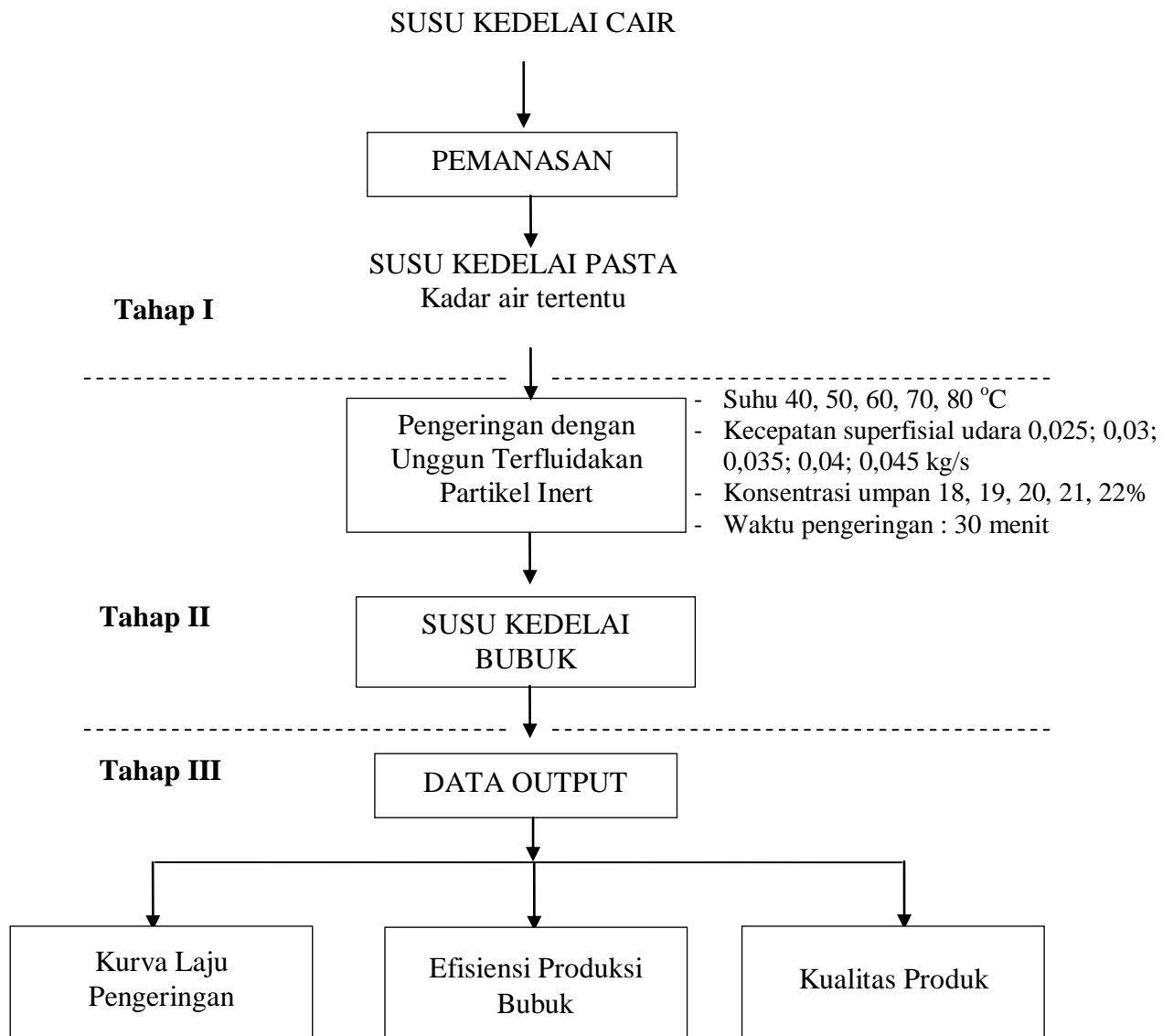
Penelitian ini menggunakan metode eksperimental yang dilakukan di laboratorium, dimana secara garis besar terdiri dari 3 tahap :

Tahap I : Pembuatan susu kedelai pasta, yaitu dengan cara pemanasan susu kedelai cair pada suhu 60-65°C, hingga diperoleh konsentrasi sesuai variabel yang diinginkan.

Tahap II : Pengeringan pasta susu kedelai dengan menggunakan unggun terfluidakan partikel inert, dengan menggunakan partikel inert berbahan dasar plastik berbentuk bola, pada suhu udara, kecepatan superficial udara, dan konsentrasi umpan sesuai variabel yang diinginkan.

Tahap III : Pembuatan kurva pengeringan dan uji hasil produk bubuk yang diperoleh meliputi : analisa proksimat, wetabilitas & dispersibilitas, serta flowabilitas & kohesivitas.

Tahapan penelitian yang akan dilakukan seperti ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6. Skema Tahapan Penelitian

### 3.2. Rancangan Variabel

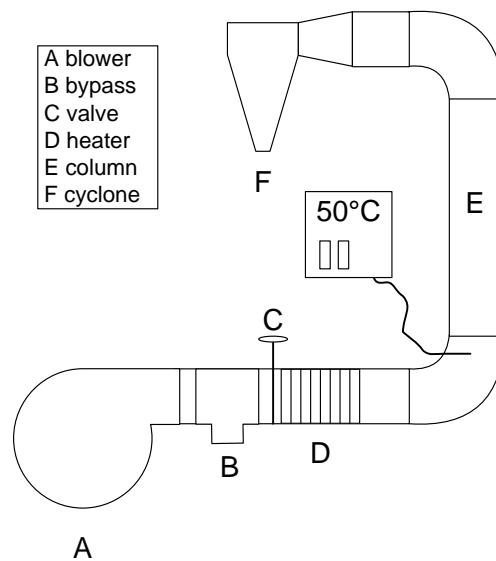
Pada tahapan pengeringan susu kedelai pasta dengan unggun terfluidakan partikel inert dilakukan 13 run dengan 3 variabel berubah. Kegiatan penelitian dilakukan dengan menggunakan rancangan percobaan dengan distribusi perlakuan sebagaimana tertera pada Tabel 8.

Tabel 8. Rancangan Penelitian Pengeringan Pasta Susu Kedelai

RUN	VARIABEL PROSES			PENGUKURAN
	T (°C)	Mg (kg/det)	X <sub>f</sub> (%b/b)	
Variasi Temperatur				
1	40	0,035	20	- Humiditas udara masuk dan keluar unggun
2	50	0,035	20	- Analisa proksimat
3	60	0,035	20	- Wetabilitas &
4	70	0,035	20	dispersibilitas
5	80	0,035	20	- Flowabilitas & kohesivitas
Variasi kecepatan superfisial udara pengering				
6	60	0,025	20	- Humiditas udara masuk dan keluar unggun
7	60	0,030	20	- Analisa proksimat
3	60	0,035	20	- Wetabilitas &
8	60	0,040	20	dispersibilitas
9	60	0,045	20	- Flowabilitas & kohesivitas
Variasi konsentrasi umpan				
10	60	0,035	18	- Humiditas udara masuk dan keluar unggun
11	60	0,035	19	- Analisa proksimat
3	60	0,035	20	- Wetabilitas &
12	60	0,035	21	dispersibilitas
13	60	0,035	22	- Flowabilitas & kohesivitas

### 3.3. Alat Penelitian

Pada penelitian ini rangkaian alat (lihat Gambar 7) yang akan digunakan terdiri dari satu unit pengering unggun terfluidakan yang diset sesuai dengan variabel penelitian. Pengering unggun terfluidakan berbentuk silinder dengan panjang 335 mm, diameter 90 mm dan terbuat dari bahan kaca. Udara diumpankan dengan blower dan dipanaskan dengan heater elektrik yang mempunyai daya sampai dengan 3 kW dan temperatur sampai dengan 80 °C. Pada alat pengering, kecepatan udara masuk diukur dengan Anemometer AM-4200. Kemudian laju ini dikontrol dengan kran bypass. Partikel inert berbahan plastik berbentuk bola dengan diameter 5 mm dan massa tertentu diletakkan dalam tabung fluidisasi. Produk yang dihasilkan ditampung dalam *cyclone*.



Gambar 7. Rangkaian alat pengering unggun terfluidakan partikel inert

### 3.4. Prosedur Penelitian

Penelitian pengeringan pasta susu kedelai ini dilakukan sesuai prosedur sebagai berikut :

- Atur suhu udara masuk dan kecepatan udara masuk sesuai variabel, tunggu hingga konstan.

- b. Masukkan umpan susu kedelai pasta yang telah dicampur dengan partikel inert ke dalam unggun.
- c. Proses dilakukan secara batch selama 30 menit dimana setiap 1 menit, suhu udara dan humiditas udara dicatat, baik pada bagian inlet maupun outlet pengering.
- d. Tampung bubuk yang diperoleh dalam siklon
- e. Timbang bubuk yang didapat.
- f. Lakukan pengukuran moisture content, analisa proksimat, wetabilitas dan dispersibilitasnya.

### 3.5. Analisa Data Percobaan

- **Kurva Pengeringan**

Kurva pengeringan diperoleh dari data humiditas relatif dan T dry bulb dari udara masuk dan keluar pengering, mulai dari saat umpan dimasukkan. Data hasil eksperimen digambarkan melalui hubungan psikometrik menjadi sebuah kurva pengeringan. Persamaan untuk laju evaporasi sebagai berikut :

$$W_{ev} = (Y_{out} - Y_{in}) \times M_g \quad (3.1)$$

Dimana  $M_g$  : kecepatan superfisial udara (kg/dtk)

- **Analisa Proksimat**

Analisa proksimat untuk mengetahui kadar moisture, abu, dan protein dilakukan berdasarkan metode AOAC (AOAC, 2000). Kadar lemak dihitung dengan metode Mojonnier (AOAC, 2000). Total kadar karbohidrat dihitung sebagai selisih antara 100% dengan total kadar abu, protein, dan abu.

- **Moisture Content**

Untuk menghitung moisture content, 3 – 5 g sampel bubuk susu kedelai dikeringkan dengan oven pada suhu 98-100°C hingga diperoleh massa yang konstan (Lees, 1971).

- **Efisiensi produksi bubuk**

Efisiensi produksi bubuk dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\eta_{po} = \frac{m_{pb} (1 - X_{pb})}{m_{pasta} (1 - X_{pasta})} \quad (3.2)$$

dimana :

$\eta_{po}$  = efisiensi produksi bubuk (%)

$m_{pb}$  = massa bubuk (g)

$X_{pb}$  = moisture content bubuk (%)

$m_{pasta}$  = massa umpan pasta (g)

$X_{pasta}$  = moisture content umpan pasta (%)

- **Densitas bulk dan tapped**

Bubuk dimasukkan ke dalam silinder 100 ml dan ditimbang. Volume yang dibaca langsung dari silinder kemudian digunakan untuk menghitung densitas bulk ( $\rho_{bulk}$ ) berdasarkan hubungan massa/volume. Sedangkan untuk densitas tapped ( $\rho_{tapped}$ ), digunakan Tapped Density Tester. Volume sampel dibaca dan digunakan dalam perhitungan.

- **Densitas partikel**

Densitas partikel ( $\rho_{partikel}$ ) dari sampel bubuk dianalisa dengan cara sebagai berikut : sampel bubuk (1 g) dimasukkan ke dalam labu ukur 10 ml dengan stopper kaca. Lima ml petroleum eter ditambahkan. Labu ukur dikocok sampai semua partikel bubuk tersuspensi. Terakhir, semua partikel bubuk di dinding labu dibilas dengan tambahan 1 ml petroleum eter (total 6 ml) dan total volume petroleum eter dengan bubuk tersuspensi kemudian dibaca. Densitas partikel dihitung sebagai berikut:

$$\rho_{partikel} = \frac{W_p \text{ (g)}}{V_{PE+SP} \text{ (ml)} - 6} \quad (3.3)$$

- **Wetabilitas**

Wetabilitas sampel bubuk dihitung berdasarkan metode A/S Niro Atomizer (1978). Sejumlah air distilasi (100 ml) dengan suhu 25°C dituangkan ke dalam beaker glass. Corong kaca dipasang di atas beaker glass, dengan jarak 10 cm antara bagian bawah corong dengan permukaan air. Tube tes diletakkan di dalam corong untuk menutup bukaan corong. Sampel bubuk (0,1 g) diletakkan di sekitar tube tes. Tube diangkat bersamaan dengan dimulainya stop watch. Catat waktu dimana bubuk sepenuhnya terbasahi (ditentukan secara visual ketika seluruh partikel bubuk memasuki permukaan air).

- **Dispersibilitas**

Pengukuran dispersibilitas dilakukan berdasarkan prosedur yang tertulis pada A/S Niro Atomizer (1978). Air distilasi (10 ml) bersuhu 25°C dituangkan ke dalam beaker. Bubuk (1 g) ditambahkan ke dalam beaker. Stop watch dimulai dan sampel diaduk dengan sendok selama 15 detik dengan membuat 25 gerakan lengkap bolak-balik melintasi sepanjang diameter beaker. Tuangkan melewati sieve (212 µm). Susu kedelai yang telah disaring (1 ml) dipindahkan ke wadah aluminium yang kering dan sudah ditimbang sebelumnya. Keringkan selama 4 jam dengan oven pada 105°C. Dispersibilitas bubuk dihitung sebagai berikut:

$$\% \text{ dispersibilitas} = \frac{(10 + a) \times \% \text{TS}}{a \times \frac{100 - b}{100}} \quad (3.5)$$

dimana a = jumlah bubuk (g) yang digunakan, b = moisture content bubuk (%), dan %TS = prosentase zat kering dalam susu setelah disaring dengan sieve.



- **Flowabilitas dan Kohesivitas**

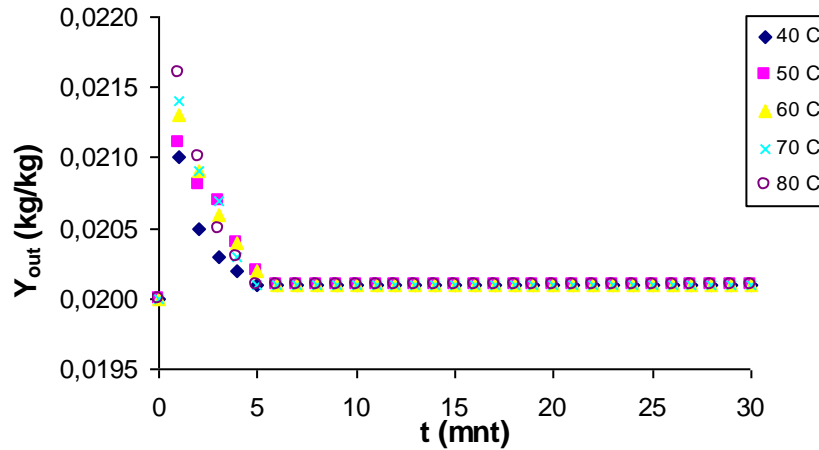
Flowabilitas dan kohesivitas bubuk dihitung berdasarkan indeks Carr (CI) (Carr, 1965) dan rasio Hausner (HR) (Hausner, 1967). Keduanya dihitung dari densitas bulk ( $\rho_{bulk}$ ) dan densitas tapped ( $\rho_{tapped}$ ) bubuk, sebagai berikut :

$$CI = \frac{\rho_{tapped}}{\rho_{bulk}} \quad (3.6)$$

$$HR = \frac{\rho_{tapped}}{\rho_{bulk}} \quad (3.7)$$

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Kurva Pengeringan

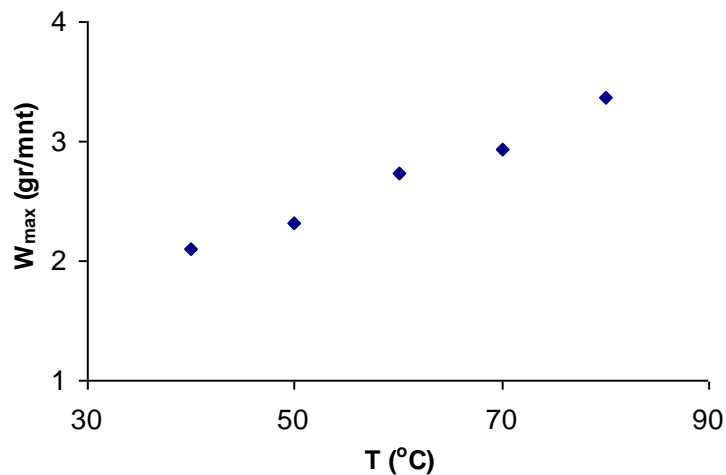


Gambar 8. Kurva pengeringan pada berbagai suhu udara

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8, proses penguapan berlangsung sangat cepat, terjadi pada 6 menit pertama pengeringan. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian-penelitian lain. Medeiros dkk mengeringkan pulp buah tropis Brazil (*umbu, caja, caja-manga, pinha, seriguela*, dan mangga) pada suhu 70°C, dimana pengeringan terjadi pada 2 menit pertama (Medeiros dkk, 2002). Hasil yang senada juga dilaporkan oleh Kim dkk. Mereka mengeringkan bubuk poly methyl methacrylate (PMMA) pada suhu 50 – 80°C dengan menggunakan *inert medium circulating fluidized bed*. Pengeringan PMMA berlangsung cepat pada 10 menit pengeringan (Kim dkk., 2008). Proses pengeringan yang sangat cepat ini dikarenakan produk yang berbentuk bubuk sehingga tidak ada difusi massa di dalam partikel produk.

Setelah 6 menit, humiditas udara pada keluaran pengering menurun sangat lambat dan mendekati humiditas udara masuk pengering, yang berarti laju penguapan sama dengan nol (lihat Gambar 8). Perilaku ini terjadi juga pada run yang lain, dengan total penguapan berlangsung pada 6 menit pengeringan.

#### Pengaruh suhu terhadap laju pengeringan maksimum

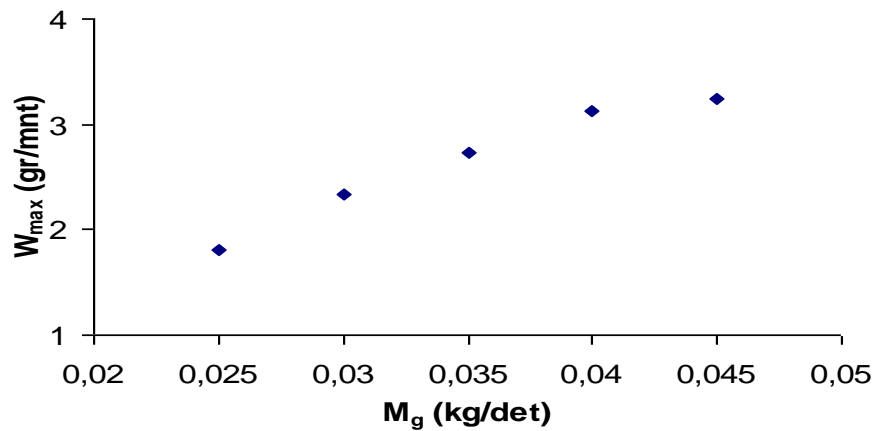


Gambar 9. Pengaruh suhu terhadap laju pengeringan

Gambar 9 menunjukkan laju pengeringan maksimum pada berbagai suhu udara pengering. Suhu udara masuk berpengaruh terhadap laju penguapan (lihat gambar 9), dimana dengan meningkatnya suhu udara masuk, laju pengeringan akan semakin cepat, karena semakin tinggi suhu udara pengering, difusi uap air semakin besar.

Hasil ini sejalan dengan hasil penelitian lain yang mengeringkan suspensi aluminium hidroksida dengan partikel inert berbahan teflon (Erdesz dkk., 1996). Hasil penelitian ini juga senada dengan hasil penelitian Chandran dkk (1990), yang mengeringkan padatan dalam unggun terfluidakan. Mereka melaporkan bahwa laju pengeringan padatan akan semakin tinggi dengan semakin meningkatnya suhu udara pengering.

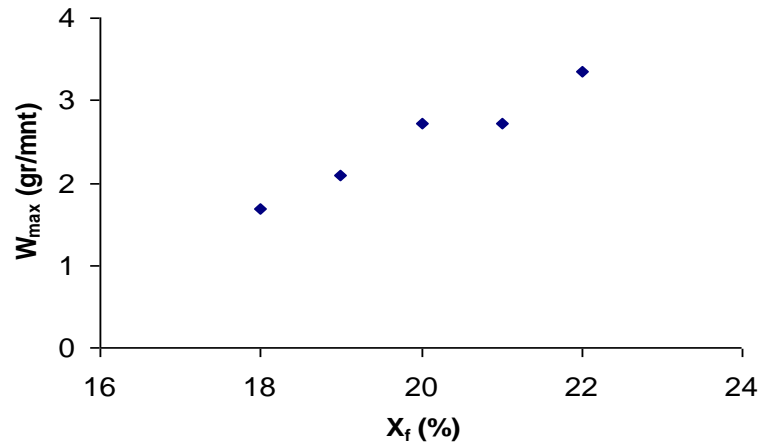
Pengaruh kecepatan superfisial udara terhadap laju pengeringan maksimum



Gambar 10. Pengaruh kecepatan superfisial udara terhadap laju pengeringan

Pengaruh kecepatan superfisial udara terhadap laju pengeringan maksimum pada suhu  $60^{\circ}\text{C}$  ditunjukkan pada Gambar 10, dimana  $W_{max}$  meningkat dengan semakin tingginya kecepatan superfisial gas. Hal ini dikarenakan pada kecepatan superfisial gas yang lebih tinggi, fluidisasi partikel inert akan semakin intens dan tumbukan antar partikel inert semakin kuat. Selain itu, penggumpalan di dalam unggun juga dapat dicegah, sehingga pencampuran (*mixing*) di dalam unggun akan lebih baik dan pengeringan pun akan meningkat. Hasil yang senada disampaikan oleh Pan dkk (2001) dan Kim dkk (2008). Pan dkk (2001) meneliti mengenai pengaruh suhu udara, kecepatan udara, dan tinggi unggun statis terhadap laju pengeringan dan koefisien perpindahan panas. Sedangkan Kim meneliti mengenai pengaruh suhu udara, kecepatan udara, dan konsentrasi umpan terhadap laju pengeringan. Mereka melaporkan bahwa  $W_{max}$  mengalami kenaikan seiring dengan meningkatnya kecepatan udara pengering.

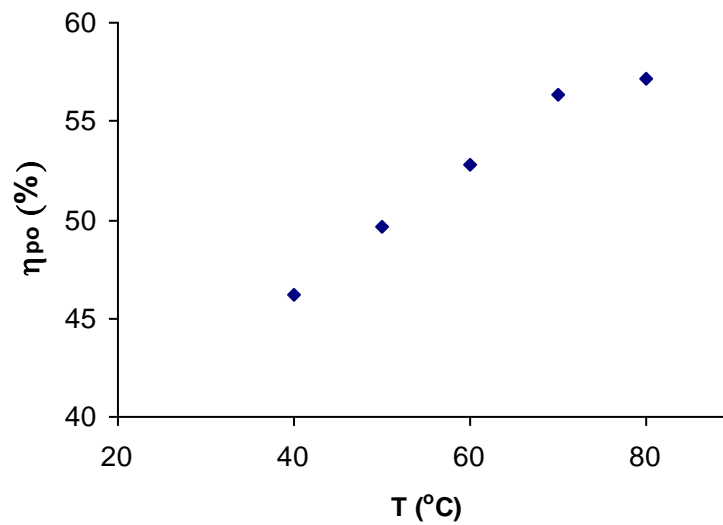
Pengaruh kadar air umpan terhadap laju pengeringan maksimum



Gambar 11. Pengaruh kadar air umpan terhadap laju pengeringan

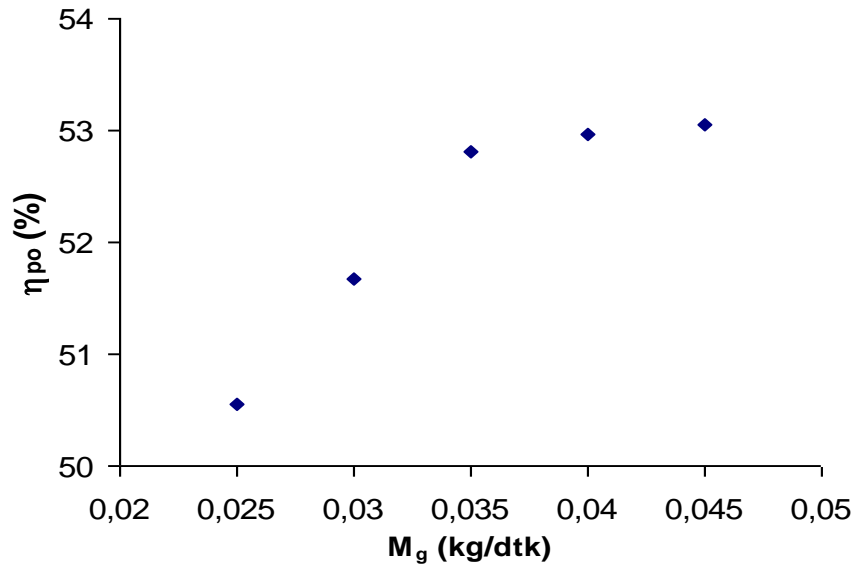
Pengaruh kadar air umpan terhadap  $W_{max}$  ditunjukkan pada Gambar 11. Seperti yang ditunjukkan,  $W_{max}$  mengalami peningkatan dengan semakin meningkatnya kadar air awal pada umpan. Hasil ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Kim dkk (2008) dan Pan dkk (2001). Selain itu, rendahnya  $W_{max}$  pada kadar air awal 18 dan 19% dikarenakan menurunnya intensitas fluidisasi, dimana lapisan bahan di permukaan partikel bersifat terlalu lengket dan mengakibatkan ketidakstabilan dalam unggun (Pan dkk., 2001). Ketidakstabilan di dalam unggun ini disebabkan oleh adanya penggumpalan partikel di dalam unggun, yang akan menghambat sirkulasi padatan dan menimbulkan resistansi yang lebih besar terhadap aliran udara pengering, sehingga proses pengeringan pun terhambat (Kim dkk., 2008).

## 4.2. Efisiensi Produksi Bubuk



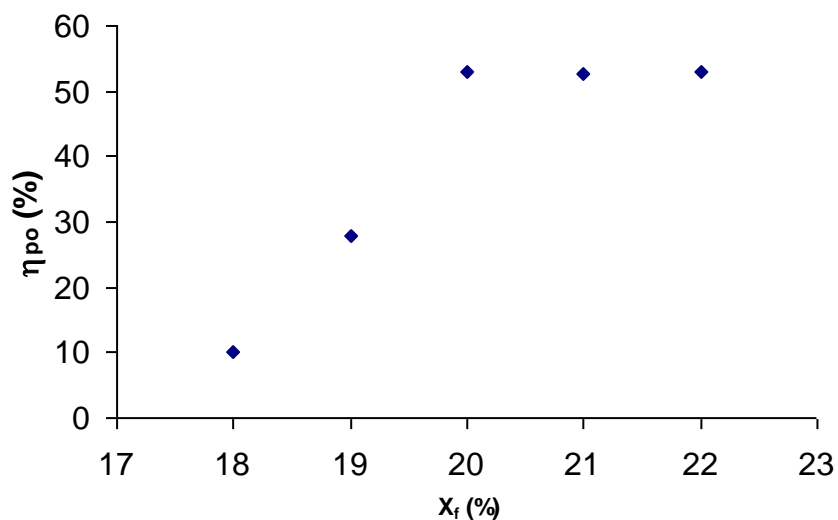
Gambar 12. Efisiensi produksi bubuk pada berbagai suhu udara

Gambar 12 menunjukkan pengaruh suhu udara pengering terhadap efisiensi produksi bubuk. Efisiensi produksi bubuk yang diperoleh pada berbagai suhu udara cukup tinggi jika dibandingkan dengan efisiensi produksi bubuk dari pulp buah alami (Ramos, 1997). Efisiensi produksi bubuk mengalami peningkatan dengan semakin tingginya suhu udara pengering. Hal ini dikarenakan suhu udara pengering yang lebih tinggi akan berakibat pada semakin cepatnya pengeringan lapisan basah di permukaan partikel inert. Selama proses pengeringan berlangsung, lapisan pasta susu kedelai akan berubah rapuh dan kemudian terkelupas dari permukaan partikel inert (Medeiros dkk., 2002). Sehingga, efisiensi produksi bubuk pada suhu udara yang lebih tinggi akan lebih besar dari pada suhu rendah.



Gambar 13. Efisiensi produksi bubuk pada berbagai kecepatan superfisial udara

Gambar 13 menunjukkan pengaruh kecepatan superfisial udara pengering terhadap efisiensi produksi bubuk. Gambar 13 menunjukkan adanya kenaikan efisiensi produksi bubuk dengan semakin meningkatnya kecepatan superfisial udara. Hal ini dikarenakan, pada kecepatan udara yang lebih tinggi, fluidisasi partikel inert akan lebih baik dan tumbukan antar partikel akan lebih kuat. Sehingga, lapisan kering di permukaan partikel inert bisa terkelupas dengan lebih mudah. Selain itu, peningkatan kecepatan superfisial udara akan meningkatkan laju perpindahan massa dan panas, yang merupakan faktor penting dalam proses pengeringan (Pan dkk., 2001).



Gambar 14. Efisiensi produksi bubuk pada berbagai kadar air awal umpan

Gambar 14 menunjukkan pengaruh kadar air awal umpan terhadap efisiensi produksi bubuk susu kedelai. Rendahnya efisiensi produksi bubuk pada kadar air awal 18% dan 19% dikarenakan lapisan bahan di permukaan partikel terlalu lengket, yang akan menurunkan sirkulasi padatan dan mengakibatkan terbentuknya gumpalan di dalam unggun. Tumbukan antar partikel inert tidak dapat memecah gumpalan tersebut, sehingga pengelupasan lapisan di permukaan partikel inert terhambat dan pembentukan bubuk praktis menurun.

Hal ini senada dengan hasil penelitian Spitzner Neto dan Freire (1997) yang mengeringkan pasta telur dan gliserol, yang membentuk lapisan yang lengket dan menggumpal di permukaan partikel inert. Hasil penelitian mereka menunjukkan efisiensi produksi bubuk yang rendah (di bawah 10%), terutama pada konsentrasi umpan yang rendah, karena bahan yang bersifat cenderung lengket (Spitzner Neto & Freire, 1997).

#### 4.3. Analisa Proksimat

Tabel 9 menunjukkan hasil analisa proksimat dari susu kedelai bubuk yang diperoleh pada run 1 sampai 5. Bisa dilihat bahwa kenaikan suhu, kecepatan superfisial dan konsentrasi umpan tidak begitu berpengaruh pada kadar protein lemak, karbohidrat, dan abu. Hal ini terjadi juga pada seluruh run percobaan.

Tabel 9. Analisa proksimat susu kedelai bubuk

Run	Protein (%)	Lemak (%)	Karbohidrat (%)	Abu (%)
1	42,79	26,77	21,81	8,63
2	41,02	25,17	24,75	9,06
3	41,78	23,08	25,17	9,97
4	40,77	25,85	27,09	10,29
5	40,21	23,29	25,67	10,83



Hasil ini senada dengan penelitian lain yang dilakukan oleh Jinapong dkk. Mereka mengeringkan susu kedelai dengan 3 tahapan, yaitu ultrafiltrasi, spray drying, dan aglomerasi dengan unggun terfluidakan. Susu kedelai bubuk yang diperoleh memiliki kadar protein antara 40-52%, kadar lemak 25-28%, dan kadar karbohidrat 17-25% (Jinapong dkk., 2007).

Hasil penelitian ini sejalan dengan literatur yang menyebutkan bahwa komposisi susu kedelai bubuk harus mengandung 40-50% protein, 21-26% lemak, dan 20-30% karbohidrat (Wijeratne, 1993), maka, bisa disimpulkan bahwa komposisi bubuk susu kedelai yang diperoleh dalam penelitian ini telah berada dalam kisaran yang diinginkan.

Selain itu, berdasarkan klasifikasi Standar Nasional Indonesia (SNI), yang menyebutkan syarat mutu susu kedelai harus memiliki kadar protein minimal 2,0% dan kadar lemak minimal 1,0% (SNI, 01-3830-1995).

#### 4.4. Wetabilitas dan dispersibilitas

Tabel 10. Wetabilitas dan dispersibilitas susu kedelai bubuk

Run	Wetabilitas (dtk)	Dispersibilitas (%)
1	193	41,5
2	216	43,9
3	221	47,7
4	187	50,2
5	184	60,8

Dari tabel 10, bisa dilihat bahwa dispersibilitas dan waktu pembasahan rata-rata masih cukup tinggi, dimana waktu pembasahan dapat didefinisikan sebagai waktu yang dibutuhkan setelah bubuk dituangkan ke permukaan air, sampai seluruh bubuk menyerap air. Tingginya waktu pembasahan ini disebabkan karena tingginya kandungan gula pada bubuk, dimana gula dapat mengalami kristalisasi dan membentuk jembatan kristal antar partikel yang akan menimbulkan *caking* (Bhandari dkk., 1997). Hal ini dapat mengurangi wetabilitas dan dispersibilitas ketika partikel menyerap air.

Komposisi bubuk memegang peranan penting di dalam proses pembasahan. Keberadaan lemak mengakibatkan adanya sifat hidrofobik, sehingga mempengaruhi sifat wetabilitas bubuk. Pada penelitian lain, dilaporkan bahwa senyawa trigliserida yang terakumulasi di permukaan bubuk akan mempengaruhi sifat pembasahan bubuk, dimana proses pengeringan dan evaporasi secara simultan akan mendorong perpindahan konstituen susu, khususnya lemak dan protein ke permukaan partikel (Spiegel, 1999). Jinapong dkk juga melaporkan bahwa susu kedelai bubuk yang diperoleh dari proses *spray drying* tidak bisa terbasahi sepenuhnya di dalam air dingin (10 – 37°C) (Jinapong dkk., 2008). Kesulitan di dalam rekonstitusi ini bisa diatasi dengan cara menggunakan air hangat atau dengan menggunakan teknologi *coating* (Baldwin & Sanderson, 1973).

Dispersibilitas merupakan kemampuan bubuk untuk terdispersi di dalam air dengan bantuan pengadukan ringan. Hal ini menunjukkan bahwa bubuk harus mampu terdisintegrasi menjadi aglomerat, yang kemudian teraglomerasi lagi menjadi partikel primer tunggal. Sehingga, untuk memperoleh dispersibilitas yang baik, bubuk harus bisa terbasahi dengan baik dan memiliki aglomerasi yang optimal, yang berarti bahwa bubuk tidak boleh memiliki partikel halus di dalamnya (Tamime, 2009). Bubuk dianggap sebagai instan jika memiliki dispersibilitas minimal 85% (*whole milk*) atau 90% (*skimmed milk*) (International Dairy Federation, 1988, 1995, 2005).

#### 4.5. Flowabilitas dan kohesivitas

Densitas bulk dan densitas tapped dari susu kedelai bubuk yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Densitas bulk, tapped, dan partikel dari susu kedelai bubuk

Run	Moisture content (%)	$\rho_{\text{bulk}}$ (g/ml)	$\rho_{\text{tapped}}$ (g/ml)	$\rho_{\text{partikel}}$ (g/ml)
1	9	0,38	0,49	0,95
2	8	0,38	0,49	0,96
3	7	0,36	0,46	0,85
4	6	0,37	0,45	0,82
5	6	0,37	0,45	0,85

Hasil pengukuran densitas bulk, tapped, dan partikel dari susu kedelai bubuk yang diperoleh di atas sejalan dengan hasil penelitian Jinapong dkk (Jinapong dkk., 2008). Mereka melaporkan densitas bulk antara 0,31-0,32, densitas tapped antara 0,41-0,45, dan densitas partikel antara 1,04-1,25.

Tabel 12 menunjukkan nilai indeks Carr dan rasio Hausner susu kedelai bubuk yang diperoleh. Kohesivitas bubuk cukup baik, sesuai dengan klasifikasi rasio Hausner (HR) pada tabel 2. Hasil ini selaras dengan nilai indeks Carr yang cukup tinggi (lihat tabel 7), yang mengindikasikan flowabilitas bubuk yang baik.

Tabel 12. Karakteristik flowabilitas & kohesivitas susu kedelai bubuk

Run	CI (%)	HR
1	22,45	1,29
2	22,45	1,29
3	21,74	1,28
4	17,78	1,22
5	17,78	1,22

Hal ini dikarenakan bubuk yang diperoleh memiliki ukuran partikel yang cukup besar, yaitu antara 100 $\mu\text{m}$  sampai dengan 1 mm, dan tidak memiliki partikel halus (*fine particle*), dimana partikel dengan ukuran antara 20 sampai 40  $\mu\text{m}$  diklasifikasikan sebagai partikel yang sangat halus (*very fine particle*) (Masters, 1991). Semakin rendahnya ukuran partikel akan menyebabkan penurunan flowabilitas bubuk, karena terjadi peningkatan luas permukaan per unit massa (Fitzpatrick dkk., 2004; Fitzpatrick dan Ahrne, 2005). Dalam penelitiannya mengenai *Angle of Repose* (AOR), Erica dkk melaporkan adanya kenaikan flowabilitas dengan semakin meningkatnya ukuran partikel rata-rata (Erica dkk., 2009).

Partikel berukuran kecil memiliki flowabilitas yang buruk karena besarnya luas permukaan per unit massa bubuk. Sehingga luas permukaan kontak antar partikel bubuk semakin besar untuk terjadinya gaya kohesif, khususnya, dan gaya gesekan yang menghambat flowabilitas bubuk (Fitzpatrick, 2005).

Geldart dkk mempelajari flowabilitas dari 2 jenis bubuk (berbentuk bola-berpori dan angular tak berpori) dengan menggunakan metode AOR dan Rasio Hausner (HR). Mereka menyimpulkan bahwa nilai HR menurun dengan semakin meningkatnya ukuran partikel. Hasil tersebut menegaskan bahwa peningkatan ukuran partikel bubuk selalu diiringi dengan penurunan kohesivitas (Geldart dkk., 2006)

Pada umumnya, ukuran partikel yang paling baik untuk memperoleh dispersi yang cepat pada saat rekonstitusi adalah 150-200  $\mu\text{m}$  (Caric, 2003; Schubert, 1993).

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Pengeringan menggunakan terfluidakan partikel inert telah berhasil untuk mengeringkan susu kedelai pasta menjadi susu kedelai bubuk. Proses pengeringan sangat cepat, berlangsung pada 6 menit pertama. Kenaikan suhu udara pengering akan meningkatkan laju pengeringan. Laju pengeringan mengalami peningkatan dengan semakin tingginya kecepatan superfisial gas dan kadar air awal umpan. Efisiensi produksi bubuk mengalami kenaikan seiring semakin tingginya suhu udara, kecepatan superfisial udara, dan kadar air awal umpan. Hasil analisa proksimat (protein, lemak, karbohidrat dan abu) dari susu kedelai bubuk cukup baik dan sejalan dengan literatur. Wetabilitas dan dispersibilitas masih cukup tinggi, sedangkan flowabilitas dan kohesivitas bubuk sudah cukup baik.

#### **5.2. Saran**

Penelitian ini dapat menjadi dasar dari penelitian lanjutan dimasa depan. Kelanjutan penelitian menggunakan terfluidakan partikel inert dengan umpan susu kedelai cair dan menggunakan udara tekan untuk menyemprotkan umpan, atau penelitian dengan menggunakan sistem kontinyu, dimana umpan masuk secara kontinyu dan hasil produk juga diperoleh secara kontinyu akan menjadi kajian yang menarik. Selain itu, penelitian lanjutan dengan menggunakan terfluidakan partikel inert untuk mengeringkan bahan lain, seperti kopi dan obat-obatan juga bisa dicoba.

## BAB VI

### RINGKASAN

Susu kedelai merupakan larutan sari kacang kedelai yang kaya akan protein larut air, karbohidrat, dan minyak. Komposisi nutrisi, tampilan, dan kualitasnya nyaris sama dengan susu sapi. Susu kedelai merupakan pengganti susu sapi yang sangat ekonomis, karena hanya memiliki sedikit lemak jenuh dan non kolesterol, sehingga akan mengurangi risiko penyakit jantung. Selanjutnya, banyak permintaan produk susu kedelai dalam bentuk kering. Produk dalam bentuk bubuk kering sangat diinginkan karena memiliki umur yang lama, biaya transportasi dan penyimpanan yang rendah, dan produk dapat disalurkan ke berbagai daerah yang jauh. Dengan demikian, proses untuk memproduksi susu bubuk kedelai kering yang mudah larut dan tanpa kehilangan nutrisi yang bergizi sangat diinginkan. Saat ini berkembang teknologi untuk memproduksi susu bubuk dengan menggunakan pengeringan unggun terfluidakan (*fluidized bed*) inert partikel. Teknologi ini dapat digunakan juga untuk umpan lain yang berupa pasta atau larutan untuk kemudian diubah menjadi bentuk bubuk. Dibandingkan *spray dryer*, teknologi unggun terfluidakan inert partikel memiliki biaya yang lebih rendah, dengan tingkat kualitas produk yang sama. Pengering unggun terfluidakan memiliki volume dan luas area yang lebih kecil dibandingkan *spray dryer*. Sehingga biaya investasi dan operasi lebih rendah yang juga menurunkan konsumsi daya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja unggun terfluidakan partikel inert dan mengkaji kualitas produk susu kedelai bubuk yang dihasilkan. Kinerja alat meliputi kurva pengeringan dan efisiensi produksi bubuk, sedangkan kualitas produk meliputi analisa proksimat, wetabilitas & dispersibilitas, serta flowabilitas & kohesivitas.

Penelitian diawali dengan pembuatan susu kedelai pasta, yaitu dengan cara pemanasan susu kedelai cair pada suhu 60-65°C, hingga diperoleh konsentrasi sesuai variabel yang diinginkan. Selanjutnya, pasta susu kedelai tersebut dikeringkan dengan menggunakan unggun terfluidakan partikel inert, dimana partikel inert yang dipakai berbahan dasar plastik berbentuk bola. Penelitian dilakukan pada variasi suhu udara (40, 50, 60, 70, 80°C), kecepatan superfisial udara (3,5; 4,2; 4,9; 5,6; 6,3 m/det), dan kadar air awal umpan (18, 19, 20, 21, 22%). Analisa yang diamati adalah analisa proksimat, wetabilitas & dispersibilitas, serta flowabilitas & kohesivitas.

Proses pengeringan sangat cepat, berlangsung pada 6 menit pertama. Laju pengeringan mengalami peningkatan dengan semakin tingginya suhu dan kecepatan superfisial gas serta kadar air awal umpan. Efisiensi produksi bubuk mengalami kenaikan seiring semakin tingginya suhu udara, kecepatan superfisial udara, dan konsentrasi umpan. Hasil analisa proksimat susu kedelai bubuk cukup baik dan berada pada kisaran yang diinginkan. Wetabilitas dan dispersibilitas masih cukup tinggi, dan masih perlu ditingkatkan lagi. Sedangkan flowabilitas dan kohesivitas bubuk sudah cukup baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- AOAC, (2000). *Official methods of analysis* (17<sup>th</sup> ed.). Gaithersburg, MD. USA. Association of Official Analytical Chemists.
- Ang H.G., Kwik W.L., Lee C.K., Theng C.Y. (1986). Ultrafiltration studies of foods : Part I – The removal of undesirable components in soymilk and the effects on the quality of the spray-dried powder. *Food Chemistry*. 20 : 183-199.
- Baldwin A.J. & Sanderson, W.B. (1973). Factors affecting the reconstitution properties of whole milk powder. *New Zealand Journal of Dairy Science and Technology*. 8 : 92-100.
- Bhandari, B.R., Datta N., Howes T. (1997). *Problems associated with spray drying of sugar-rich foods*. *Drying technology*. 15 : 671-684.
- Cabral, R.A.F., Telis-Romero J., Telis V.R.N., Gabas A.L., Finzer J.R.D. (2007). Effect of apparent viscosity on fluidized bed drying process parameters of guava pulp. *Journal of Food Engineering*. 80: 1096–1106.
- Caric M. (2003). Milk powders : types and manufactures and physical and functional properties of milk powders. *Encyclopedia of Dairy Sciences*. 1869-1880. New York. Academic Press.
- Chandran A.N., Rao S.S., Varma Y.B.G. (1990). Fluidized bed of drying solids. *AIChE J*. 36 : 29-38.
- Early R. (2000). *The Technology of Dairy Products*. Marcel Dekker Inc. New York.
- Erdesz K., Ormos Z. (1996). Drying of paste-like materials in vibro-fluidized bed of inert particles. In : *Drying '86*, Vol 1, A.S. Mujumdar (Ed.), Hemisphere Publishing Corporation. N.Y.

- Erica E., Oliver J., Putsley T., Sharma J., dan Zhou J. (2009). Flowability of moist pharmaceutical powders. *Powder Technology*. 189 : 409-415.
- Fitzpatrick, J.J., dan Ahrne L. (2005). Food powder handling and processing : Industry problems, knowledge barriers and research opportunities. *Chemical Engineering Process*. 44 : 209-214.
- Fox P.F., McSweeney P.L.H. (2007). *Dairy Chemistry and Biochemistry*. Marcel Dekker Inc., New York.
- Freeman R.E. (2000). The flowability of powder : an empirical approach. *International Conference on Powder and Bulk Solids Handling*. ImechE HQ, London.
- Geldart, D., Abdullah, E.C., Hasan, A.P., Nwoke L.C., dan Wouters I. (2006). Characterization of powder flowability using measurement of angle of repose. *China Particuol*. 4 : 104-107.
- Grbavcic Z.B., Arsenijevic Z.L., Garic-Grulovic R.V. (2004). Drying of Slurries in Fluidized Bed of Inert Particles. *Journal of Drying Technology*. Vol. 22, No. 8, pp. 1793–1812.
- Groenewold H., Tsotsas E. (2007). Drying in Fluidized Beds with Immersed Heating Elements. *Chemical Engineering Science*. 62: pp. 481-502.
- Jinapong N., Suphantharika M., Jamnong P. (2008). Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. *Journal of Food Engineering*. 84: 194–205.
- Kim O.S., Lee D.H., Kim S.D. (2008). Drying characteristics of fine powders in an inert medium circulating fluidized bed. *Journal of Chemical Engineering of Japan*. vol. 41, no 7, 705-709.
- Kudra T., Mujumdar, A.S.M. (1995). Special drying techniques and novel dryers, pp. 1087–1149. In: *Handbook of Industrial Drying*. Mujumdar A.S. (Ed.), Marcel Dekker Inc. New York.



- Kunii D., Levenspiel O. (1977). *Fluidization Engineering*, Huntington, New York: Krieger.
- Liu K. S. (1997). *Soybeans: Chemistry, technology, and utilization*. New York, Chapman & Hall.
- Medeiros M. F. D., Rocha S. C. S., Alsina O. L. S., Jerônimo C. E. M., Medeiros U. K. L., da Mata A. L. M. L. (2002). Drying of Pulps of Tropical Fruits in Spouted Bed: Effect of Composition on Dryer Performance. *Journal of Drying Technology*. Volume 20, Issue 4 & 5\_, 855 – 881.
- Mujumdar A.S. (1995). *Handbook of Industrial Drying*. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Ophardt C. E. (2003). *Protein and Its Properties*. Marcel Dekker Inc., New York..
- Omosaiye O., Cheryan M., Matthews M.E. (1978). Removal of oligosaccharides from soybean water extracts by ultrafiltration. *Journal of Food Sciences*. 43, 354-360.
- Ortega-Rivas E. (2005). Handling and processing of food powders and particulates, In C. Onwulata (Ed.), *Encapsulated and powdered foods* (pp 75-144). Boca Raton, FL : CRC Press.
- Pan Y. K., Li J. G., Zhao L. J., Ye W. H., Mujumdar A. S., Kudra T. (2001). Performance Characteristics of The Vibrated Fluid Bed of Inert Particles for Drying of Liquid Feeds. *Journal of Drying Technology*. 19(8), 2003–2018.
- Parikh D.M., Bonck J.A., Mogavero M. (1997). Batch of fluid bed granulation. In D. M. Parikh (Ed.), *Handbook of pharmaceutical granulation technology* (pp 227-302). Marcel Dekker, Inc., New York.
- Pomeranz Y. (1991). *Functional properties of food components* (2<sup>nd</sup> ed), California. Academic Press, Inc.

- Ramos A.L.M. (1999). *Drying of Pulps of Natural Frits in Spouted Bed*. Marcel Dekker Inc., New York.
- Schubert H. (1993). Instantanization of powdered food products. *International Chemical Engineering*. 33, 28-45.
- Schuchmann H. (1995). Production of instant foods by jet agglomeration. *Food Control*. 6: 95-100.
- Spiegel T. (1999). Whey protein aggregation under shear condition – effects of lactose and heating temperature on aggregate size and structure. *International Journal of Food Science and Technology*. 34: 523-531.
- Spitzner Neto P.I., Freire J.T. (1997). Studies on Drying of Pastes in Spouted Bed : Influence of the paste on the process. *Proceedings of 25th Brazilian Congress of Particulates systems*.
- Strumillo C., Kudra T. (1986). *Drying: Principles, Applications and Design*. Gordon and Breach Science Publisher. New York.
- Tamime A.Y. (2009). *Dairy Powders and Concentrated Milk Products*. John Wiley and Sons, New York.
- Varnam A.H., Sutherland J.P. (2001). *Milk and Milk Products*. Gordon and Breach Science Publisher, New York.
- Vasic J., Deman J.M. (1995). Effect of Temperature History on the Solid Fat Content of Milk Fat. *Journal of Dairy Research*. 75: 27-35.
- Wijeratne D. B. T. (1993). *Spray drying of soymilk*. Ph.D. Thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign.