



## PENGUNAAN ZEOLITE SINTETIS DALAM PENGERINGAN GABAH DENGAN PROSES FLUIDISASI INDIRECT CONTACT

Affian Widjanarko, Ridwan, M. Djaeni, Ratnawati<sup>\*)</sup>

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jln. Prof. Soedarto, Tembalang, Semarang, 50239, Telp/Fax: (024)7460058

### Abstrak

*Proses pengeringan gabah menjadi salah satu kendala yang dialami oleh petani padi di Indonesia. Hal ini disebabkan karena para petani masih mengandalkan panas matahari untuk mengeringkan gabah hasil panen mereka. Sementara itu, pengeringan jenis ini masih terkendala oleh musim. Pengeringan dengan proses fluidisasi dengan memanfaatkan zeolite dipertimbangkan menjadi alternatif proses pengeringan gabah. Tujuan penelitian ini, memanfaatkan zeolite untuk mempercepat proses pengeringan gabah, mengetahui hubungan suhu udara masuk pengering dengan laju pengeringan, dan mengetahui hubungan laju alir udara masuk pengering dengan laju pengeringan. Adapun kondisi operasi pada percobaan ini adalah suhu udara pengering ( $30^{\circ}\text{C}$ ;  $40^{\circ}\text{C}$ ;  $50^{\circ}\text{C}$  dan  $60^{\circ}\text{C}$ ), laju alir udara pengering (1 m/s; 1,5 m/s; 2 m/s dan 2,5 m/s) dan zeolite 1 kg. Penelitian ini dilakukan dengan mengalirkan udara kering pada kondisi operasi tertentu kemudian dikontakkan dengan gabah pada unggun fluidisasi hingga diperoleh kadar air 12 – 14%. Hasil penelitian yang didapatkan menunjukkan pada suhu  $30^{\circ}\text{C}$ ,  $N_c=0,0082$  sedangkan pada suhu  $60^{\circ}\text{C}$ ,  $N_c=0,0138$ . Pada laju alir udara 1 m/s,  $N_c=0,0094$  sedangkan pada laju alir udara 2,5 m/s,  $N_c=0,0118$ . Dari data ini dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi suhu dan laju udara pengering, laju pengeringan akan semakin cepat, sehingga menyebabkan proses pengeringan semakin cepat.*

**Kata kunci:** pengeringan; suhu; laju alir; zeolite; unggun fluidisasi

### Abstract

*Grain drying process being one of the constraints experienced by grain farmers in Indonesia. This is because the farmers still rely on the sun to dry their grain crops. Meanwhile, the drying is still constrained by the type of season. Drying by fluidization processes using zeolite considered an alternative to grain drying process. The purpose of this research, make use of zeolite to accelerate the drying of grain, determine the relation of drying air temperature with drying rate and determine the relation of air flow rate into the dryer with drying rate. The operating conditions in this experiment is the drying air temperature  $30^{\circ}\text{C}$ ;  $40^{\circ}\text{C}$ ;  $50^{\circ}\text{C}$  and  $60^{\circ}\text{C}$ , drying air flow rate (1 m/s; 1,5 m/s; 2 m/s and 2,5 m/s) and 1 kg of zeolite. The research was conducted by flowing dry air at a specific operating conditions and then contacted with the grain in the fluidized bed to obtain the water content of 12-14%. The results obtained indicate the temperature of  $30^{\circ}\text{C}$ ,  $N_c = 0,0082$ , while the temperature of  $60^{\circ}\text{C}$ ,  $N_c = 0,0138$ . In the air flow rate of 1 m/s,  $N_c = 0,0094$  while the air flow rate of 2,5 m/s,  $N_c = 0,0118$ . From this data it can be concluded that the higher the temperature and the rate of the air dryer, the drying rate will be faster, so as to make the drying process faster.*

**Keywords:** drying; temperature; flow rate; zeolite; fluidized bed

## 1. Pendahuluan

Beras merupakan komoditas makanan pokok di Indonesia, sehingga membutuhkan penanganan khusus untuk memenuhi kebutuhannya di dalam negeri. Salah satunya dengan meningkatkan kecepatan proses pengeringan gabah. Indonesia pada tahun 2007 merupakan Negara penghasil gabah terbesar ketiga dunia. Gabah hasil panen di Indonesia saat ini mengalami pemunduran dalam segi kuantitasnya. Hal ini dikarenakan penanganan yang salah oleh para petani, salah satunya saat proses pengeringan, sehingga banyak gabah yang menyusut (20% dari produksi).

<sup>\*)</sup>Penulis Penanggung Jawab (Email: [ratnawati\\_hartono@undip.ac.id](mailto:ratnawati_hartono@undip.ac.id))

Pengeringan merupakan suatu proses penguapan air dari bahan basah dengan media pengering (bisa udara atau gas) melalui introduksi panas (proses perpindahan moisture dari suatu material dalam zat padat).

Saat ini banyak metode yang digunakan dalam pengeringan gabah. Namun pengeringan gabah yang umum digunakan oleh para petani adalah dengan penjemuran menggunakan sinar matahari ataupun menggunakan alat pengering buatan (*artificial dryer*). Pengeringan dengan menggunakan sinar matahari sering mengalami kendala, karena tergantung pada sinar matahari. Apalagi panen raya sering terjadi pada musim penghujan, sehingga diperlukan alat pengering buatan, yaitu menggunakan proses fluidisasi.

Pengeringan menggunakan proses fluidisasi dapat dipertimbangkan karena mutu produk yang didapatkan relatif baik (seragam), kontinuitas produksi terjamin, dapat dioperasikan siang dan malam serta dapat dilakukan pemantauan kadar air akhir dalam gabah. Namun pengeringan ini membutuhkan biaya investasi tinggi dan biaya operasi tinggi, karena membutuhkan energi yang cukup besar.

Untuk menutupi kekurangan pada pengeringan menggunakan proses fluidisasi, digunakan zeolite. Di mana pada sistem ini udara dipanaskan dengan suhu 30-60°C dan dilewatkan ke zeolite, zeolite akan menyerap air dari udara ini kemudian udara dikontakkan ke gabah, sehingga kelembaban udara akan terjaga rendah dan *driving force* proses pengeringan tetap tinggi. Sehingga proses pengeringan menjadi lebih cepat, dan energi efisiensi proses pengeringan diprediksikan menjadi tinggi (sangat efisien). Proses pengeringan dengan cara adsorpsi menggunakan zeolite ini, nantinya diharapkan dapat menjadi suatu pilihan untuk menggantikan sistem pengering gabah konvensional.

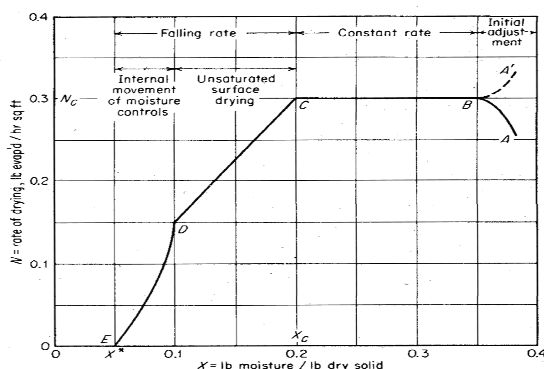
Gabah dapat dikeringkan dengan berbagai cara, salah satunya pengeringan adsorpsi dengan zeolite. Pengeringan adsorpsi dengan zeolite bertujuan untuk mempercepat proses pengeringan. Pada proses pengeringan ini variabel yang digunakan adalah suhu pemanas dan kecepatan udara. Dalam hal ini pengaruh input variabel yaitu suhu pemanas, kecepatan udara, terhadap kecepatan pengeringan perlu untuk diteliti.

Pengeringan adalah suatu proses penguapan air dari bahan basah dengan media pengering (bisa udara atau gas) melalui introduksi panas (Perry dan Green, 1988). Contoh yang sederhana adalah pengeringan dengan sinar matahari dimana udara luar yang mendapatkan panas dari matahari kontak dengan bahan-bahan basah yang di tempat terbuka. Karena kontak dengan udara yang panas/hangat maka air dalam bahan akan menguap dan bahan akan menjadi lebih kering tergantung dari kecepatan udara (dalam hal ini angin), tingkat kelembaban relatif dan suhu udara setempat (Djaeni, 2008). Fenomena yang mirip juga diterapkan dalam industri, namun dalam proses ini udara sebagai media pengering dikontrol kecepatan, suhu dan kelembabannya untuk mendapatkan bahan kering dengan kadar air yang standar.

Secara umum proses pengeringan terdiri dari dua langkah proses yaitu penyiapan media pengering (udara) dan proses pengeringan bahan. Penyiapan media dilakukan dengan memanaskan udara, yang dapat dilakukan dengan pemanas alam (matahari, panas bumi) atau buatan antara lain listrik, pembakaran kayu, arang, batubara, gas alam dan bahan bakar minyak (Kudra dan Mujumdar, 2002). Dari aspek mikroskopis, ada 2 fenomena penting dalam proses pengeringan yaitu: perpindahan panas dari media pengering ke bahan yang dikeringkan, dan perpindahan masa air dari bahan yang dikeringkan ke media pengering (Treyball, 1999). Dengan kata lain, operasi pengeringan merupakan operasi yang melibatkan perpindahan massa dan panas secara simultan. Pada proses ini terjadi dalam 3 tahapan, yaitu: pemanasan pendahuluan atau penyesuaian temperatur bahan yang dikeringkan, pengeringan dengan kecepatan konstan (*Constant Rate Periode*), dan pengeringan dengan kecepatan menurun (*Falling Rate Periode*), seperti pada gambar 1 (Demerle dan Walter, 1988; Treyball, 1999).

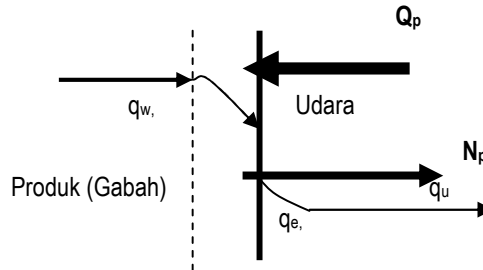
Berdasarkan pada gambar 1, maka waktu pengeringan untuk bahan dapat ditentukan. Waktu pengeringan ini diperlukan dalam membuat dimensi alat pengering, kecepatan udara yang harus dicat, serta kapasitas bahan yang dapat dikeringkan.

Berdasarkan pada gambar 1, maka waktu pengeringan untuk bahan dapat ditentukan. Waktu pengeringan ini diperlukan dalam membuat dimensi alat pengering, kecepatan udara yang harus dicatat, serta kapasitas bahan yang dapat dikeringkan.



**Gambar 1.** Hubungan Kecepatan Pengeringan terhadap Kadar Air (Treyball, 1999)

Pada proses pengeringan, air dari bahan basah diuapkan dengan media seperti gas atau udara dengan introduksi panas (lihat gambar 2). Panas *sensible* yang dibawa udara ini ( $Q_p$ ) akan memanasi permukaan bahan basah, sehingga suhunya naik, dan air akan teruapkan.



**Gambar 2.** Mekanisme Proses Pengeringan

Dalam proses pengeringan, kecepatan penguapan air dari bahan basah ditentukan oleh kecepatan udara yang digunakan, kelembaban relatif udara, dan suhu udara. Kelembaban relatif udara akan menentukan besarnya kandungan air dalam bahan pada keadaan seimbang ( $q_{e,p}$ ), dimana sesuai persamaan Oswin, semakin tinggi kelembaban relatifnya, maka semakin besar harga  $q_{e,p}$  (lihat persamaan 1, Djaeni *dkk*, 2008).

$$q_{e,p} = (C_0 + C_1 T_u) RH \quad (1)$$

Dalam hubungan ini  $q_{e,p}$  adalah kadar air pada produk dalam keadaan setimbang dengan udara (kg air/kg produk kering),  $C_0, C_1$  adalah tetapan kesetimbangan masing-masing dalam kg air/kg produk kering dan kg air/kg produk kering/ $^{\circ}C$ ,  $T_u$  adalah suhu udara ( $^{\circ}C$ ) dan  $RH$  adalah kelembaban relatif udara.

Jika  $q_{e,p}$  semakin kecil, maka beda  $q_{e,p}$  dengan kadar air dalam produk ( $q_{w,p}$ , kg air/kg produk kering) semakin kecil, sehingga kecepatan proses pengeringan ( $N_p$ ) semakin rendah (lihat persamaan 2, Sediawan dan Prasetya, 1997).

$$N_p = k_p (q_{w,p} - q_{e,p}) \quad (2)$$

Dalam hubungan ini,  $N_p$  kecepatan pengeringan (kg air/kg produk/menit), dan  $k_p$  adalah konstanta pengeringan (1/menit) yang tergantung dari suhu operasi. Menurut persamaan Arrhenius, korelasi  $k_p$  dengan suhu adalah sebagai berikut (Djaeni *dkk*, 2005):

$$k_p = C_2 \exp[C_3 / (273,15 + T_u)] \quad (3)$$

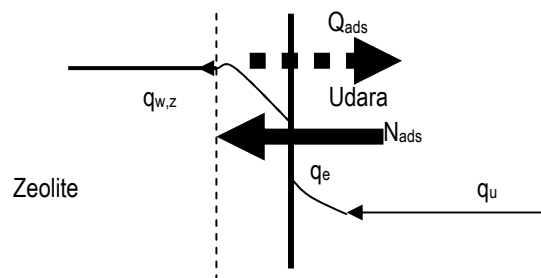
Dari persamaan 3, jelas bahwa semakin tinggi suhu semakin cepat proses pengeringannya. Adapun kecepatan udara yang tinggi, maka akan meningkatkan kapasitasnya dalam menguapkan air dari bahan. Dengan demikian, semakin tinggi kecepatan udara ( $v$ , m/menit), semakin tinggi pula kemampuannya dalam menguapkan air (lihat persamaan 4, Kiranoudis *dkk*, 1996 )

$$C_2 = C_4 v \quad (4)$$

Dalam hubungan ini,  $C_2$  konstanta kecepatan pengeringan (1/menit), dan  $C_4$  adalah konstanta (1/meter). Dehumidifikasi (penurunan kadar uap air) udara sebagai media pengering menggunakan adsorben (silika, alumina, pasir, tanah, LiCl, alkali atau zeolite) berpotensi untuk meningkatkan kualitas produk, dan energi efisiensi proses pengeringan (Djaeni *dkk* 2007; Bussman, 2007; Revila *dkk*, 2006).

Adsorpsi merupakan proses penyerapan, dimana suatu campuran gas dikontakkan dengan material tertentu sehingga akan terjadi penyerapan, dan berkurangnya kadar air dari material yang diserap.

Dalam proses adsorpsi pada pengeringan gabah, uap air dalam udara akan diserap oleh zeolite. Kecepatan proses adsorpsi ditentukan oleh kelembaban relatif udara yang diserap, suhu, dan konsentrasi air dalam zeolite.



**Gambar 3.** Mekanisme Proses Adsorpsi

Pada proses ini udara diadsorpsi dan dipanaskan pada suhu 30-60°C kemudian dilewatkan pada zeolite yang akan menyerap uap air yang tersisa dari udara. Udara yang telah kering (humidity yang sangat rendah) akan menguapkan air dari gabah (produk), dengan demikian akan terjadi aliran transfer massa air dari udara ke zeolite, dan dari udara ke gabah.

Apabila didalam zeolite terkandung air, maka akan menurunkan driving force proses penyerapan, sehingga kecepatan proses menjadi lambat (lihat persamaan 1, Djaeni *dkk*, 2008). Untuk itu dibutuhkan kelembaban relatif udara yang tinggi agar harga konsentrasi kesetimbangannya juga tinggi (lihat persamaan 2), dimana semakin tinggi konsentrasi kesetimbangan, maka semakin tinggi pula driving force-nya (lihat persamaan 1).

$$N_{ads} = k_{ads} (q_{e,z} - q_{w,z}) \quad (1)$$

Dalam hubungan ini,  $N_{ads}$  kecepatan adsorpsi (kg air/kg zeolite kering/menit), dan  $k_{ads}$  adalah konstanta pengeringan (1/menit) yang tergantung dari suhu operasi,  $q_{e,z}$  adalah kadar air dalam zeolite yang setimbang dengan udara (kg air/kg zeolite kering),  $q_{w,z}$  adalah air yang terkandung dalam zeolite (kg air/kg zeolite kering).

Harga  $q_{e,z}$  dapat ditentukan dengan persamaan 2 berikut ini (Djaeni, 2008):

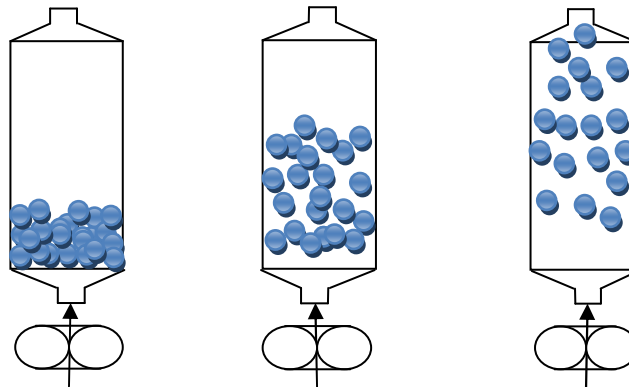
$$q_{e,z} = C_5 [\tanh(\log(P_{v,u}) + C_6 T_u)] \quad (2)$$

$$P_{v,u} = q_{v,u} / [0,622(1 + q_{v,u})] \quad (3)$$

Dalam hubungan ini,  $P_{v,u}$  tekanan uap air (bar),  $q_{v,u}$  adalah kadar air dalam udara (kg air/kg udara kering),  $q_{v,u}$  adalah uap air dalam udara (kg air/kg udara kering). Suhu udara yang semakin tinggi akan mempercepat penyerapan air, namun zeolite akan cepat jenuh karena harga  $q_{e,z}$  akan semakin kecil. Pengaruh suhu dalam kecepatan adsorpsi dapat mengikuti persamaan 4 berikut:

$$k_{ads} = C_7 \exp[C_8 / (273,15 + T_u)] \quad (4)$$

Fluidisasi merupakan suatu proses pengontakkan butiran-butiran padat dengan fluida (gas/cair). Jika laju fluida (aliran gas) dinaikkan maka pressure drop oleh tahanan partikel padat juga meningkat ( $\Delta P$  meningkat). Jika laju alir fluida terus ditingkatkan, partikel padat mulai bergerak dan terangkat sampai terjadi suspensi sempurna (fluidized bed) ( $\Delta P$  konstan). Bila laju alir fluida dinaikkan lagi, maka partikel zat padat akan ikut mengalir seperti fluida, yang biasanya dimanfaatkan untuk transportasi zat padat bentuk partikel halus (pneumatic conveyer) (Chen *dkk*, 2000).



**Gambar 6.** (a) Unggun Diam; (b) Unggun Terfluidakan; (c) Unggun fluida maksimum

Di dalam fluidisasi dikenal istilah laju alir semu gas pada fluidisasi minimum, laju alir semu dipengaruhi oleh besarnya  $N_{Re,P}$ .

Untuk  $N_{Re,P} < 1$

$$V_{oM} = \frac{g(\rho_v - \rho)}{150\mu} \frac{\epsilon_M^3}{(1 - \epsilon_M)} \phi_s^2 D_p^2 \quad (1)$$

Untuk  $N_{Re,P} > 1000$

$$V_{oM} = \sqrt{\frac{\phi_s D_p (\rho_v - \rho) \epsilon_M^3}{1,75 \rho}} \quad (2)$$

$N_{Re,P}$  didapatkan dari persamaan sebagai berikut :

$$N_{Re,P} = \frac{D_v U_t \rho}{\mu} \quad (3)$$

Dimana diameter partikel adalah  $D_p$ , densitas fluida adalah  $\rho$ , viskositas fluida adalah  $\mu$ , dan terminal velocity adalah  $U_t$ . Untuk  $U_t$  (terminal velocity) didapatkan dari persamaan sebagai berikut :

Untuk  $N_{Re,P} < 1000$

$$U_t = \frac{gD_v^2(\rho_v - \rho)}{18\mu} \quad (4)$$

Untuk  $N_{Re,P} = 1000-20000$

$$U_t = \sqrt{\frac{1,75 D_v (\rho_v - \rho)}{\rho}} \quad (5)$$

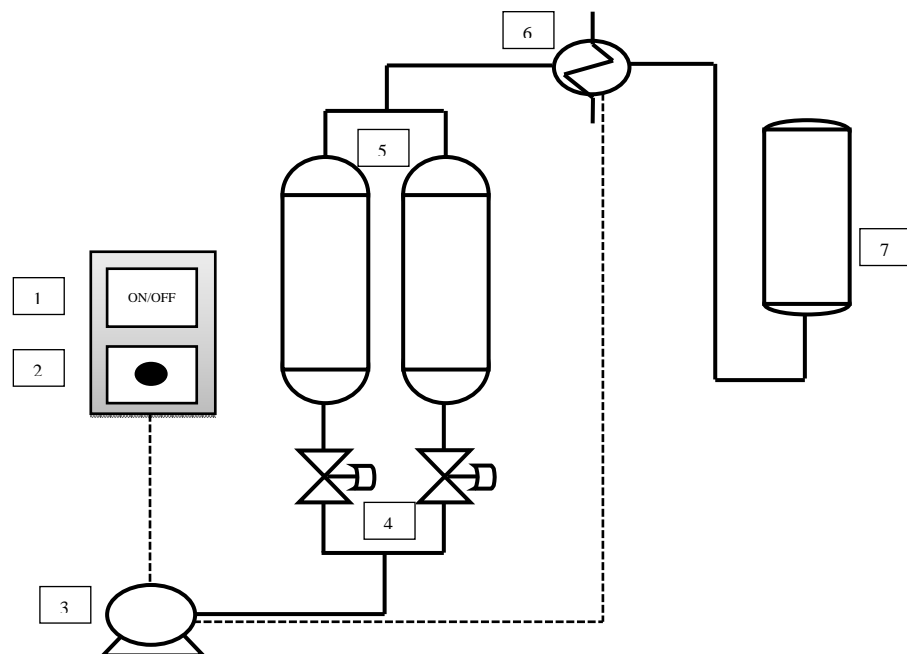
Fluidisasi indirect contact adalah proses fluidisasi dengan melewati terlebih dahulu udara panas ke zat lain (zeolite) guna mengurangi humidifikasi udara (namun *driving force* proses pengeringan tetap tinggi), kemudian dilanjutkan dikontakkan ke gabah yang ada dalam kolom fluidisasi.

Kelebihan proses ini adalah proses pengeringan menjadi lebih cepat, dan energi efisiensi proses pengeringan diprediksikan menjadi tinggi (sangat efisien).

## 2. Bahan dan Metode Penelitian

### Bahan:

Bahan yang digunakan adalah gabah, zeolite (3A).



**Gambar 8.** Alat Pengering Unggun Terfluidakan

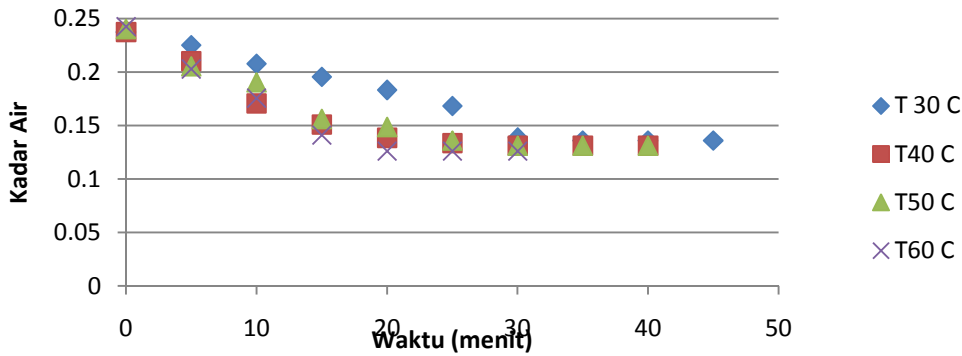
### Cara Kerja :

Gabah ditimbang sesuai dengan variabel, lalu dimasukkan dalam unggun fluidisasi (lihat gambar 8) kemudian zeolite ditimbang dan dimasukkan kekolom adsorpsi. Sebagai media, udara luar dipanaskan pada suhu 30°C, 40°C, 50°C, dan 60°C dengan kecepatan udara masuk 1m/s, 1,5 m/s, 2 m/s, 2,5 m/s dan dialirkan pada unggun sampai bahan yang ada terfluidakan. Respon yang berupa berat gabah, diukur setiap 5 menit sampai didapatkan berat gabah kering konstan. Dari data berat gabah selama waktu operasi dapat ditentukan kecepatan proses pengeringan pada berbagai kondisi.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### Pengaruh Suhu Udara Pengering terhadap Proses Pengeringan.

Percobaan ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh berbagai kondisi operasi terhadap proses pengeringan. Variabel operasi yang digunakan dalam penelitian ini laju alir udara ( 1 m/s; 1,5 m/s; 2 m/s; 2,5 m/s) dan suhu udara pengering (30°C; 40°C; 50°C; 60°C). Pengaruh suhu udara pengering dapat diamati pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Pengaruh Suhu terhadap Proses Pengeringan pada Variabel Laju Alir Udara 2,5 m/s

Gambar 3.1 menunjukkan bahwa suhu sangat berpengaruh terhadap proses pengeringan, Pada percobaan ini variabel suhu 30°C, waktu pengeringan yang dicapai 45 menit untuk mencapai kadar air 12% - 14%. Sedangkan pada variabel suhu 60°C, waktu pengeringan yang dicapai 30 menit. lebih lengkap waktu pengeringan yang dicapai masing – masing varibel bisa dilihat di gambar 3.1.

Dari percobaan ini dapat disimpulkan bahwa semakin besar suhu maka proses pengeringan akan semakin cepat. Percobaan ini sejalan dengan percobaan yang dilakukan oleh Pakorn Luangmalawat dkk (2007).

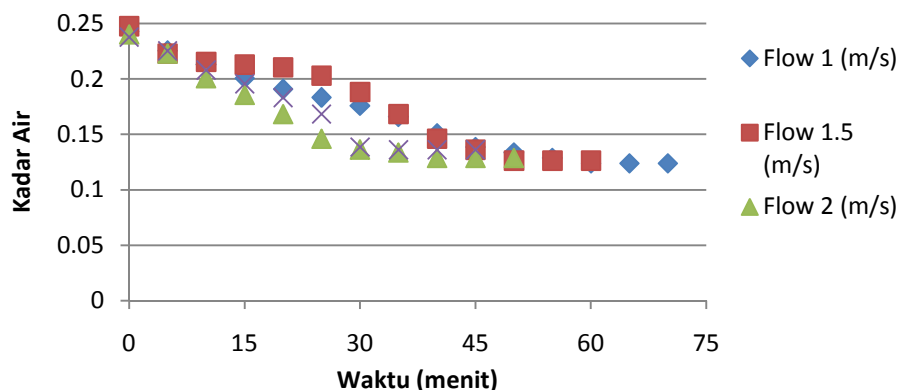
Pada proses pengeringan, air dari bahan basah diuapkan dengan media seperti gas atau udara dengan introduksi panas. Panas yang dibawa udara ini akan memanasi permukaan bahan basah, sehingga suhunya naik, dan air akan teruapkan.

Semakin tinggi suhu udara pengering maka *relative humidity* udara akan semakin rendah, sehingga menyebabkan transfer panas dan massa antara udara dan gabah akan semakin besar dan pada akhirnya proses pengeringan akan lebih cepat.

Proses penyerapan air oleh zeolite ini bersifat eksotermis, sehingga melepaskan panas yang akan tetap mempertahankan temperatur udara pengering (Djaeni dkk, 2010). Pada penelitian ini pemakaian zeolite jumlahnya tetap yakni 1 kilogram. Penggunaan zeolite menyebabkan *relative humidity* di sekitar unggun akan terjaga rendah sehingga air yang teruapkan dari gabah akan semakin banyak dan proses pengeringan pun akan terjadi lebih cepat. Efisiensi pengeringan dengan menggunakan zeolite ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Atuonwu, C James dkk (2011) dimana penelitian mereka menunjukkan pemakaian zeolite ini selain bermanfaat dari sisi efisiensi energi, juga dapat memperbaiki kualitas produk. Jadi dapat disimpulkan, semakin tinggi suhu udara pengering, maka waktu pengeringan semakin cepat dan dengan adanya penggunaan zeolite maka waktu pengeringan juga semakin cepat.

### Pengaruh Laju Alir Udara Pengering terhadap Proses Pengeringan

Pengaruh Laju Alir udara pengering dapat diamati pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Pengaruh Laju Alir Udara terhadap Proses Pengeringan pada Variabel Suhu Udara 30°C

Gambar 3.2 diatas bahwa laju alir udara sangat berpengaruh terhadap proses pengeringan. Pada percobaan ini pada variabel laju alir udara 1 m/s waktu pengeringan yang dicapai 70 menit untuk mencapai kadar air 12% - 14%, sedangkan untuk variabel laju alir udara 2,5 m/s waktu pengeringan yang dicapai 40 menit, lebih lengkap waktu pengeringan yang dicapai masing – masing varibel bisa dilihat di gambar 3.2. Dari percobaan ini dapat disimpulkan bahwa semakin besar laju alir udara maka proses pengeringan akan semakin cepat.

Pada proses pengeringan, air dari bahan basah diuapkan dengan media seperti gas atau udara dengan introduksi panas. Panas yang dibawa udara ini akan memanasi permukaan bahan basah, sehingga suhunya naik, dan air akan teruapkan. Oleh karena itu semakin tinggi laju alir udara pengering, maka proses pengeringan akan berjalan semakin cepat. Hasil percobaan ini sejalan dengan penelitian pengeringan gabah sebelumnya yang pernah dilakukan oleh Cao, dkk (2004), hasil penelitiannya memberikan gambaran bahwa dengan semakin besar laju alir udara pengering maka kadar air akan semakin berkurang. Sehingga bisa disimpulkan bahwa semakin besar laju alir maka waktu proses pengeringan akan semakin singkat.

**Pengaruh Suhu dan Laju Alir Udara terhadap Laju Pengeringan dan Kadar Air.**

Laju pengeringan dapat dihitung berdasarkan persamaan:

$$N_c = \frac{M_o - M_t}{t} \quad (1)$$

Keterangan:

Nc = Laju Pengeringan

Mo = kadar air awal

Mt = kadar air akhir

t = waktu yang diperlukan untuk menurunkan kadar air dari Mo menjadi Mt

(sumber: SII 1020-84)

Tabel 3.1 Pengaruh Suhu dan Laju Alir Udara terhadap Kadar Air

Laju Alir Udara (m/s)	SUHU							
	30°C		40°C		50°C		60°C	
	t (menit)	X (%)	t (menit)	X (%)	t (menit)	X (%)	t (menit)	X (%)
1,0	70	12,38	60	12,13	40	13,79	35	12,22
1,5	60	12,62	55	12,87	40	13,30	35	11,98
2,0	50	12,87	50	12,62	40	13,05	35	11,49
2,5	45	13,61	40	13,11	40	12,56	30	11,25

Tabel 3.2 Pengaruh Suhu dan Laju Alir Udara terhadap Laju pengeringan (Nc).

Laju Alir Udara (m/s)	SUHU			
	30°C	40°C	50°C	60°C
	Nc (%/menit)	Nc (%/menit)	Nc (%/menit)	Nc (%/menit)
1,0	0,0068	0,0083	0,0095	0,0129
1,5	0,008	0,008	0,0105	0,0123
2,0	0,009	0,0092	0,011	0,014
2,5	0,0091	0,011	0,011	0,016

Tabel 3.2 dapat dilihat bahwa suhu dan laju alir udara sangat berpengaruh terhadap laju pengeringan. Pada percobaan didapatkan, variabel suhu 30°C dengan laju alir udara 1 m/s, laju pengeringan yang didapat 0,0068/menit sedangkan untuk variabel suhu 60°C dengan laju alir 2,5 m/s, laju pengeringan yang didapat 0,016/menit, lebih lengkap laju pengeringan yang dicapai masing – masing variabel bisa dilihat di tabel 3.2. Dari percobaan ini bisa disimpulkan bahwa semakin tinggi suhu dan laju alir udara maka laju pengeringan semakin cepat. Hasil percobaan ini sejalan dengan penelitian pengeringan gabah sebelumnya yang pernah dilakukan oleh Pakorn Luangmalawat dkk (2007).

**4. Kesimpulan**

Pada penelitian ini, bila ditinjau dari suhu operasi, semakin tinggi suhu udara pengering, maka laju pengeringan semakin cepat, suhu tertinggi dalam penelitian ini 60°C. Jika ditinjau dari laju alir udara pengering, semakin tinggi laju alir udara pengering maka laju pengeringan juga semakin cepat, laju alir udara tertinggi dalam penelitian ini 2,5 m/s. Proses pengeringan dengan menggunakan zeolite sangat efektif, karena zeolite sangat berpengaruh untuk menyerap kandungan air sehingga laju pengeringan semakin cepat.

**Ucapan Terima Kasih**

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Laboratorium Rekayasa Proses dan Kimia atas kontribusinya sebagai tempat penelitian ini.

**Daftar Pustaka**

- Anonymous (2009). *Siliporite data*. CECA and ATO. <http://www.cecachemicals.com/sites/ceca/en/home.page>
- Berita Resmi Statistik. No.17/V/1 April 2002. Perkembangan Harga Produsen Gabah di Tingkat Petani
- Bussmann P.J.T. (2007). Energy and product benefits with sorption drying. NWGD-symposium, 15th November; Utrecht, The Netherlands
- Demmerle, R.L.; Walter, J.S.(1988). *Modern Chemical Processes*. Volume I, Reinhold Publishing Corporation, New York, USA
- Djaeni, M.; Bartels, P.; Sanders, J.; Straten, G. van; Boxtel, A.J.B. van. (2007). Process integration for food drying with air dehumidified by zeolites. *Drying Technology*, 25(1), 225-239
- Djaeni, M. (2008). Energy Efficient Multistage Zeolite Drying for Heat Sensitive Products. Doctoral Thesis, Wageningen University, The Netherlands, ISBN:978-90-8585-209-4,
- Djaeni, M.; Bartels P.V.; Sanders J.P.M.; van Straten, G.; van Boxtel, A.J.B. CFD for Multistage Zeolite Dryer Design. *Journal of Drying Tech.* 2008, 26 (4)
- Hu, X.; Zhang Y.; Hu, C.; Tao, M.; Chen S. (1988). A comparison of methods for drying seeds: vacuum freeze-drier versus silica gel. *Seed Science Research*; vol. 8, paper 7
- Kudra,T.; Mujumdar, A.S. (2002). *Advanced Drying Technology*. Marcel Dekker Inc., New York, USA
- Kiranoudis C.T.; Maroulis Z.B.; Marinos-Kouris D. Drying of solids: Selection of some continuous operation dryer types. *Computer & Chem. Eng.* 1996, 20, Supplement 1, S177-182
- Laxhuber P.M, Schmidt R. and Grupp C. (2001). Air ventilated heating and cooling based on zeolite technology. RTO HFM Symposium, 8-21 October, Dresden, Germany
- Mastekbayeva G.A; Leon M.A; Kumar S. (1998). Performance evaluation of a solar tunnel dryer for chilli drying. *ASEAN Seminar and Workshop on Drying Technology*, Bangkok, Thailand; 3-5 June
- Ocansey, O.B. (1988). Freeze-drying in a fluidized-bed atmospheric dryer and in a vacuum dryer: Evaluation of external transfer coefficients. *J. Food Engineering*,; vol. 7,issue 2; 127-146
- Ratti C (2001). Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review. *Journal of Food Engineering* vol. 49, 311-319
- Revilla, G.O.; Velázquez, T.G.; Cortés, S.L.; Cárdenas, S.A. (2006). Immersion drying of wheat using Al-PILC, zeolite, clay, and sand as particulate media. *Drying Technology*, 24(8), 1033-1038