

Aplikasi Sistem Pengering Adsorpsi

Untuk Bahan Pangan dan Aditif



Penulis: M.Djaeni, N. Asiah, SB. Sasongko
Jurusan Teknik Kimia Universitas Diponegoro

Aplikasi Sistem Pengering Adsorpsi Untuk Bahan Pangan dan Aditif

**Penulis : Mohamad Djaeni, Nurul Asiah, Setia Budi Sasongko
Jurusan Teknik Kimia Universitas Diponegoro**

Aplikasi Sistem Pengering Adsorpsi Untuk Bahan Pangan dan Aditif

Penulis : Mohamad Djaeni, Nurul Asiah, Setia Budi Sasongko

Penerbit

UNNES PRESS

Jl. Kelud Raya No.2 Semarang 50232

Telp/ Fax. (024) 8415032

Hak Cipta © pada Penulis dan dilindungi Undang-Undang Penerbitan

Hak Penerbitan pada UNNES PRESS

Dicetak oleh UNIVERSITY Press

Jl. Kelud Raya No.2 Semarang 50232 Telp/Fax. (024) 8415032

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh buku ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari penerbit.

Aplikasi Sistem Pengering Adsorpsi Untuk Bahan Pangan dan Aditif

Mohamad Djaeni, Nurul Asiah, Setia Budi Sasongko

Desain cover : Harjono

Setting : Moh Tamrin

664 Aplikasi Sistem Pengering Adsorpsi untuk Bahan Pangan Aditif
MOH /Djaeni Mohamad, dkk.; -Cet.1-, -illus,- Semarang: Unnes press, 2015
A x + 135 hal; 279 cm.

1. Teknologi Makanan
1. Djaeni Mohamad, dkk.; II. Judul

ISBN 978 602 285 046 5

Kata Pengantar

Kami bersyukur kepada Allah Ta'ala, atas nikmatnya, sehingga akhirnya kami mampu menulis buku ini. Buku ini disusun berdasarkan hasil riset yang telah dilaksanakan menggunakan dana dari DP2M DIKTI, serta hasil-hasil sebelumnya yang telah dipublikasikan baik oleh penyusun maupun peneliti lain yang diterbitkan baik pada jurnal nasional, internasional, maupun forum seminar pada level nasional dan internasional.

Penyusunan buku ini dimaksudkan sebagai salah satu referensi untuk bahan kuliah, riset atau keperluan lain seperti aplikasi industri-UKM, dan pelatihan-pelatihan. Kami berharap buku ini akan memberikan sumbangan yang besar terutama dalam dunia teknologi pengeringan. Disamping itu kritik dan saran perbaikan juga diharapkan demi perbaikan kualitas penulisan maupun riset yang dijadikan bahan referensi, sehingga buku ini dapat dipahami dengan mudah oleh pembaca terutama yang telah mengetahui dasar-dasar pengeringan maupun operasi teknik kimia.

Terakhir dan penting, penyusun mengucapkan terimakasih kepada:

1. Para peneliti yang telah membantu penyusunan buku dan penulisan artikel yang ada dalam buku ini (Dr Ing Suherman, Aji Prasetyaningrum, ST, M.Si, Dr Setia Budi Sasongko, dan Ir. Nur Rokhati, MT)
2. Para asisten peneliti baik dari program S2 (Laeli Kurniasari, Toni, Diah, Pelangi dan Intan, Verona Amelia, Beri Kristanti, Desi Agustina, ST, Nurul Asiah, ST)
3. Para laboran yang telah membantu perancangan alat dan praktikum (Siswo, Sungkowo dan Darto, AMD)
4. Pihak Universitas Diponegoro atas fasilitas laboratoriumnya terutama di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik, serta DP2M DIKTI atas sponshorshipnya.
5. Semua pihak yang telah berkontribusi mendukung penulisan ini

Daftar Isi

Halaman Judul	i
Kata Pengantar	iii
Daftar Isi.....	iv
BAB I. PRINSIP DASAR PROSES PENGERINGAN DENGAN ZEOLITE
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Prinsip Dasar Proses pengeringan.....	2
1.3. Perkembangan sistim pengeringan pada industri	3
1.4. Sistim Pengeringan Adsorpsi	5
1.5. Mengapa Harus Zeolite?	6
1.6. Perkembangan sistim pengeringan dengan zeolite.....	7
DAFTAR PUSTAKA.....	8
BAB II. AKTIFASI ZEOLITE ALAM UNTUK APLIKASI PENGERINGAN.....	11
2.1. Latar Belakang.....	11
2.2. Zeolite	13
2.2.1. Struktur Zeolite	13
2.2.2. Zeolite Alam.....	14
2.3. Aktivasi Zeolite Alam.....	16
2.4. Adsorpsi	17
2.5. Keseimbangan Adsorpsi	18
2.6. Percobaan Aktivasi Zeolite Alam	20
2.7. Hasil Aktivasi Zeolit Alam.....	21
2.8. Keseimbangan Adsorpsi pada Berbagai Suhu dan Berbagai Kelembaban Relatif.....	24
DAFTAR PUSTAKA.....	26
BAB III. PENGERINGAN KARAGINAN DENGAN ZEOLITE	29
3.1. Latar Belakang.....	29
3.2. Tentang Karaginan.....	30
3.3. Implementasi Kegiatan Penelitian	33
3.3. Hasil Experimen.....	39
3.4. Kesimpulan	45
DAFTAR PUSTAKA.....	46
BAB VI. PENGERINGAN JAGUNG DENGAN MIXED ADSORPTION DRYER.....	47
4.1. Latar Belakang.....	47
4.2. Proses dasar adsorpsi.....	48
4.3. Fenomena dan hipotesa proses mixed-adsorption drying	49
4.4. Percobaan.....	50

4.5. Hasil dan Pembahasan	51
4.6. Kesimpulan	54
DAFTAR PUSTAKA.....	55
BAB V. PENGERINGAN PADI DENGAN MEDIA UDARA TERDEHUMIDIFIKASI.....	57
5.1. Pendahuluan.....	57
5.2. Dasar Teori	58
5.3. Prosedur Percobaan	60
5.4. Hasil dan Pembahasan	60
5.5. Kesimpulan	66
DAFTAR PUSTAKA.....	67
BAB VI. PENGERINGAN KARAGINAN TERMODIFIKASI*	69
6.1. Latar Belakang.....	69
6.2. Metode	71
6.3. Hasil dan Pembahasan	72
6.4. Kesimpulan	80
DAFTAR PUSTAKA.....	81
BAB VII. PENGERINGAN EKSTRAK SECANG *	83
7.1. Latar Belakang.....	83
7.2. Pengeringan Ekstrak Secang dengan Spray Drying	84
7.4. Rancangan Percobaan.....	86
7.5. Hasil dan Pembahasan	87
7.6. Kesimpulan	92
DAFTAR PUSTAKA.....	93
BAB VIII. PENGERINGAN BAWANG MERAH*	95
8.1. Pendahuluan.....	95
8.2. Tinjauan Pustaka	96
8.3. Metode	97
8.4. Hasil dan Pembahasan	100
8.5. Kesimpulan	106
DAFTAR PUSTAKA.....	106
PENUTUP	107

BAB I

PRINSIP DASAR PROSES PENGERINGAN DENGAN ZEOLITE

1.1 Latar Belakang

Pengeringan adalah suatu proses untuk memisahkan air dari bahan basah dengan introduksi panas. Dalam industri pangan dan obat, proses ini digunakan untuk memurnikan produk, mengawetkan, serta menghemat biaya transportasi. Umumnya produk bahan pangan kering baik dari industri, peternakan maupun pertanian seperti biji-bijian, padi, gandum, jagung, susu bubuk dan sebagainya harus memiliki kandungan air di bawah 12% supaya tahan lama disimpan. Pada kadar air tersebut aktifitas jamur dan mikroorganisme dapat dihambat. Sebagai contoh susu bubuk kering akan tahan berbulan-bulan disimpan dibandingkan dengan susu cair yang hanya dapat bertahan setengah hari (Djaeni, 2008).

Kendala utama yang dalam pengeringan saat ini adalah borosnya penggunaan energi proses (**efisiensi 30-40%**), dan rendahnya kualitas produk yang dihasilkan. Tingginya penggunaan energi mengakibatkan biaya operasi menjadi besar terutama untuk konsumsi bahan bakar dan buruh (**50%** dari total biaya produksi hanya untuk pengeringan). Hal ini disebabkan oleh tidak handalnya sistem pengeringan sebagai unit penanganan produk akhir (***final treatment product***). Pada industri dan UKM, proses pengeringan menggunakan sinar matahari, maupun mesin pengering konvensional (seperti oven, spray) yang beroperasi pada suhu 70-120°C.

Pengeringan dengan matahari terkendala dengan musim dan cuaca, serta tingkat kekeringan juga tergantung pada kondisi cuaca (suhu dan kelembaban udara, serta intensitas matahari). Proses pengeringan lama, perlu tempat yang luas, dan tidak dapat kontinyu. Sedangkan, pengeringan konvensional akan mengakibatkan terjadinya perubahan warna, tekstur, serta degradasi nutrisi terutama protein dan vitamin (Djaeni, 2008).

Beberapa model modifikasi pengering seperti vakum, *freeze dryer*, serta *microwave* telah mampu mengurangi tingkat *browning* pada produk yang sensitif terhadap panas. Namun, investasi biaya operasi dan perawatan tinggi terutama untuk penyediaan ruang vakum atau hawa dingin, serta **efisiensi energi** sangat rendah (**<30%**) (Ratti, 2001; Kudra dan Mujumdar, 2002). Jika metode ini diterapkan untuk produk pangan, maka harga jual menjadi lebih sangat mahal, sehingga daya saing pasar rendah.

Proses pengeringan dengan cara adsorpsi dengan zeolite alam menjadi suatu pilihan untuk menggantikan sistem pengering yang telah dikembangkan. Pada sistem ini udara sebagai media pengering diturunkan dahulu kelembabannya (kadar airnya) dengan diserap menggunakan zeolite baik dari alam yang telah diaktifasi maupun sintesis. Dengan rendahnya kadar air, maka udara akan mampu menguapkan air dari bahan pada suhu yang rendah dibawah 60°C, serta memiliki kapasitas penguapan air yang lebih besar. Dengan demikian laju alir udara dapat dihemat, kebutuhan panas untuk proses dapat diturunkan dan waktu pengeringan menjadi lebih cepat (Djaeni dkk, 2007a)

Penelitian yang telah dilakukan **Universitas Diponegoro** dan **Wageningen University** tahun **2005-2008** dengan biaya **TPSDP project**, menunjukan bahwa penyerap zeolite mampu meningkatkan efisiensi hingga **80-90%** (30% lebih tinggi dari pengering konvensional (oven/fluidisasi) atau 40-60% lebih tinggi dari pengering berhawa dingin dan vakum) (Revilla dkk, 2006; Alikhan dkk, 1992; Djaeni dkk, 2007b; Djaeni dkk, 2009). Aplikasi awal untuk pengeringan unit *laundry* menunjukkan bahwa pengering adsorpsi dengan zeolite mampu menghemat energi 20-30% (energi efisiensi 80%) (Djaeni dkk, 2009; Djaeni dkk, 2008).

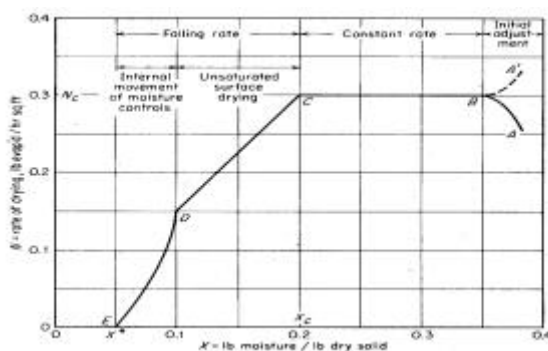
1.2. Prinsip Dasar Proses pengeringan

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 ditempatkan ditempat 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 laju alir, 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 (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, dan perpindahan masa air dari bahan media pengering (Perry dan Green, 1988). Adapun penguapan air dalam bahan 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*, lihat Gambar 1.1) (Demmerle dan Walter , 1988; Treyball, 1983).



dAB =A'B : periode penyesuaian suhu
 BC : Periode pengeringan kecepatan konstan
 CD : Periode pengeringan kecepatan menurun
 DE : Pencapaian kadar air keseimbangan

Gambar 1.1: Hubungan kecepatan pengeringan terhadap kadar air (Treyball, 1983)

Berdasarkan pada grafik di atas, maka waktu pengeringan untuk bahan dapat ditentukan. Waktu pengeringan ini diperlukan dalam membuat dimensi alat pengering, kecepatan udara yang harus dicatu, serta kapasitas bahan yang dapat dikeringkan.

1.3. Perkembangan sistim pengeringan pada industri

Saat ini beberapa jenis pengering telah digunakan secara meluas dalam masyarakat, industri dan juga UKM, mulai dari traditional sampai moderen seperti pengeringan dengan matahari, sistim oven atau fluidisasi untuk bahan biji-bijian, mikrowave dan infra merah, pengering vakum, dan pengering dalam suhu rendah (Freeze dryer)(Ratti, 2001; Kudra dan Mujumdar, 2002).

Pengering dengan matahari sangat sederhana dan tidak memerlukan bahan bakar fosil untuk membangkitkan panas, tapi sistim ini perlu tempat yang luas, waktu pemanasan yang lama (2-7hari tergantung dari produk yang dikeringkan), ongkos buruh tinggi, kualitas produk hasil pengeringan tidak seragam, dan sangat tergantung pada cuaca. Terlebih lagi, produk menjadi tidak higienis karena ditempatkan pada ruang terbuka, sehingga kadang-kadang produk pengeringan dengan sinar matahari tidak dapat laku di pasaran. Perbaikan proses dengan model terowongan pengering dibawah sinar matahari telah dilakukan untuk lebih mengumpulkan panas dan menjaga higienisitas produk, tapi waktu pengeringan untuk bahan produk-produk pertanian masih cukup lama rata-rata 2-3 hari (Mastekbayeva dkk, 1998).

Pengering dengan pemanasan konveksi (oven, fluidisasi) dimana udara panas dihasilkan melalui proses pemanasan baik dengan *steam*, listrik, atau gas hasil pembakaran, lebih handal dari pengering matahari. Pada sistim ini waktu operasi lebih singkat, kontaminasi produk rendah, kadar air dalam produk dapat dikontrol, tidak ada ketergantungan terhadap musim, serta biaya buruh dapat ditekan (Kiranoudis dkk, 1996).Namun,kualitas produk mengalami penurunan akibat introduksi panas, dan efisiensi pengeringan rendah atau boros energi.

Pengering vakum dan pengering berhawa dingin dapat bekerja pada suhu $-20-0^{\circ}\text{C}$ dengan tekanan $0.0006 - 0.006 \text{ atm}$ (Hudik, 1988; Ocansey 1988). Prinsip dari alat pengering ini adalah menguapkan air pada suhu rendah dengan mengkondisikan alat pada tekanan rendah (vakum). Pengering ini sangat berguna untuk memproduksi produk dengan kualitas tinggi, serta meminimalkan terbuangnya aroma, bahan aktif dan volatil (mudah menguap), serta menekan rusaknya nutrisi (denaturasi protein, browning (pencoklatan bahan), dan reaksi enzim) (Boss dkk, 2004). Bagaimanapun alat pengering ini sangat boros investasi dan energi untuk pengkondisian ruang vakum dan dingin, serta waktu pengeringan yang masih lama.

Terjadinya efisiensi yang rendah pada alat-alat pengering yang sekarang diterapkan di industri adalah karena tidak efisiennya transfer massa dan panas antara bahan basah dengan udara pengering sebagai media. Apalagi di daerah tropis dimana udara luar sebagai media pengering memiliki kelembaban relatif tinggi (70-80%), maka dalam proses pengeringan udara ini menjadi cepat jenuh dan tidak lagi dapat menguapkan air dari bahan. Hal itu dapat dilihat dari tingginya temperatur gas buang dari pengering produk hasil pertanian dan olahan hasil pertanian dan ternak yang masih diatas $60-70^{\circ}\text{C}$ (Andrade dan Flores, 2004; Ertas, 1997). Akibatnya adalah sangat borosnya penggunaan energi, dimana rata-rata untuk menguapkan 1 kg air dibutuhkan minimal 1.6 kg uap pemanas dari boiler (efisiensi 60-65%). Bahkan untuk pengeringan pada suhu rendah lebih boros dimana kebutuhannya setara dengan 2-4 kg uap panas per 1 kg air diuapkan dari bahan basah (efisiensi 25-50%).

Energi efisiensi tergantung dari beberapa karakteristik proses seperti laju penguapan air dalam bahan, penggunaan uap sebagai pemanas udara, dan energi panas yang dapat diambil dari proses lainnya dalam industri tersebut (lihat Tabel 1.1). Definisi yang umum dari energi efisiensi proses pengeringan adalah total energi yang digunakan untuk menguapkan air dibagi dengan total energi yang diperlukan dalam proses (lihat persamaan(1.1))(Djaeni, 2008).

$$= \frac{Q_{\text{evap}}}{Q_{\text{intr,total}}} 100\% \quad (1.1)$$

Tabel 1.1: Energi efisiensi dari alat-alat pengering di industri*(Djaeni, 2008)

No.	Jenis pengering	Energy efisiensi (Y %)	Konsumsi uap pemanas (kg uap/kg air diuapkan dari bahan)
1	Kabinet/tray	20-30	3.0-5.0
2	Vakum	35-40	2.5-3.0
3	Freeze	10-20	5.0-10.0
4	Spray ^[12]	30-60	1.6-3.0
6	Screw conveyor	25-60	1.6-4.0
7	Fluidisasi	30-60	1.5-3.0

Keterangan* : Data dikompilasi dari berbagai sumber

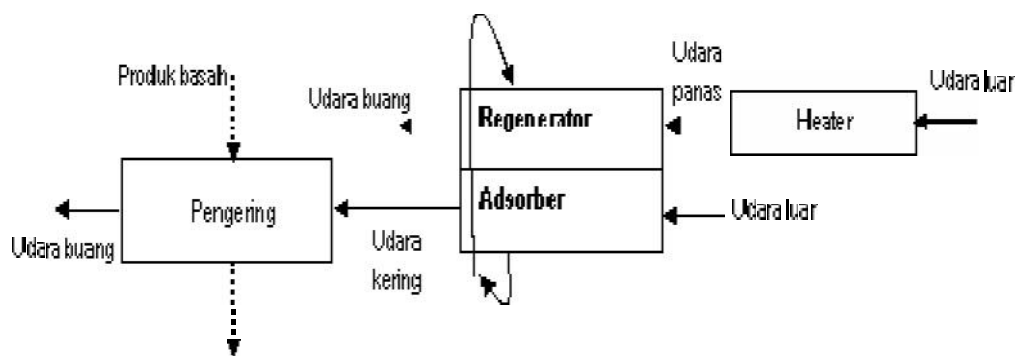
Tabel 1.1 mempresentasikan energi efisiensi proses pengeringan yang diambil dari berbagai sumber. Dari tabel tersebut dapat disimpulkan bahwa energi efisiensi merupakan tantangan dalam membuat suatu inovasi alat pengeringan untuk berbagai sektor industri, UKM, atau rumah tangga. Beberapa inovasi yang telah dibuat dalam teknologi pengeringan cukup banyak, tapi terobosan yang tepat untuk meningkatkan efisiensi sangat jarang. Bahkan teknologi pengeringan itu sendiri hampir mencapai titik kejenuhan (Ratti, 2001; Kudra dan Mujumdar, 2002). Hasil positif diperoleh dengan zeolite untuk mempercepat dan meningkatkan energi efisiensi (Djaeni dkk, 2007a; Revilla dkk, 2006; Alikhan dkk, 1992). Sementara pengering-pengering lain masih belum dapat berkompetisi dengan pengering konvensional (oven atau fluidisasi).

Pengurangan kadar air udara (dehumidifikasi) menjadi opsi untuk meningkatkan energi pada proses pengeringan terutama untuk proses pengeringan pada suhu rendah (<60°C). Dengan penurunan kadar air dari udara maka *driving force* pada proses pengeringan menjadi lebih tinggi yang akan mempercepat laju pengeringan. Metode ini sangat cocok untuk pengeringan produk-produk yang tidak tahan panas seperti karaginan, jagung, kacang-kacangan, dekstrin, tanaman obat, protein, vaksin dan obat-obatan. Secara konvensional penurunan kadar air dapat dilakukan dengan kondensasi air dari udara. Dalam proses ini udara luar didinginkan pada condenser sampai suhu dibawah titik embunnya sehingga uap airnya akan mengembun dan udara menjadi kering yang dapat digunakan untuk

proses pengeringan. Dibanding dengan pengering oven kualitas bahan hasil pengeringan ini lebih bagus, namun efisiensi energinya jauh lebih rendah (Djaeni dkk, 2009).

1.4. Sistem Pengeringan Adsorpsi

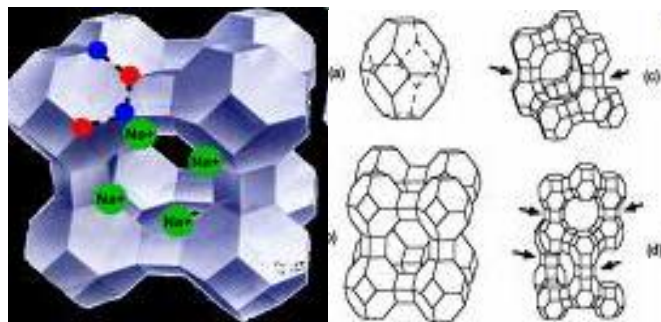
Dehumidifikasi (penurunan kadar uap air) udara sebagai media pengering menggunakan adsorben (silika, alumina, pasir, tanah, LiCl, alkali atau zeolite) berpotensi untuk meningkatkan kualitas produk, dan energi efisiensi proses pengeringan (Djaeni dkk, 2007b; Revilla dkk, 2006; Alikhan dkk, 1992; Djaeni dkk, 2009, Ertas dkk, 1997; Busmann, 2007). Pada metode ini udara dikontakkan dengan adsorben pada unit adsorber sehingga air akan terserap dengan melepas panas (lihat Gambar 1.2). Oleh karena itu ada dua keuntungan yang diperoleh yaitu: udara menjadi kering dan suhu udara naik sekitar 40-50^o C, yang sangat cocok dan efisien untuk mengeringkan bahan-bahan yang tidak tahan suhu tinggi. Sementara itu adsorben (penyerap) yang telah jenuh dengan uap air diregenerasi pada regenerator. Perhitungan menunjukkan bahwa efisiensi alat ini 40-50% diatas pengering yang menggunakan pemanas konveksi seperti oven atau fluidisasi (Djaeni dkk, 2007b).



Gambar 1.2: Diagram alir pengering sistem adsorpsi (Djaeni, 2008)

1.5. Mengapa Harus Zeolite?

Zeolite adalah bahan berpori yang mengandung alumina dan silika dalam bentuk kristal (lihat Gambar 1.3) dengan berat jenis antara 0.8-1.1 gr/cc. Dalam zeolite, rasio dari silika dan alumina selalu lebih dari 1. Karena berpori maka luas permukaan dari zeolite sangat besar yaitu antara 200-400 m²/gram. Hingga saat ini lebih dari 100 jenis zeolite telah disintesa dan dikembangkan, serta 40 jenis dapat ditemui di alam dalam bentuk bentonit, modernit, clinoptilolite, dan lain-lain (Gorbach dkk, 2004; Jenkins, dkk 2002; Anonim, 2008). Zeolite dapat menurunkan air dari udara sampai kadar 0.1 ppm (dew point -50^o C) dengan kapasitas penyerapan sampai 20-30% dari total beratnya (Anonim, 2008). Artinya setelah kandungan air dalam zeolite mencapai 30%, maka zeolite telah jenuh dan tidak dapat menyerap air lagi, sehingga perlu diregenerasi.



Gambar 1.3: Struktur Zeolite (Anonim, 2008)

Dibanding penyerap lainnya seperti silika, pasir, tanah clay, dan karbon aktif, afinitas zeolite terhadap air sangat tinggi sehingga dapat mengeringkan udara lebih cepat dengan kapasitas yang lebih besar. Hal ini sangat menguntungkan karena udara sebagai media pengering dapat dikontrol kondisinya, sehingga dapat menghasilkan bahan dengan kandungan air yang seragam (Anonim, 2008; Djaeni dkk, 2008). Adapun adsorben air lainnya seperti alkali dan asam sulfat bersifat racun bagi manusia tidak direkomendasikan untuk pengeringan produk-produk makanan dan obat. Riset yang telah dilakukan menunjukkan bahwa efisiensi zeolite dibanding penyerap lain adalah 10-20% lebih tinggi (Djaeni dkk, 2009).

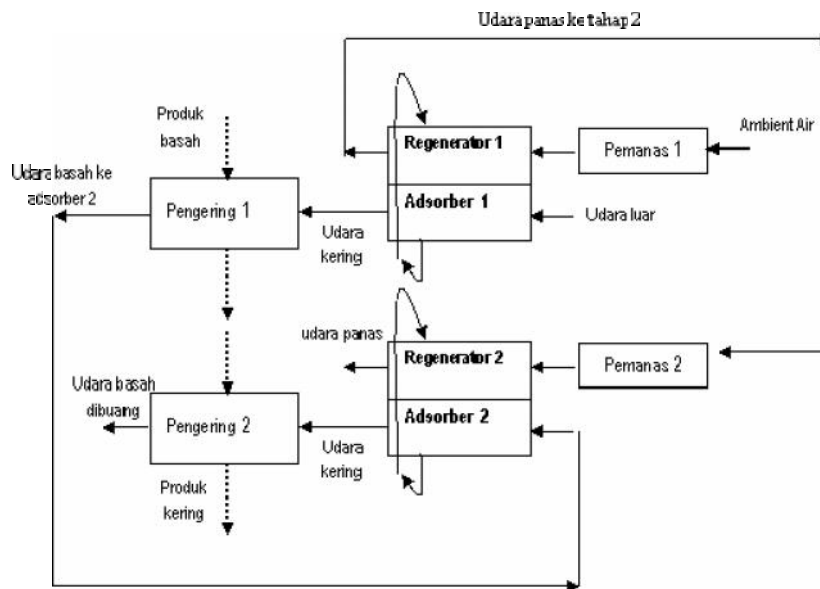
1.6. Perkembangan sistim pengeringan dengan zeolite

Tantangan pertama dalam riset ini adalah merealisasikan peningkatan efisiensi proses pengeringan menggunakan zeolite. Riset yang pertama dilakukan yaitu perhitungan neraca massa dan energi dari seluruh proses mulai dari adsorpsi, regenerasi, dan pengeringan. Dari neraca tersebut dapat diidentifikasi aliran panas keluar yang dapat dimanfaatkan kembali. Perhitungan menunjukkan bahwa efisiensi energi yang dicapai adalah 78% (Djaeni dkk, 2007a).

Desain lanjut telah dilakukan dengan merancang pengeringan *multistage* (lihat Gambar 1.4). Pada tahap ini, air basah keluar dari unit pengering diproses ulang dalam unit adsorber untuk pengeringan tahap berikutnya. Cara ini dilakukan berulang tergantung dari jumlah tahapan yang dirancang, sehingga panas yang terbuang dari pengering sebelumnya dapat dimanfaatkan total untuk pengering berikutnya. Selain itu panas yang dibebaskan juga semakin besar, dengan meningkatnya kandungan air dalam umpan adsorber. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa efisiensi proses pengeringan menjadi 90% (Djaeni dkk 2007b; Djaeni dkk, 2009).

Pada tiga penelitian diatas (paper 1, 2, dan 3), proses fenomena yang terjadi didalam pengering, adsorber dan regenerator diabaikan dengan kata lain sistim perhitungan menggunakan model tunak serta semua unit proses diasumsikan tercampur dengan sempurna. Desain lebih detil telah dilakukan menggunakan model komputasional dinamika fluida dalam satu dan dua dimensi, untuk mengetahui fenomena yang terjadi di dalam adsorpsi, regenerasi dan pengeringan yang akan digunakan untuk menentukan dimensi alat proses. Perhitungan menunjukkan bahwa model dua dimensi memberikan informasi profil suhu dan kandungan air selama proses, baik dalam fase padat maupun gas, serta dimensi alat (Djaeni dkk, 2008). Pendekatan konsep diatas diuji dengan percobaan di laboratorium. Dalam tahap ini sistim pengering adsorpsi dengan zeolite dikonstruksi dan dites untuk mengeringkan bahan basah imitasi seperti gabus, kain, dan tissue. Hasil menunjukkan bahwa efisiensi untuk percobaan ini berkisar 75-85% yang

setara dengan hasil perhitungan menggunakan model dinamika maupun kondisi tunak (Djaeni dkk, 2009; Djaeni, 2008).



Gambar 1.4: Diagram alir pengering sistim adsorpsi dua tahap (Djaeni, 2008)

DAFTAR PUSTAKA

- Alikhan, Z.; Raghavan, G.S.V.; Mujumdar, A.S. (1992). Adsorption Drying of Corn in Zeolite Granules Using A Rotary Drum. *Drying Technology*, vol. 10 issue 3; 783-797
- Andrade I.; Flores H. (2004). Optimization of Spray Drying Roselle Extract (*Hibiscus sabdariffa L.*). *Proceedings of the 14th International Drying Symposium (IDS 2004)*, Sao Paulo Brazil, 22-25 August; vol. A, 597-604
- Anonim. *Siliporite Data*. CECA and ATO. (2008). <http://www.cecachemicals.com/sites/ceca/en/home.page> (lastl accessed September 26)
- Boss, E.A.; Costa, N.A.; Rubens, M.F.; Eduardo, C.V.D. (2004). Freeze Drying Process: Mathematical Model and Simulation. *Proceedings of the 14th International Drying Symposium (IDS 2004)*, Sao Paulo, Brazil, 22-25 August; vol. A, 477-484
- 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,
- Djaeni, M.; Bartels, P.; Sanders, J.; Straten, G. van; Boxtel, A.J.B. van. (2007a). Process Integration for Food Drying with Air Dehumidified by Zeolites. *Drying Technology*, vol. 25, issue 1, 225-239
- Djaeni, M.; Bartels, P.; Sanders, J.; Straten, G. van; Boxtel, A.J.B. van. (2007b). Multistage Zeolite Drying for Energy-Efficient Drying. *Drying Technology*, vol. 25, issue 6; 1063 - 1077
- Djaeni, M.(2008). Energy Efficient Multistage Zeolite Drying for Heat Sensitive Products. Doctoral Thesis Wageningen University, The Netherlands
- Djaeni, M.; Bartels P.V.; Sanders J.P.M.; van Straten, G.; van Boxtel, A.J.B. (2008). CFD for Multistage Zeolite Dryer Design. *Drying Technology*; vol. 26, issue 4; 487 - 502
- Djaeni, M.; Bartels P.V.; van Asselt, C.J.; Sanders J.P.M.; van Straten, G.; van Boxtel, A.J.B. (2009). Assesment of a Two-Stage Zeolite Dryer for Energy-Efficient Drying. *Drying Technology*, vol. 27, issue 11; 1205 - 1216
- Ertas, A.; Azizul, H.A.K.M.; Kiris, I.; Gandhidasan, P. (1997). Low Temperature Peanut Drying Using Liquid Desiccant System Climatic Conditions. *Drying Technology*; vol. 15, issue 3&4; 1045-1060
- Gorbach, A.; Stegmaier, M.; Eigenberger, G. (2004). Measurement and Modeling of Water Vapor Adsorption on Zeolite 4A—Equilibria and Kinetics. *Adsorption*; vol. 10; 29-46
- 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
- Jenkins, S.A.; Waszkiewicz, S.; Quarini, G.L.; Tierney, M.J. (2002). Drying Saturated Zeolite Pellets to Assess Fluidised Bed Performance. *Applied Thermal Engineering*; vol. 22, issue 7; 861-871

- Kiranoudis C.T.; Maroulis Z.B.; Marinos-Kouris D. (1996). Drying of Solids: Selection of Some Continuous Operation Dryer Types. *Computer & Chem. Eng.*; Vol. 20, Supplement 1, S177-182
- Kudra, T.; Mujumdar, A.S. (2002). *Advanced Drying Technology*. Marcel Dekker Inc., New York, USA,
- 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
- Perry, R.H.; Green D.W. (1988). *Perry's Chemical Engineers' Handbook*, 7th Intl. ed.; McGraw-Hill Co, International edition, Singapore
- 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*, vol. 24, issue 8, 1033-1038
- Treyball, R.E. (1983). *Unit Operation*. Mc Graw Hill Book, Co, New York

BAB II

AKTIFASI ZEOLITE ALAM UNTUK APLIKASI PENGERINGAN

2.1. Latar Belakang

Salah satu alternatif pengembangan proses pengeringan adalah proses pengeringan adsorpsi (*adsorption drying*). Pada proses ini, uap air dalam udara dijerap oleh adsorben, sehingga udara menjadi lebih kering. Pada saat yang bersamaan, suhu udara akan naik karena adanya panas adsorpsi yang dilepaskan. Proses pengeringan adsorpsi ini terbukti dapat mengurangi konsumsi energi sekitar 16-20% (Djaeni, 2008). Proses pengeringan adsorpsi ini juga merupakan solusi atas kebutuhan proses pengeringan pada suhu rendah, khususnya untuk bahan-bahan yang mudah rusak pada suhu tinggi.

Berbagai bahan-bahan berpori dapat digunakan sebagai adsorben. Bahan berpori ini dipilih karena mereka mempunyai luas permukaan dalam yang jauh lebih besar dibandingkan dengan luas permukaan luarnya (White dan Weber, 2009). Contoh adsorben yang secara komersial telah dipakai diantaranya adalah karbon aktif, silika gel dan zeolite. Diantara ketiga zat tersebut, zeolite merupakan material yang memiliki bentuk kristal sangat teratur dengan rongga yang saling berhubungan ke segala arah dan menjadikan luas permukaan zeolite sangat besar sehingga sangat baik digunakan sebagai adsorben (Suardana, 2008). Zeolite, baik sintesis maupun alami, dapat menyerap dalam jumlah yang cukup besar meskipun pada konsentrasi rendah. Khususnya bila diaplikasikan sebagai adsorben pada alat pengering, zeolite mempunyai afinitas yang tinggi terhadap uap air (Igbokwe dkk, 2008), serta menyerap air dengan melepas panas laten penyerapan yang cukup tinggi (Ulku dan Cakicioglu, 1991).

Zeolite merupakan senyawa aluminosilikat terhidrasi yang terdiri dari ikatan SiO_4 dan AlO_4 tetrahedra yang dihubungkan oleh atom oksigen untuk membentuk kerangka. Pada kerangka zeolite, tiap atom Al bersifat negatif dan akan dinetralkan oleh ikatan dengan kation yang mudah dipertukarkan. Kation yang mudah dipertukarkan yang ada pada kerangka zeolite ini akan berpengaruh dalam proses

adsorpsi dan sifat-sifat thermal zeolite (Ozkan dan Ulku, 2008). Selain jenis kation, kemampuan adsorpsi zeolite juga dipengaruhi oleh perbandingan Si/Al dan geometri pori-pori zeolite, termasuk luas permukaan dalam, distribusi ukuran pori dan bentuk pori (Ackley dkk, 2003; Gruszkiewics dkk, 2005).

Zeolite terdapat secara alami di permukaan tanah. Saat ini banyak jenis zeolite alam yang telah ditemukan dan dikelompokkan berdasarkan kesamaan strukturnya. Meskipun zeolite sintetis juga telah banyak diproduksi, namun zeolite alam tetap mempunyai peranan penting karena ketersediaannya yang melimpah di alam, khususnya di Indonesia (Senda dkk, 2006).

Berbeda dengan zeolite sintetis yang strukturnya dapat diprediksi dari senyawa penyusunnya, zeolite alam mempunyai struktur yang tidak selalu sama, tergantung pada kondisi pembentukannya di alam. Oleh karena itu, pada penggunaan zeolite alam sebagai adsorben dibutuhkan suatu proses aktivasi. Proses aktivasi ini diperlukan untuk meningkatkan sifat khusus zeolite sebagai adsorben dan menghilangkan unsur pengotor (Rosita dkk, 2004). Proses aktivasi juga dapat merubah jenis kation, perbandingan Si/Al serta karakteristik zeolite agar sesuai dengan bahan yang akan dijerap.

Secara umum, ada tiga proses aktivasi yang bisa dilakukan terhadap zeolite alam, yaitu aktivasi secara fisis dengan pemanasan, aktivasi secara kimia dengan asam dan aktivasi secara kimia dengan basa. Proses aktivasi dengan panas dapat dilakukan pada suhu antara 200-400°C selama beberapa jam (Rosita dkk, 2004). Sementara aktivasi dengan basa dapat dilakukan dengan larutan NaOH, dimana penurunan rasio Si/Al akan terjadi pada aktivasi dengan pH tinggi (Jozefaciuk dan Bowanko, 2002). Aktivasi zeolite alam Turki dengan menggunakan larutan HCl pada berbagai konsentrasi dan suhu memberikan hasil bahwa aktivasi dengan HCl menyebabkan terjadinya proses dealuminasi zeolite (Ozkan dan Ulku, 2005). Dari proses aktivasi zeolite baik secara asam maupun basa, diperoleh hasil bahwa zeolite yang diaktivasi dengan basa akan menjadi lebih polar bila dibandingkan dengan zeolite yang diaktivasi dengan asam (Jozefaciuk dan Bowanko, 2002). Perlakuan dengan asam terhadap zeolite juga terbukti akan menyebabkan zeolite

menjadi lebih hidrofob sehingga daya adsorpsinya terhadap air akan berkurang (Sumin dkk, 2009). Semakin tinggi konsentrasi asam yang digunakan maka daya adsorpsi zeolite terhadap uap air menjadi semakin kecil (Ozkan dan Ulku, 2005).

Pada alat pengering adsorpsi dengan adsorben zeolite alam, proses aktivasi diarahkan terutama agar zeolite mempunyai kemampuan menyerap uap air yang tinggi. Pilihan proses aktivasi zeolite alam yang dapat dilakukan adalah aktivasi secara fisis dengan pemanasan atau aktivasi secara kimia dengan basa. Selain itu juga diperlukan adanya uji daya adsorpsi zeolite alam teraktivasi terhadap uap air pada berbagai suhu atau kelembaban relatif udara. Analisa daya adsorpsi pada kondisi ini dibutuhkan untuk mengetahui pengaruh suhu dan kelembaban relatif terhadap kemampuan adsorpsi zeolite alam teraktivasi. Oleh karena itu, perlu dilakukan suatu penelitian tentang proses aktivasi zeolite alam sebagai adsorben pada alat pengering adsorpsi. Setelah diperoleh kondisi operasi aktivasi yang terbaik, diperlukan juga uji daya adsorpsi zeolite alam tersebut pada suhu dan kelembaban relatif yang berbeda.

2.2. Zeolite (Kurniasari, 2010)

Kata “zeolite” berasal dari dua kata bahasa Yunani yaitu *zeo* yang berarti mendidih dan *litos* yang berarti batu. Zeolite merupakan kelompok mineral yang mempunyai sifat dapat menyerap air dan melepaskannya lagi tanpa mengalami perubahan struktur yang signifikan, sehingga zeolite masuk dalam kelompok zat adsorben. Dalam kelompok adsorben, zeolite termasuk adsorben yang mempunyai ukuran pori mikro (mikropori) dan dalam klasifikasi BET, zeolite masuk ke dalam golongan tipe I (Kurniasari, 2010).

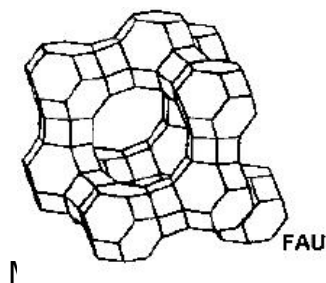
Zeolite alam merupakan senyawa alumino silikat terhidrasi dengan kation dari kelompok alkali atau alkali tanah yang terdiri dari struktur kristal tiga dimensi Si dan Al tetrahedra dan dihubungkan dengan atom oksigen. Struktur zeolite mengandung pori yang dapat diisi dengan air atau kation yang dapat dipertukarkan.

2.2.1. Struktur Zeolite

Struktur zeolite terdiri dari dua jenis bangunan, yaitu primer dan sekunder. Unit primer terdiri dari tetrahedron 4 ion oksigen yang mengelilingi ion pusat Si^{4+} atau Al^{3+} . Unit primer ini saling berhubungan membentuk kerangka tiga dimensi dengan satu atom oksigen yang dipakai bersama oleh dua tetrahedra. Untuk struktur yang murni silikous, susunan akan menjadi SiO_2 , yang merupakan padatan tidak bermuatan. Akan tetapi jika terdapat Al dalam susunan kerangka, muatan Al yang +3 akan menyebabkan kerangka bermuatan negatif. Untuk mempertahankan kerangka dalam kondisi netral, maka dibutuhkan kation pada bagian ekstraframework. Kation pada bagian ekstraframework ini merupakan kation yang bisa dipertukarkan, sehingga komposisi zeolite dapat dijabarkan terdiri dari tiga komponen, yaitu framework (kerangka), ekstraframework dan bahan terjerap (Kurniasari, 2010).

Jumlah Al dalam kerangka zeolite dapat bervariasi, dengan perbandingan Si/Al =1 sampai tak terhingga. Batas bawah perbandingan Si/Al zeolite menurut Lowenstein sama dengan 1. Hal ini disebabkan batas tetrahedra yang berupa AlO_4^- tidak disukai karena adanya gaya tolak menolak elektrostatis antar muatan-muatan negatif (Payra dan Dutta, 2003).

Unit sekunder struktur zeolite terbentuk dari ikatan-ikatan unit primer, dimana mereka terdiri dari satu atau dua cincin tetrahedral, membentuk struktur tiga dimensi pada zeolite. Unit sekunder ini dapat pula tersusun dengan berbagai cara sehingga akan dihasilkan pula berbagai tipe kerangka zeolite. Contoh kerangka zeolite dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1: Kerangka zeolite tipe Faujasite
(Payra dan Dutta, 2003)

network Type, saat ini terdapat kurang lebih 133 struktur kerangka zeolite, baik zeolite alam maupun zeolite sintetis. Struktur ini, oleh

The Structure Commission of The International Zeolite Association diidentifikasi dengan kode mnemonic yang terdiri dari tiga huruf. Contohnya, untuk kerangka faujasite mempunyai kode FAU, ERI untuk erionit dan MOR untuk mordenite. Stabilitas termal zeolite bervariasi dengan kisaran suhu yang cukup besar. Untuk zeolite dengan kadar silika rendah, proses dekomposisi akan mulai terjadi pada suhu $\pm 700^{\circ}\text{C}$, sementara untuk zeolite dengan kadar silika tinggi relatif stabil sampai suhu 1300°C . Zeolite berkadar silika rendah bersifat hidrofilik, sedangkan zeolite berkadar silika tinggi bersifat hidrofobik. Peralihan dari sifat hidrofilik menjadi hidrofobik terjadi pada rasio Si/Al sekitar 10 (Kumiasari, 2010).

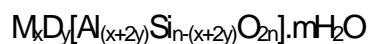
2.2.2. Zeolite Alam

Zeolite terdapat secara alami di bumi. Mineral zeolite alam yang pertama ditemukan adalah stilbite. Saat ini ada sekitar 40 zeolite alam yang sudah ditemukan (Butland, 2008). Sebagian besar zeolite alam mempunyai perbandingan Si/Al yang rendah, karena ketiadaan bahan organik yang berfungsi penting untuk pembentukan silika. Jenis zeolite alam yang sudah ditemukan beserta pengelompokannya berdasarkan perbandingan Si/Al dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1: Kelompok Zeolite Alam (Payra dan Dutta, 2003)

Si/Al 2 Kadar silika rendah	2 < Si/Al 5 Kadar silika sedang	5 < Si/Al Kadar silika tinggi
AFG, afghanite	BOG, boggsite	FER, ferrierite
ANA, analcime	BRE, brewsterite	MEP, melanophlogite
BIK, bikitaite	CHA, chabazite	
CAN, cancrinite	DAC, dachiardite	
EDI, edingtonite	EPI, epistilbite	
GIS, gismondine	ERI, erionite	
GME, gmelinite	FAU, faujasite	
LAU, laumontite	FER, ferrierite	
LEV, levyne	GOO, goosecreekite	
LIO, liotite	HEU, heulandite	
NAT, natrolite	MAZ, mazzite	
PAR, partheite	MER, merlinoite	
PHI, philipsite	MON, montasommaite	
ROG, roggianite	MOR, mordenite	
WEN, wenkite	OFF, offretite	
THO, thomsonite	PAU, paulingite	
	STI, stilbite	
	YUG, yugawaralite	

Sementara formula umum untuk zeolite alam dapat dinyatakan sebagai berikut:



Dimana M menunjukkan kation monovalensi, seperti Na⁺, K⁺, D merupakan kation divalent (umumnya m = n). Sedangkan Al_(x+2y)Si_{n-(x+2y)}O_{2n} merupakan kerangka atom zeolite (Kumiasari, 2010)

a. Sifat-sifat Zeolite Alam

Zeolite alam mempunyai sifat-sifat yang khusus tergantung pada struktur kristal serta bentuk dan ukuran pori. Diantara sifat-sifat khusus tersebut, yang berkaitan dengan fungsi zeolite sebagai adsorben adalah kapasitas tukar kation (*cation-exchange capacity*) serta kemampuan adsorpsinya (Kumiasari, 2010).

a. Kapasitas Tukar Kation (*Cation Exchange Capacity*)

Kapasitas tukar kation adalah jumlah pasangan ion yang tersedia tiap satuan berat atau volume zeolite dan menunjukkan jumlah kation yang tersedia untuk dipertukarkan. Kapasitas ini merupakan fungsi dari derajat substitusi Al terhadap Si dalam struktur kerangka zeolite. Semakin besar derajat substitusi, maka kekurangan muatan positif zeolite semakin besar, sehingga jumlah

kation alkali atau alkali tanah yang diperlukan untuk netralisasi juga semakin banyak. Secara umum, kapasitas tukar kation pada zeolite tergantung pada tipe dan volume tempat adsorpsi, serta jenis, jari-jari ion dan muatan kation.

b. Kemampuan Adsorpsi

Struktur bagian dalam zeolite yang membentuk lubang dan sambungan dapat diisi dengan molekul-molekul lain, termasuk molekul air. Molekul yang dapat masuk ke dalam struktur zeolite hanyalah molekul yang memiliki ukuran yang sama atau lebih kecil dari ukuran lubang zeolite, sehingga molekul yang berukuran lebih besar dari ukuran lubang zeolite tidak dapat masuk. Karena hal inilah, maka zeolite sering juga disebut sebagai bahan yang memiliki sifat molekular sieve.

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kemampuan adsorpsi zeolite. Faktor-faktor itu adalah perbandingan Si/Al zeolite, ukuran dan jumlah pori, tipe tempat adsorpsi serta ukuran dan bentuk lubang pada struktur zeolite (Kurniasari, 2010).

b. Kegunaan Zeolite Alam

Secara umum, zeolite mempunyai tiga fungsi utama, yaitu sebagai adsorben, katalis dan ion exchange. Namun untuk zeolite alam, fungsinya sebagai katalis sangat terbatas karena kemurnian dan luas permukaannya yang rendah. Oleh karena itu zeolite alam lebih banyak digunakan pada proses adsorpsi dan ion exchange. Pada proses adsorpsi, penggunaan zeolite difokuskan pada penghilangan molekul-molekul polar atau sedikit polar dengan menggunakan zeolite berkadar Al tinggi. Potensi zeolite alam pada proses ini cukup besar, mengingat zeolite alam umumnya mempunyai kadar Al yang tinggi (perbandingan Si/Al nya rendah). Contoh zeolite alam yang banyak digunakan sebagai adsorbent adalah dinoptilolite (HEU). Sementara ion exchange umumnya digunakan pada proses pelunakan air di industri detergen. Zeolite alam juga dapat digunakan sebagai bahan tambahan untuk pupuk, semen, sebagai suplemen pada hewan ternak serta

sebagai bahan pengisi pada industri kertas (Butland, 2008). Bahkan pada saat ini zeolite sudah mulai dikembangkan dibidang kesehatan (Kurniasari, 2010).

2.3. Aktivasi Zeolite Alam (Kurniasari, 2010)

Proses aktivasi zeolite alam sudah dilakukan oleh beberapa peneliti terdahulu dengan tujuan yang berbeda-beda. Secara umum, ada tiga proses aktivasi yang bisa dilakukan terhadap zeolite alam, yaitu aktivasi secara fisis dengan pemanasan, aktivasi secara kimia dengan asam dan aktivasi secara kimia dengan basa.

Proses aktivasi dengan panas dapat dilakukan pada suhu antara 200-400°C selama beberapa jam. Aktivasi fisis zeolite alam Malang dilakukan dengan memanaskan zeolite pada suhu 250°C selama 3 jam dengan tujuan untuk proses adsorpsi methilen blue (Rosita dkk, 2004). Hasil penelitian menunjukkan bahwa aktivasi zeolite dengan panas memberikan daya adsorpsi yang lebih kecil dibandingkan aktivasi dengan basa. Sementara aktivasi kimia dengan basa terhadap zeolite alam dilakukan dengan menggunakan larutan natrium klorida 1 N (Oliveira dan Rubio, 2007). Zeolite teraktivasi kemudian digunakan sebagai adsorben ion sulfat dan isopropilxantat. Aktivasi dengan basa dapat pula dilakukan dengan larutan NaOH, dimana penurunan rasio Si/Al akan terjadi pada aktivasi dengan pH tinggi (Jozefaciuk dan Bowanko, 2002). Sementara sintesis zeolite A dari mineral tanah liat kaolinitik dilakukan dengan aktivasi panas pada suhu 400-550°C (Kurniasari, 2010). Aktivasi zeolite alam Turki dengan menggunakan larutan HCl pada berbagai konsentrasi dan suhu memberikan hasil bahwa aktivasi dengan HCl menyebabkan dealuminasi zeolite (Ozkan dan Ulku, 2005).

Dari proses aktivasi zeolite baik secara asam maupun basa, diperoleh hasil bahwa zeolite yang diaktivasi dengan basa akan menjadi lebih polar bila dibandingkan dengan zeolite yang diaktivasi dengan asam (Jozefaciuk dan Bowanko, 2002). Perlakuan dengan asam terhadap zeolite terbukti akan menyebabkan zeolite menjadi lebih hidrofob sehingga daya adsorpsinya terhadap air akan berkurang (Surmin dkk, 2009). Semakin tinggi konsentrasi asam yang

digunakan maka daya adsorpsi zeolite terhadap uap air menjadi semakin kecil (Ozkan dan Ulku, 2005). Meskipun beberapa penelitian tentang aktivasi zeolite telah ada, namun penelitian tentang proses aktivasi zeolite alam Indonesia untuk digunakan sebagai adsorben uap air pada alat pengering belum pernah dilakukan. Khususnya untuk aplikasi sebagai adsorben uap air, maka metode aktivasi zeolite yang dapat dipilih adalah aktivasi dengan panas atau basa (Kurniasari, 2010).

2.4. Adsorpsi (Kurniasari, 2010)

Adsorpsi adalah proses yang menggambarkan kecenderungan molekul fluida untuk menempel pada permukaan padatan. Adsorpsi termasuk salah satu sifat dasar benda, dimana benda mempunyai gaya tarik antar molekul. Adanya medan gaya menimbulkan daerah rendah energi disekitar permukaan padatan, sehingga densitas molekul didekat lapisan permukaan umumnya lebih besar dibandingkan di dalam fluida itu sendiri (Kurniasari, 2010).

Adsorpsi dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu adsorpsi kimia dan adsorpsi fisika. Pengelompokan adsorpsi ini didasarkan pada gaya permukaan yang terjadi selama proses adsorpsi tersebut. Pada adsorpsi fisika, molekul fluida dapat tertarik ke permukaan padatan disebabkan oleh dua tipe gaya, yaitu gaya dispersi-tolak menolak (disebut juga gaya van der Waals) dan gaya elektrostatis yang dihasilkan oleh molekul atau permukaan yang mempunyai dipole listrik permanent atau momen kuadrupol. Gaya dispersi akan selalu ada pada molekul. Dan bila tidak ada gaya lain yang lebih besar, maka gaya ini yang akan menentukan kesetimbangan adsorpsi. Tipe adsorpsi ini akan berlaku misalnya pada molekul yang tidak mempunyai momen dipole atau momen kuadrupol. Namun jika molekul bersifat polar maka gaya yang bekerja adalah gaya elektrostatis. Bidang listrik yang dihasilkan akan menginduksi momen dipol molekul dan meningkatkan proses adsorpsi. Untuk permukaan yang polar dan molekul yang mempunyai momen dipol permanen maka interaksi yang terjadi akan sangat kuat, seperti adsorpsi air pada adsorben yang hidrofilik seperti zeolite. Selain itu, molekul yang mempunyai momen kuadrupol permanen atau lebih besar akan tertarik lebih kuat dibandingkan dengan

molekul yang mempunyai momen rendah. Contohnya nitrogen akan teradsorpsi lebih kuat pada zeolite dibandingkan dengan oksigen (Kumiasari, 2010).

Sementara pada adsorpsi kimia, terdapat proses perpindahan elektron yang sama dengan pembentukan ikatan kimia antara permukaan padatan dengan zat terjerap. Adsorpsi kimia biasanya terjadi pada proses-proses katalitik heterogen. Sedangkan dalam proses-proses pemisahan atau pemurnian, adsorpsi yang umumnya terjadi adalah adsorpsi fisis. Adapun proses kebalikan dari adsorpsi disebut sebagai desorpsi.

Sebagai adsorben (penjerap), umumnya digunakan bahan padat berpori. Agar bahan berpori mempunyai kapasitas adsorpsi yang besar, maka bahan tersebut harus mempunyai luas area spesifik yang besar, yang menunjukkan struktur berpori dengan adanya mikropori. Beberapa bahan adsorben yang telah banyak digunakan diantaranya adalah silika gel, alumina, karbon dan karbon aktif serta zeolite. Silika gel, alumina dan karbon aktif termasuk dalam kelompok adsorben amorp (*amorphous adsorbent*), sementara zeolite merupakan adsorben kristal (*crystalline adsorbent*) (Kumiasari, 2010).

Kelompok adsorben amorph mempunyai range luas area yang cukup besar, antara 200-1000 m²/gr. Luas area yang terlalu besar ini akan menyebabkan berkurangnya kekuatan fisik bahan, sehingga membatasi pemanfaatannya. Luas area yang besar juga menyebabkan banyaknya mikropori, dimana mikropori ini akan menghambat adsorpsi molekul-molekul berukuran besar. Distribusi ukuran pori kelompok adsorben ini juga sangat luas, dari ukuran nanometer hingga micrometer. Pada kelompok adsorben kristal, dimensi dan ukuran pori ditentukan oleh kerangka kristal, sehingga distribusi ukuran pori tidak terlalu luas (Kumiasari, 2010).

Pada alat pengering dengan adsorben, fungsi utama adsorben adalah untuk menjerap uap air yang ada di udara pengering. Air merupakan molekul kecil dan polar, sehingga akan terjerap kuat pada permukaan yang polar juga. Oleh karena itu, pada alat pengering adsorpsi dibutuhkan adsorben yang bersifat polar. Kelompok adsorben yang bersifat polar diantaranya adalah silika gel, alumina aktif dan zeolite dengan kadar Al tinggi. Kelompok adsorben ini akan menjerap air lebih

kuat dibandingkan molekul organik, sehingga sering pula disebut sebagai adsorben hidrofil. Adapun kelompok adsorben yang bersifat nonpolar dan lebih mudah menyerap molekul organik disebut adsorben hidrofob (Kurniasari, 2010).

Kapasitas bahan padat berpori untuk menyerap fluida dipengaruhi oleh beberapa faktor. Faktor-faktor tersebut diantaranya adalah geometri sistem pori serta sifat-sifat kimia yang menggambarkan interaksi antara fluida dengan adsorben. Pada geometri sistem pori, termasuk didalamnya adalah luas total permukaan internal, distribusi ukuran pori serta bentuk dan sambungan pori. Khusus untuk zeolite, kemampuan adsorpsi zeolite juga sangat dipengaruhi oleh perbandingan Si/Al (Kurniasari, 2010).

2.5. Keseimbangan Adsorpsi (Kurniasari, 2010)

Adsorpsi dan desorpsi merupakan proses kesetimbangan. Dan seperti proses kesetimbangan yang lain, maka distribusi sorbat di dalam fluida dan padatan dipengaruhi oleh sistem termodinamika. Data kesetimbangan umumnya disajikan dalam bentuk isotherm, yaitu diagram yang menunjukkan perubahan kesetimbangan antara konsentrasi yang terjerap dengan konsentrasi di fase fluida atau tekanan parsial pada suhu tertentu. Secara umum, untuk adsorpsi fisis di permukaan homogen pada konsentrasi rendah maka kurva isotherm mendekati bentuk linear dan kemiringan/slopenya dikenal sebagai konstanta Henry. Konstanta Henry merupakan konstanta kesetimbangan termodinamika dan ketergantungannya terhadap suhu mengikuti persamaan Van't Hoff (Kurniasari, 2010) :

$$\lim_{p \rightarrow 0} \left(\frac{\partial q}{\partial p} \right)_T = K' = K'_0 e^{-H_0/RT} \quad (2.1)$$

dimana - H_0 merupakan panas adsorpsi pada kondisi standar. Proses adsorpsi, khususnya pada fase uap, umumnya bersifat eksotermis, sehingga $-H_0$ bernilai positif dan oleh karenanya harga K' akan menurun dengan kenaikan suhu (Kurniasari, 2010).

Hukum Henry berlaku dengan anggapan bahwa fase terjerap sangat encer sehingga tidak ada persaingan terhadap permukaan adsorben serta tidak ada pula interaksi antara molekul terjerap. Pada konsentrasi yang tinggi, kedua hal tersebut akan memberikan pengaruh yang cukup besar sehingga bentuk kurva isotherm menjadi lebih kompleks (Kurniasari, 2010).

Kurva isotherm menurut BET diklasifikasikan menjadi lima tipe. Kurva isotherm untuk kelompok adsorben mikropori umumnya termasuk ke dalam tipe I, sedangkan kurva yang lebih kompleks biasanya berhubungan dengan adsorpsi berlapis dan kondensasi kapiler. Kurva isotherm tipe I umumnya dinyatakan dengan model Langmuir, yaitu persamaan (Coulson dkk, 2002).

$$\frac{C_S}{C_{SM}} = \frac{KP}{1+KP} \quad (2.2)$$

dengan C_S adalah konsentrasi pada fase terjerap, C_{SM} adalah konsentrasi maksimal pada fase terjerap, K adalah konstanta dan P adalah tekanan partial adsorbat pada fase gas.

Model Langmuir diturunkan dengan asumsi bahwa adsorpsi terjadi pada jumlah site yang telah tertentu, semua site sama, tiap site dapat menampung satu molekul sorbate dan tidak ada interaksi antara molekul sorbate di permukaan adsorben. Model Langmuir merupakan model yang digunakan secara luas, dan dapat pula digunakan pada sistem adsorpsi dimana molekul terjerapnya bergerak.

Model lain yang juga sering digunakan pada sistem adsorpsi gas adalah persamaan Freundlich. Persamaan ini sering disebut sebagai persamaan empiris. Akan tetapi model ini tidak memiliki batas kemampuan adsorpsi, sehingga jumlah yang terjerap dapat menjadi tak terhingga jika konsentrasi terus dinaikkan. Oleh karena itu, persamaan Freundlich hanya berlaku pada kondisi dibawah konsentrasi jenuh (Kamarudin dkk, 2004). Adapun persamaan Freundlich pada fase gas dinyatakan dengan persamaan berikut (Smith, 2005):

$$V = k' p^n \quad (2.3)$$

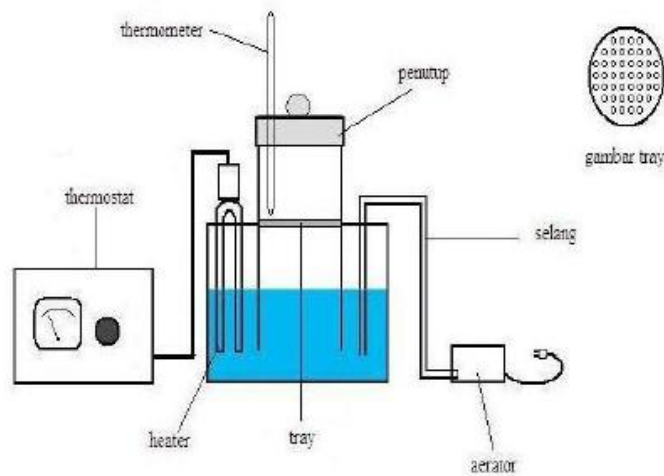
dengan V adalah volume gas terjerap, p adalah partial pressure serta k dan n adalah konstanta yang ditentukan secara eksperimental.

2.6.Percobaan Aktifasi Zeolite Alam (Kurniasari, 2010)

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian adalah zeolit alam Klaten yang diperoleh dari supplier UD. Indrasari Semarang. Fraksi zeolit alam yang digunakan adalah zeolit dengan ukuran 2,00-2,36 mm. Pada aktivasi dengan panas tidak dibutuhkan bahan tambahan lain, sedangkan pada aktivasi dengan basa digunakan NaOH (Merck) serta aquadest.

Pada proses aktivasi dengan panas, zeolit sebanyak 25 gr dipanaskan di dalam furnace pada suhu 200°C selama 2 jam. Setelah itu zeolit didinginkan dalam desikator, dan selanjutnya diuji kemampuan adsorpsinya terhadap uap air dengan menggunakan alat tangki sorption isotherm (Gambar 2.2). Percobaan diulang untuk suhu 300-500°C dan waktu pemanasan 3-5 jam.

Pada proses aktivasi dengan NaOH, zeolit sebanyak 25 gr dicampur dengan NaOH 0,5N dan dipanaskan selama 2 jam pada suhu 60°C, dan selanjutnya dikeringkan dalam oven 110°C selama 4 jam. Zeolit kemudian didinginkan dalam desikator, dan selanjutnya diuji kemampuan adsorpsinya terhadap uap air dengan menggunakan alat tangki sorption isotherm. Percobaan diulang untuk konsentrasi NaOH 1-2N dan suhu pemanasan 70-90°C.



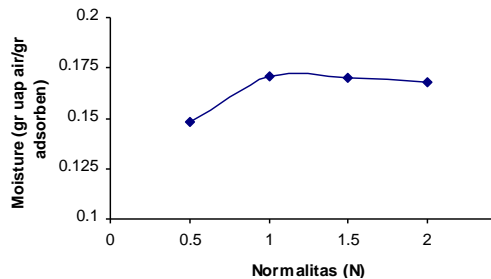
Gambar 2.2: Skema Alat Sorption Isotherm (Kumiasari, 2010)

Untuk mengetahui karakteristik adsorpsi zeolit alam teraktivasi pada berbagai kondisi udara, maka dilakukan uji daya adsorpsi pada berbagai kelembaban relatif dan berbagai suhu. Uji pada berbagai suhu dilakukan pada range suhu 30-80°C dengan interval 10°C. Sampel zeolit seberat 20 gr dimasukkan ke dalam alat uji adsorpsi yang berisi air dan dipertahankan pada suhu tertentu sesuai variabel. Zeolit dikontakkan dengan uap air sampai diperoleh berat konstan. Berat ini menunjukkan kemampuan adsorpsi zeolit terhadap uap air telah maksimal. Penambahan berat yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk pembuatan kurva kesetimbangan sistem zeolit-uap air. Uji yang kedua dilakukan pada berbagai kelembaban relatif. Sampel zeolit sebanyak 20 gr dimasukkan pada alat uji adsorpsi kosong yang dipertahankan pada suhu tertentu, namun suhu udara masuk divariasikan untuk mendapatkan kelembaban relatif yang berbeda. Zeolit dikontakkan dengan udara tersebut sampai diperoleh berat konstan (Kumiasari, 2010).

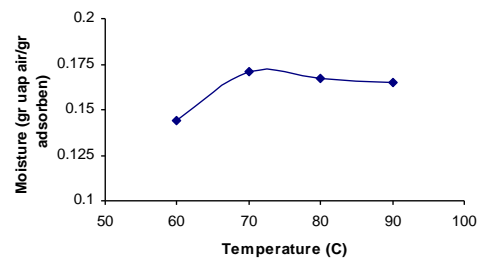
2.7. Hasil Aktivasi Zeolit Alam

Proses aktivasi zeolit alam dilakukan dengan menggunakan dua metode, yaitu perlakuan dengan basa (NaOH) serta perlakuan dengan panas/fisis. Gambar 2.3 dan Gambar 2.4 menunjukkan kemampuan adsorpsi uap air dari zeolit yang diaktivasi dengan NaOH. Dari kedua gambar tersebut dapat diketahui kondisi

aktivasi terbaik dengan NaOH adalah pada konsentrasi NaOH 1 N dan suhu 70°C dengan kemampuan adsorpsi sebesar 0,171 gr uap air/gr adsorben.



Gambar 2.3: Pengaruh normalitas terhadap daya adsorpsi zeolit pada proses aktivasi dengan NaOH



Gambar 2.4: Pengaruh suhu terhadap daya adsorpsi zeolit pada proses aktivasi dengan NaOH

Pada percobaan ini, proses aktivasi zeolit alam bertujuan untuk meningkatkan kemampuan adsorpsi zeolit alam terhadap uap air. Untuk zeolit alam yang tidak diaktivasi, kemampuan adsorpsinya sebesar 0,077 gr uap air/gr adsorben. Aktivasi dengan basa, dalam hal ini adalah NaOH, terbukti dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi zeolit terhadap uap air. Pada proses aktivasi dengan NaOH, akan terjadi proses pelarutan silika yang merupakan salah satu komponen dalam kerangka zeolit (Jozefaciuk dan Bowanko, 2002). Pelarutan silika akan menyebabkan perubahan struktur zeolit serta berkurangnya silika dalam kerangka zeolit sehingga rasio Si/Al menurun. Penurunan rasio ini akan meningkatkan kapasitas adsorpsi dan selektivitas zeolit terhadap molekul-molekul polar seperti uap air (Bonenfant dkk, 2008).

Polaritas molekul yang teradsorpsi oleh zeolit juga mempunyai peranan yang cukup penting yang mempengaruhi interaksinya dengan bidang listrik zeolit. Untuk molekul-molekul polar seperti uap air, maka gaya yang bekerja adalah gaya elektrostatis. Molekul yang polar seperti air akan berinteraksi secara kuat dengan bidang listrik zeolit, sehingga proses adsorpsi uap air oleh zeolit akan lebih mudah terjadi. Pada rasio Si/Al rendah maka pori-pori zeolit mempunyai bidang listrik yang lebih tinggi yang disebabkan oleh meningkatnya "charge site" pada permukaan

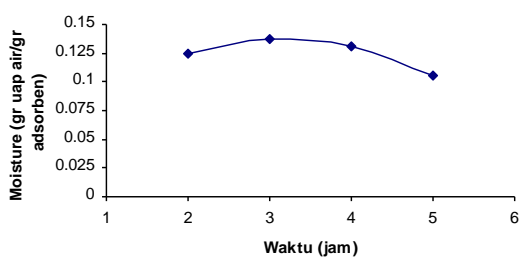
zeolit. Peningkatan bidang listrik pada permukaan zeolit ini terutama disebabkan oleh meningkatnya jumlah kation yang dapat dipertukarkan (*exchangeable cation*).

Selain penurunan Si/Al rasio, aktivasi dengan NaOH juga bertujuan untuk menghilangkan ion-ion tertentu dari kerangka zeolit dan menggantinya dengan ion Na^+ sehingga zeolit alam mempunyai kondisi yang semakin mendekati bentuk homoionik (Inglezakis dkk, 2001). Dengan bentuk homoionik, molekul zeolit akan mempunyai ukuran pori yang relatif sama, sehingga diharapkan kemampuan dan selektivitas adsorpsinya terhadap uap air juga akan lebih baik.

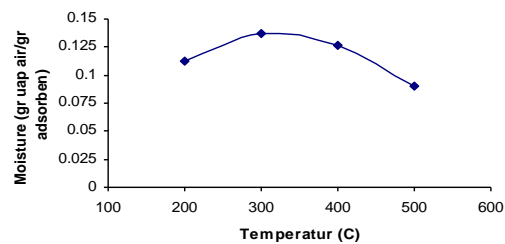
Ukuran pori juga merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi kapasitas dan laju adsorpsi zeolit terhadap adsorbat tertentu (Bonenfant dkk, 2008). Zeolit merupakan mineral yang mempunyai 2 jenis pori, yaitu mikropori (ukuran sampai 2 nm) dan makropori (ukuran >50nm). Makropori merupakan jalan masuk partikel menuju mikropori, dan pada bagian mikropori inilah sebagian besar peristiwa adsorpsi terjadi. Proses aktivasi secara umum diharapkan dapat meningkatkan jumlah mikropori karena pada proses aktivasi sebagian besar mikropori akan terbentuk. Pembentukan mikropori selama proses aktivasi kemungkinan disebabkan oleh penghilangan kotoran di permukaan serta adanya perubahan kerangka zeolit yang terjadi. Dengan peningkatan jumlah dan volume mikropori inilah maka kemampuan adsorpsi zeolit alam teraktivasi terhadap air menjadi lebih tinggi.

Kondisi operasi aktivasi dengan NaOH terbaik diperoleh pada 1N dan 70°C. Pada kondisi ini, penurunan rasio Si/Al serta kemampuan tukar kation pada zeolit alam kemungkinan telah maksimal, sehingga pada kondisi diatas itu sudah tidak lagi memberikan perubahan daya adsorpsi yang signifikan. Sedangkan pada kondisi dibawah ini, pelarutan Si^{4+} serta masuknya ion Na^+ masih bisa terjadi, sehingga daya adsorpsi masih bisa bertambah. Secara umum, aktivasi zeolit alam dengan NaOH dapat dilakukan pada konsentrasi antara 1-2N. Sementara pada konsentrasi diatas itu, tidak diperoleh peningkatan yang signifikan karena modifikasi komposisi zeolit dapat dilakukan setelah proses pembentukannya, akan tetapi dengan keterbatasan tertentu.

Metode aktivasi zeolit alam yang kedua adalah dengan pemanasan (metode fisis). Gambar 2.5 dan Gambar 2.6 menunjukkan kemampuan adsorpsi uap air dari zeolit yang diaktivasi dengan panas. Kondisi aktivasi terbaik diperoleh pada pemanasan 300°C selama 3 jam dengan kemampuan adsorpsi sebesar 0,137 gr uap air/gr adsorben.



Gambar 2.5: Pengaruh waktu pemanasan terhadap daya adsorpsi zeolit pada proses aktivasi fisis



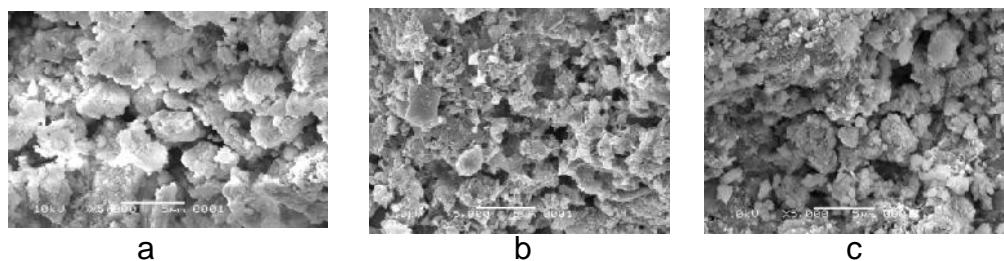
Gambar 2.6: Pengaruh suhu terhadap daya adsorpsi zeolit pada proses aktivasi fisis

Proses aktivasi secara fisis bertujuan untuk menghilangkan molekul-molekul air serta zat-zat organik pengotor yang ada pada pori dan kerangka zeolit. Perlakuan termal ini dapat pula menyebabkan perpindahan kation, yang akan mempengaruhi letak kation serta ukuran pori dan pada akhirnya akan mempengaruhi kesetimbangan serta kinetika adsorpsi.

Pada percobaan ini dihasilkan suhu aktivasi terbaik adalah 300°C. Pada suhu dibawah ini maka belum semua air dan bahan-bahan organik pengotor teruapkan. Namun bila suhu lebih dari 300°C maka dimungkinkan terjadi kerusakan pada kerangka zeolit yang menyebabkan kemampuan adsorpsinya terhadap uap air menurun. Kecenderungan hasil perlakuan dengan panas terhadap zeolit alam Indonesia ini sesuai dengan hasil yang diperoleh pada zeolit alam Turki dimana kemampuan adsorpsi zeolit alam Turki mula-mula meningkat seiring dengan

peningkatan suhu aktivasi, akan tetapi setelah suhu diatas 400°C kemampuan adsorpsi zeolit turun (Ozkan dan Ulku, 2005). Zeolit alam juga umumnya mempunyai rasio Si/Al yang rendah sampai sedang (1-10). Stabilitas atau ketahanan zeolit ini terhadap panas relatif rendah, berkisar pada suhu 300-700°C tergantung pada struktur masing-masing zeolit (Ackley, 2003; Payra dan Dutta, 2003).

Hasil analisa SEM untuk zeolit alam sebelum dan sesudah mengalami perlakuan dapat dilihat pada Gambar 2.7, sedangkan analisa komposisinya dapat dilihat pada Tabel 2.2. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa setelah mengalami perlakuan atau aktivasi terjadi perubahan struktur zeolit. Ukuran kristal zeolit setelah mengalami aktivasi berubah menjadi lebih kecil, yang berarti pula terjadi peningkatan volume pori. Hal ini merupakan salah satu faktor yang menyebabkan peningkatan kemampuan adsorpsi zeolit setelah mengalami aktivasi. Namun pada aktivasi dengan panas (fisis) ukuran kristal zeolit relatif kurang seragam bila dibandingkan dengan zeolit yang diaktivasi dengan NaOH, sehingga menyebabkan kemampuan adsorpsi zeolit ini lebih rendah.



Gambar 2.7: Analisa SEM pada (a) Zeolit alam tanpa aktivasi (b) Zeolit alam dengan aktivasi NaOH (c) Zeolit alam dengan aktivasi fisis/panas.

Tabel 2.2: Komposisi Zeolit Alam Tanpa Aktivasi dan Dengan Aktivasi

Komponen	Tanpa aktivasi (%)	Aktivasi NaOH(%) ^a	Aktivasi fisis(%) ^b
C	6,17	5,75	5,08
Na ₂ O	0,75	4,10	0,56
Al ₂ O ₃	9,68	10,55	10,63
SiO ₂	74,88	61,95	75,08
K ₂ O	4,98	7,11	6,76
CaO	3,55	10,53	1,88

Keterangan:

^a = Zeolit aktivasi NaOH adalah zeolit alam yang diaktivasi dengan NaOH 1N pada suhu 70°C

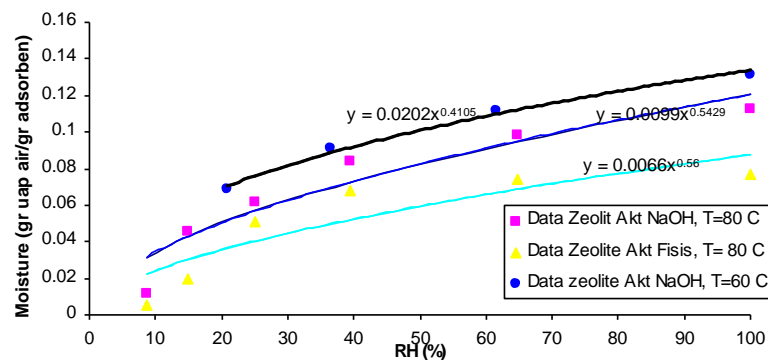
^b = Zeolit aktivasi fisis adalah zeolit alam yang diaktivasi dengan panas 300°C selama 3 jam.

Dari Tabel 2.2. dapat diketahui bahwa setelah proses aktivasi terjadi penurunan rasio Si/Al zeolit. Rasio mula-mula 7,74 dan turun menjadi 5,87 pada proses aktivasi dengan NaOH serta 7,06 pada proses aktivasi dengan panas. Semakin rendah rasio Si/Al, maka zeolit menjadi lebih hidrofilik. Hal ini menyebabkan kemampuan adsorpsi zeolit terhadap uap air lebih besar. Namun dari tabel tersebut juga terlihat bahwa zeolit alam, baik sebelum maupun sesudah aktivasi masih mengandung zat-zat organik (adanya atom C), yang tentu saja akan mempengaruhi kemampuan adsorpsi zeolit terhadap uap air.

2.8. Kesetimbangan Adsorpsi pada Berbagai Suhu dan Berbagai Kelembaban Relatif

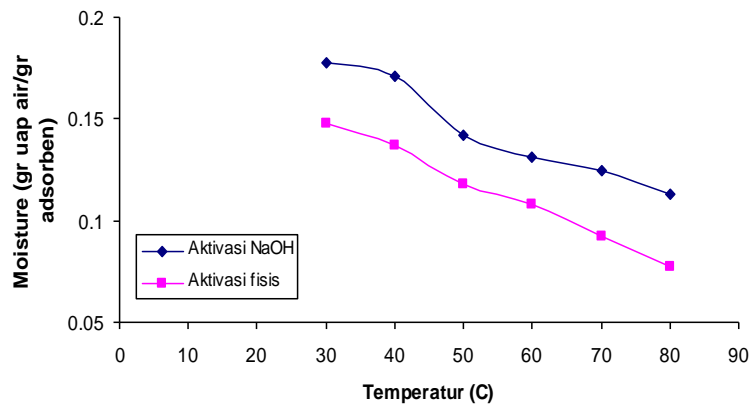
Gambar 2.8 menunjukkan kurva kesetimbangan adsorpsi pada zeolit alam yang diaktivasi dengan NaOH dan aktivasi dengan panas pada berbagai nilai kelembaban relatif (RH). Meskipun umumnya kesetimbangan adsorpsi zeolit dinyatakan dalam tekanan relatif/parsial, namun nilainya sebanding dengan kelembaban relatif. Sementara Gambar 2.9 merupakan kurva kesetimbangan adsorpsi zeolit alam pada berbagai suhu. Dari Gambar 2.8 terlihat bahwa semakin besar nilai RH maka kemampuan adsorpsi zeolit semakin besar pula. Kecenderungan ini berlaku pada berbagai jenis zeolit, baik zeolit alam maupun sintetis. Kurva kesetimbangan adsorpsi uap air dan zeolit menurut klasifikasi BET termasuk dalam tipe I, dengan slope terbesar mendekati RH = 0 dan semakin datar

pada RH tinggi. Kondisi ini mengindikasikan permukaan yang hidrofilik serta mikroporositas. Slope yang besar pada awal kurva menunjukkan tingginya afinitas air dengan zeolit. Afinitas yang tinggi menyebabkan kemampuan adsorpsi zeolit terhadap uap air juga tinggi. Nilai afinitas ini salah satunya dipengaruhi oleh rasio Si/Al, dimana nilai afinitas uap air dan zeolit berbanding terbalik dengan rasio Si/Al zeolit. Oleh karena proses aktivasi dengan NaOH memberikan rasio Si/Al yang lebih rendah dibanding aktivasi fisis, maka aktivasi dengan NaOH akan memberikan kemampuan adsorpsi yang lebih tinggi pada RH yang sama. Peningkatan tekanan parsial juga dapat menyebabkan penetrasi uap air lebih jauh ke dalam sambungan kecil zeolit sehingga menyebabkan interaksi antara uap air dengan zeolit menjadi lebih kuat.



Gambar 2.8: Kurva kesetimbangan adsorpsi pada kelembaban relatif yang berbeda

Sementara dari Gambar 2.9 terlihat bahwa kemampuan adsorpsi zeolit terhadap uap air menurun dengan kenaikan suhu. Dengan kenaikan suhu akan terjadi peningkatan mobilitas molekul teradsorpsi dalam lubang zeolit. Hal ini menyebabkan terjadinya penurunan interaksi antara adsorben dengan adsorbat sehingga dapat mempengaruhi harga kesetimbangan adsorpsi.



Gambar 2.9: Kurva kesetimbangan adsorpsi pada suhu yang berbeda

Model persamaan adsorpsi yang diperoleh disajikan pada Tabel 2.3. Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa nilai konstanta Freunlich dan Langmuir untuk zeolit yang diaktivasi dengan NaOH lebih tinggi dibandingkan dengan zeolit yang diaktivasi secara fisis. Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan adsorpsi zeolit alam yang diaktivasi dengan NaOH lebih baik daripada yang diaktivasi secara fisis. Adapun model yang paling mendekati hasil percobaan untuk kedua metode aktivasi adalah model Freunlich.

Tabel 2.3: Persamaan Model Adsorpsi

Metode Aktivasi	Model Adsorpsi	Persamaan	SSE
NaOH	Freunlich	$y = 0,0098x^{0,54}$	0,00061
	Langmuir	$y = \frac{0,0016x}{1 + 0,0016x}$	0,0022
Fisis	Freunlich	$y = 0,0066x^{0,56}$	0,0009
	Langmuir	$y = \frac{0,0011x}{1 + 0,0011x}$	0,0018

***Keterangan: BAB II diambil dari Tesis Penelitian Program Studi Magister Teknik Kimia Universitas Diponegor atas nama Laeli Kurniasari tahun 2010 dengan judul "Aktifiasi Zeolite Alam Sebagai Adsorben Uap Air Pada Alat Pengering Bersuhu Rendah". Pembimbing Dr Mohamad Djaeni**

DAFTAR PUSTAKA

- Ackley M.W.; Rege S.U.; Saxena, H. (2003). Application of Natural Zeolites in The Purification and Separation of Gases, *Journal Microporous and Mesoporous Materials* 61, 25-42.
- Bonenfant, D.; Kharoune, M.; Niquette, P. ; Mimeault, M.; Hausler, R. (2008). Advances in Principal Factors Influencing Carbon Dioxide Adsorption on Zeolite; *Sci. Technol. Adv. Mater* 9, DOI 10.1088/1468-6996/9/1/013007
- Butland, T.D. (2008). Adsorption Removal of Tertiary Butyl Alcohol from Wastewater by Zeolite, Thesis of Worcester Polytechnic Institute.
- Coulson, J.M.; Richardson, J.F.; Backhurst, J.R. (2002). *Chemical Engineering: Partide Technology and Separation Processes*, Vol. 2, 5th Edition, Butterworth-Heinemann, Ltd, UK
- Djaeni, M. (2008). Energy Efficient Multistage Zeolite Drying for Heat Sensitive Products, PhD Thesis of Wageningen University, The Netherlands.
- Gruszkiewics, M.S.; Simonson, J.M.; Burchell, T.D.; Cole, D.R. (2005). Water Adsorption and Desorption on Microporous Solids at Elevated Temperature, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 81, 609-615.
- Igbokwe, P.K.; Okolomike, R.O.; Nwokolo, S.O. (2008). Zeolite for Drying of Ethanol-Water and Methanol-Water Systems from Nigerian Clay Resource, *Journal of The University of Chemical Technology and Metallurgy*, 43, 1, 109-112.
- Inglezakis, V.J.; Papadreas, C.D.; Loizidou, M.D.; Grigoropoulou, H.P. (2001). Effects of Pretreatment on Physical and Ion Exchange Properties of Natural Clinoptilolite, *Environmental Technology* Vol 22, 75-82
- Jozefaciuk, G.; Bowanko, G. (2002). Effect of Acid and Alkali Treatments on Surface Areas and Adsorption Energies of Selected Minerals, *Journal Clays and Clay Minerals*, Vol 50 No. 6, 771-783.
- Kamarudin, K.S.N.; Hamdan, H.; Mat, H. (2004). Equilibrium Model of Gas Adsorption on Zeolite, Paper of University of Technology Malaysia.
- Kurniasari, L. (2010). Aktifiasi Zeolite Alam Sebagai Adsorben Uap Air Pada Alat Pengering Bersuhu Rendah. Tesis, Program Studi Magister Teknik Kimia Universitas Diponegoro Semarang
- Oliveira, C.R.; Rubio, J. (2007). Adsorption of Ions onto Treated Natural Zeolite, *Materials Research* Vol. 10 No. 4, 407-412.
- Ozkan, F.C.; Ulku, S. (2005). The Effect of HCl Treatment on Water Vapor Adsorption Characteristics of Clinoptilolite Rich Natural Zeolite, *Journal Microporous and Mesoporous Materials* 77, 47-53.
- Ozkan, F.C.; Ulku, S. (2008). Diffusion Mechanism of Water Vapour in A Zeolitic Tuff Rich in Clinoptilolite, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 94, 699-702.
- Payra, P.; Dutta, P.K. (2003). *Zeolites : A Primer*, Handbook of Zeolite Science and Technology, Marcel Dekker, Inc.
- Rosita, N.; Erawati, T.; Mbegihardjo, M. (2004). Pengaruh Perbedaan Metode Aktivasi Terhadap Efektivitas Zeolit sebagai Adsorben, *Majalah Farmasi Airlangga* Vo.l 4, No. 1.

- Senda, S.P.; Saputra, H.; Sholeh, A.; Rosjidi, M.; Mustafa, A. (2006). Prospek Aplikasi Produk Berbasis Zeolit untuk Slow Release Substances (SRS) dan Membran, Artikel Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi Indonesia, ISSN 1410-9891.
- Smith, R. (2005). Chemical Process Design and Integration, John Wiley & Sons, Ltd
- Suardana, I.N. (2008). Optimalisasi Daya Adsorpsi Zeolit Terhadap Ion Kromium(III), Jurnal Penelitian dan Pengembangan Sains & Humaniora Lembaga Penelitian Undiksha, Vol. 2(1), 17-33.
- Sumin, L.; Youguang, M.A.; Chunying, Z.; Shuhua, S.; Qing, H.E. (2009). The Effect of Hydrophobic Modification of Zeolites on CO₂ Absorption Enhancement, Chinese Journal of Chemical Engineering, 17(1), 36-41.
- Ulku, S.; Cakicioglu, F. (1991). Energy Recovery in Drying Application, Renewable Energy Vol. 1 No. 5/6, 695-698.
- White, D.; Weber, B. (2009). The Adsorption Dryer Process, Technical Article Program of Compressed Air and Gas Institute.

***Keterangan: BAB II diambil dari Tesis Penelitian Program Studi Magister Teknik Kimia Universitas Diponegor atas nama Laeli Kurniasari tahun 2010 dengan judul "Aktifikasi Zeolite Alam Sebagai Adsorben Uap Air Pada Alat Pengering Bersuhu Rendah". Pembimbing Dr Mohamad Djaeni**

BAB III

PENGERINGAN KARAGINAN DENGAN ZEOLITE

3.1. Latar Belakang

Karaginan adalah bahan tambahan (**additive**) yang penting sebagai stabiliser pada industri makanan (coklat, roti, agar, susu), minuman (sirup), serta obat-obatan. Kendala utama yang dihadapi oleh industri dan UKM karaginan Indonesia adalah borosnya penggunaan energi proses pengeringan (**efisiensi 30-40%**), dan rendahnya kualitas produk yang dihasilkan. Tingginya penggunaan energi mengakibatkan biaya operasi menjadi besar terutama untuk konsumsi bahan bakar dan buruh (**50%** dari total biaya produksi hanya untuk pengeringan).

Umumnya karaginan dari UKM dan industri dalam negeri memiliki kandungan air diatas 15% (standar industri maksimum 10%), serta warna masih kecoklatan dengan derajat keputihan <70% (standar industri minimum 80%) (Prasetyaningrum dan Nur, 2007). Hal ini disebabkan oleh tidak handalnya sistim pengeringan sebagai unit penanganan produk akhir (**final treatment product**). Pada industri dan UKM, proses pengeringan menggunakan oven yang beroperasi pada suhu diatas 100°C. Pada kondisi tersebut, selama proses pengeringan terjadi **browning**, perubahan tekstur, serta terjadinya gelatinisasi (Trius dan Sebranek, 1996). Selain itu proses pengeringan juga masih lama yaitu **2-3 jam/batch**), karena **lambatnya kecepatan transfer** air dari fase cair di karaginan ke fase uap di udara pengering (Prasetyaningrum dan Nur, 2007). Jika suhu ditingkatkan lagi, proses pengeringan berlangsung lebih cepat, namun tekstur karaginan akan rusak karena polimerisasi polisakarida akibat intervensi suhu yang tinggi.

Beberapa model modifikasi pengering seperti vakum, *freeze dryer*, serta *microwave* telah mampu mengurangi tingkat *browning* pada produk yang sensitif terhadap panas. Namun, investasi biaya operasi dan perawatan tinggi terutama untuk penyediaan ruang vakum atau hawa dingin, serta **efisiensi energi** sangat rendah (**<30%**) (Ratti, 2001; Kudra dan Mujumdar, 2002). Jika metode ini

diterapkan untuk karaginan, maka harga jual karaginan menjadi lebih sangat mahal, sehingga daya saing pasar rendah.

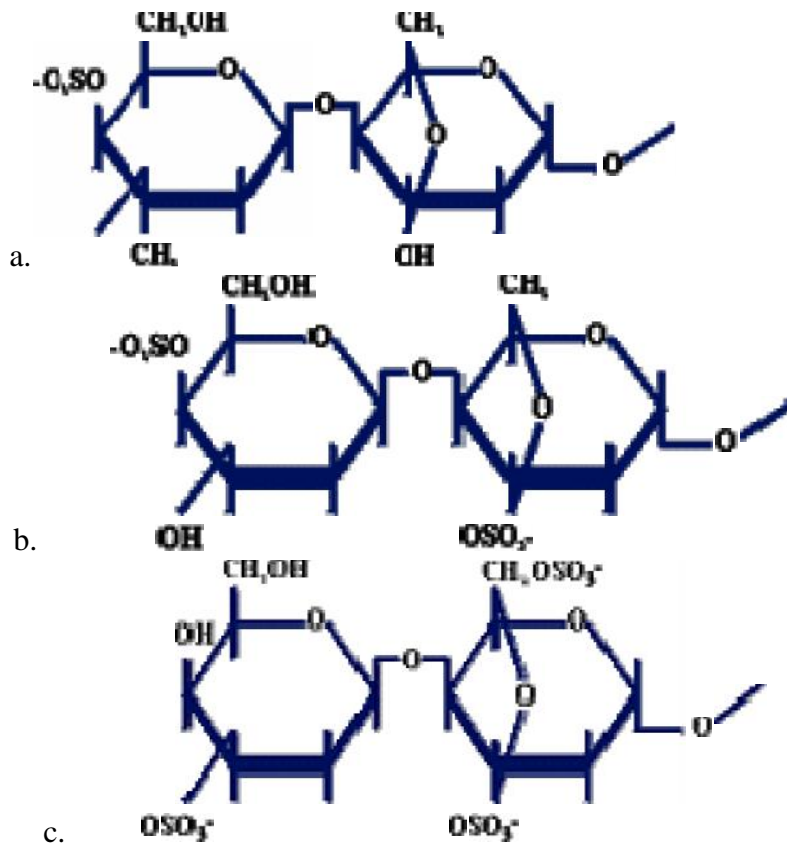
Proses pengeringan dengan cara adsorpsi dengan zeolite alam menjadi suatu pilihan untuk menggantikan sistem pengering konvensional dengan oven. Pada sistem ini udara sebagai media pengering diturunkan dahulu kelembabannya (kadar airnya) dengan diserap menggunakan zeolite alam yang telah diaktifasi. Dengan rendahnya kadar air, maka udara akan mampu menguapkan air dari bahan pada suhu yang rendah dibawah 60°C (suhu *browning* karaginan), serta memiliki kapasitas penguapan air yang lebih besar. Dengan demikian laju alir udara dapat dihemat, kebutuhan panas untuk proses dapat diturunkan dan waktu pengeringan menjadi lebih cepat (Djaeni dkk, 2007a).

Penelitian yang telah dilakukan **Universitas Diponegoro** dan **Wageningen University** tahun **2005-2008** dengan biaya **TPSDP project**, menunjukkan bahwa penyerap zeolite mampu meningkatkan efisiensi hingga **80-90%** (30% lebih tinggi dari pengering konvensional (oven/fluidisasi) atau 40-60% lebih tinggi dari pengering berhawa dingin dan vakum)(Djaeni dkk, 2007b; Revilla dkk, 2006; Alikhan dkk, 1992). Aplikasi awal untuk pengeringan unit *laundry* menunjukkan bahwa pengering adsorpsi dengan zeolite mampu menghemat energi 20-30% (energi efisiensi 80%)(Djaeni dkk, 2009).

Hasil temuan diatas sangat **urgen sekali ditindaklanjuti** untuk mengeringkan karaginan, serta mendesain unit pengering yang tepat dan **feasible** untuk produk tersebut. Kegiatan ini sangat bermanfaat sekali bagi UKM dan industri untuk menghasilkan produk berkualitas dengan proses hemat energi. Bagi peneliti, kegiatan ini memberi kesempatan untuk mengembangkan dan menerapkan hasil temuannya pada produk-produk *real* di industri, serta akan meningkatkan kualitas, serta keberlanjutan penelitian dan publikasi berikutnya terutama pada jurnal dan seminar internasional.

3.2. Tentang Karaginan

Karaginan adalah senyawa polisakarida (sejenis karbohidrat) yang mengandung gugus sulfat diproduksi dari rumput laut (lihat Gambar 3.1) jenis *Eucheuma cottonii* dan *Eucheuma striatum* (Bernal dkk, 1987). Karaginan dibedakan menjadi 3 golongan berdasarkan sifat jelly yang terbentuk yaitu : *kappa* karaginan (jelly bersifat kaku dan getas serta keras), *iota* karaginan (jelly lembut dan fleksibel atau lunak) dan *lambda* karaginan (tidak dapat membentuk jelly tetapi berbentuk cairan yang kental).



Gambar 3.1: Struktur Kimia 3 Jenis Karaginan (a). *Kappa* (b). *Iota* (c). *Lambda* (Anonim, 2005)

a.Sifat dan Manfaat

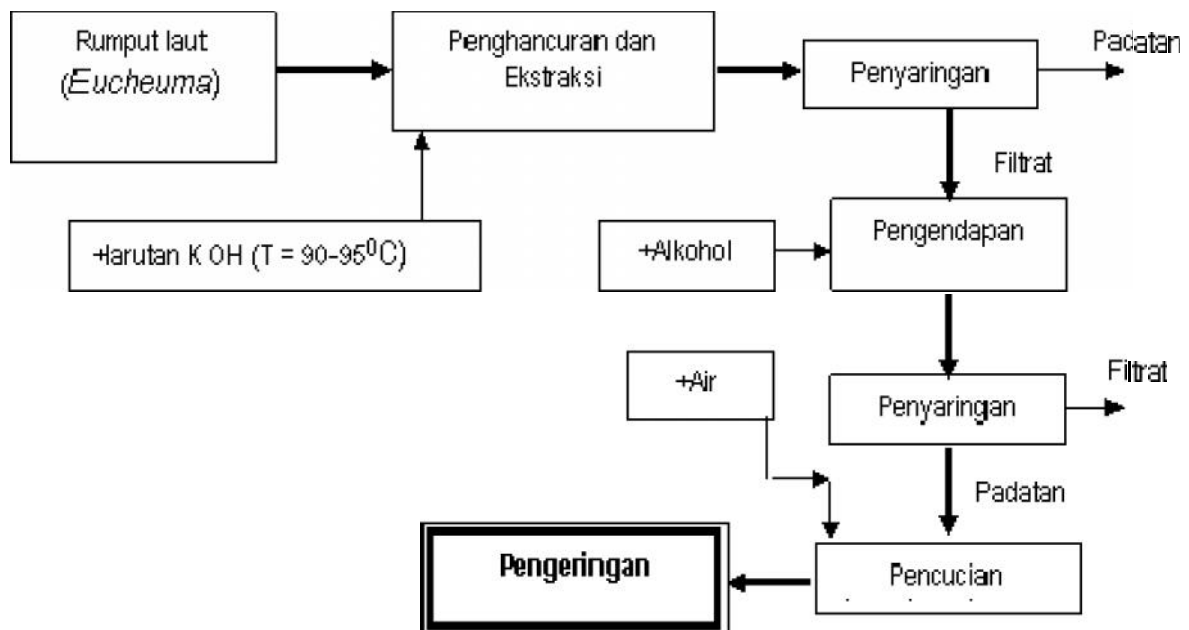
Beberapa sifat penting dari karaginan antara lain (Prasetyaningrum dkk, 2007;Anonim, 2007):

- Dalam air dingin seluruh garam dari Lambda karaginan larut sedangkan Kappa dan Iota karaginan hanya garam Natriumnya saja yang larut.
- Lambda karaginan larut dalam air panas, Kappa dan Iota karaginan larut pada temperatur 70°C ke atas.
- Kappa, Lambda dan Iota karaginan larut dalam susu panas, dalam susu dingin Kappa dan Iota tidak larut, sedangkan Lambda karaginan membentuk dispersi.
- Kappa karaginan membentuk gel dengan ion Kalium, Iota karaginan dengan ion Calcium dan Lambda karaginan tidak membentuk gel.
- Semua type karaginan stabil pada pH netral dan alkali, pada pH asam akan terhidrolisa.

Karaginan pada industri makanan digunakan sebagai stabilizer, thickener, gelling agent, additive atau komponen tambahan dalam pembuatan coklat, milk, pudding, instant milk, makanan kaleng dan *bakery* (Morris, 1986). Pemakaian karaginan diperkirakan 80% digunakan di bidang industri makanan, farmasi dan kosmetik. Industri pasta gigi merupakan pengguna terbesar karaginan di Indonesia, diikuti oleh industri jelly dan es krim (Prasetyaningrum dkk, 2007).

b.Proses Pembuatan, standar mutu dan kendalanya

Diagram alir proses pembuatan karaginan dipresentasikan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2: Diagram alir proses produksi karaginan (Prasetyaningrum dan Nur, 2007)

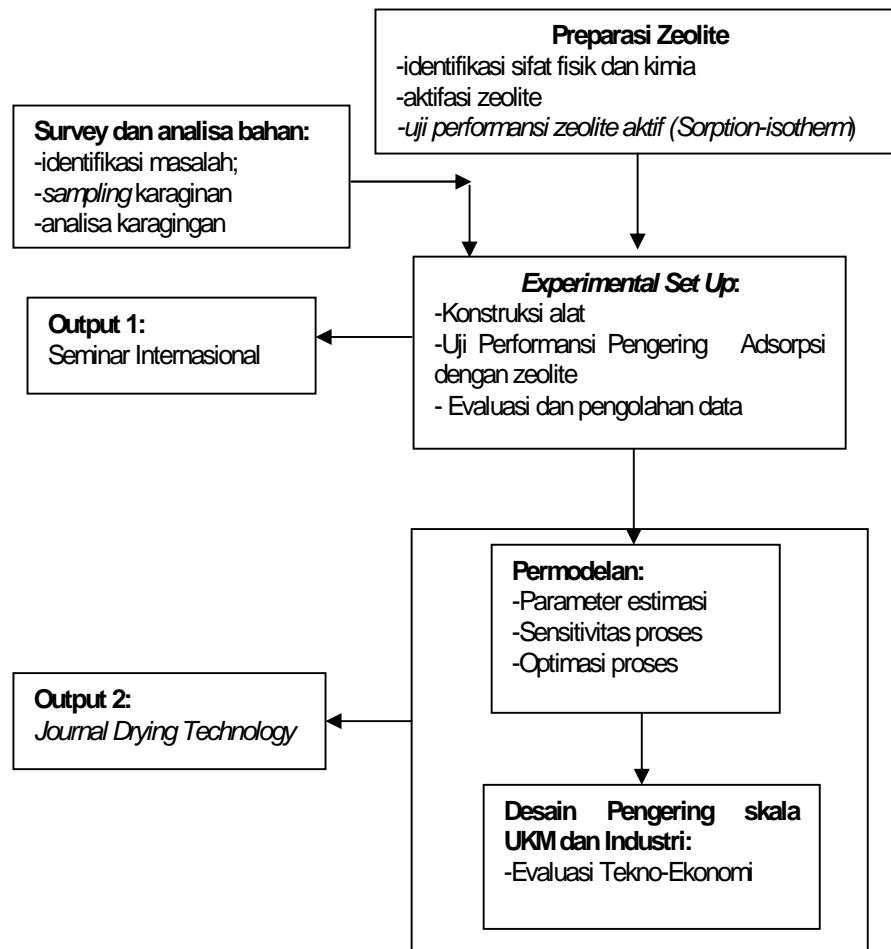
Tahapan proses pada Gambar 3.2 dapat dijelaskan sebagai berikut (Prasetyaningrum, dkk, 2007):

1. Rumput laut dicuci dengan air tawar kemudian dikeringkan sampai kadar air menjadi 15 – 25 %
2. Rumput laut kering dieskraksi dengan ditambah air panas dan kalsium hidroksida atau natrium hidroksida. Selama ekstraksi terjadi penghancuran dan hasilnya berupa pasta. Penghancuran ini bertujuan untuk memperluas permukaan rumput laut sehingga proses pelarutan karaginan akan lebih mudah.
3. Pasta selanjutnya dimasukkan ke tangki atau bejana dan dipanaskan selama 24 jam pada suhu 90 – 95^o C.
4. Setelah itu pindahkan ke tangki lain atau bejana dan dipanaskan selama 24 jam pada suhu 90 – 95^o C.
5. Setelah mendidih disaring dengan filter aid atau tanah diatomea. Hasilnya disaring lagi dengan filter press.
6. Filtrate yang dihasilkan dipompa ke dalam tangki yang berisi propil alkohol dan akan didapatkan serat karaginan.
7. Serat karaginan dipress, kemudian dicuci dengan alkohol segar dan dipress lagi.

8. Lembaran karaginan yang didapat dikeringkandengan *rotary dryer* dengan suhu $>120^{\circ}\text{C}$. Untuk mendapatkan tepung karaginan lembaran tersebut digiling.

3.3. Implementasi Kegiatan Penelitian

Penelitian ini merupakan bagian dari road map panjang penelitian yang dipaparkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3: Skema implementasi kegiatan penelitian

Tahap aplikasi ini bertujuan untuk meningkatkan mutu karaginan, menghemat kebutuhan energi proses pengeringan (meningkatkan energi efisiensi), menghasilkan desain pengering karaginan yang fisibel berdasarkan kajian tekno-ekonomi. Penelitian ini dilaksanakan 4 tahap utama yaitu: identifikasi karaginan lokal

dan aktivasi zeolite alam, percobaan pengeringan adsorpsi dengan zeolite, dan permodelan yang dilanjutkan dengan evaluasi tekno-ekonomi. Secara skematik implementasi penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.3.

a. Identifikasi Karaginan Lokal

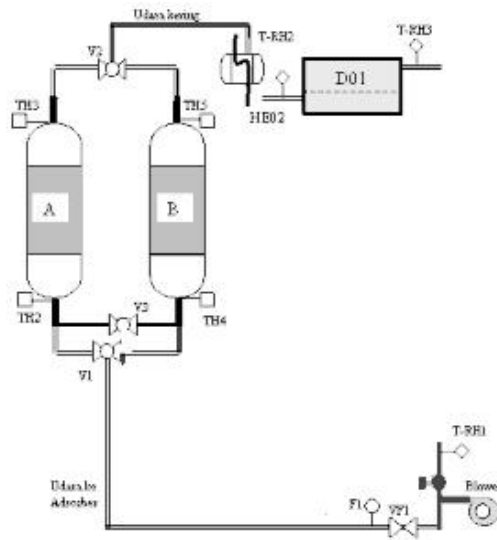
Studi lapangan telah dilakukan pada UKM Unit Produksi Rumput Laut SMK 1, Jepara pada tanggal 20 April 2009. Tujuannya adalah untuk mendapatkan kualitas karaginan lokal dan membandingkan dengan standar karaginan untuk industri (lihat Tabel 3.1). Berdasarkan Tabel 3.1, kandungan air masih cukup tinggi dan derajat keputihan masih rendah, yang disebabkan oleh tingkat browning yang tinggi, terutama pada saat pengeringan. Jika kadar air bisa ditekan 10% dengan tingkat browning yang rendah, maka kandungan karbohidrat, dan serat akan lebih besar yang dapat meningkatkan kekuatan gel.

Table 3.1: Komparasi karaginan lokal dengan standar SNI

No.	Parameter	Kandungan(%)	
		SNI	UKM Produksi Rumput Laut
1.	Air	10.0 (max)	15.0
2.	Protein	2.5-3.0	2.6
3.	Lemak	2.0 (max)	1.4
4.	Debu	15.0-20.0	10.0
5.	Serat	6.0-7.0	6.0
6.	Karbohidrat	65.0-70.0	65.0
	Derajat Keputihan (%),(white test meter standard)	65	55
	Kekuatan gel (dyne/cm ²)	670-680	632

b. *Experimental Set Up*

Tujuan dari tahap ini adalah: mendapatkan performansi real efisiensi energi dari pengering adsorpsi dengan zeolite, serta mengetahui pengaruh variasi suhu, kelembaban udara, dan kecepatan alir udara, tebal karaginan dalam pengering dan kadar air karaginan umpan, terhadap efisiensi dan kualitas karaginan (kekuatan gel, derajat keputihan, dan kadar air). Alat yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4: Sistem Pengering Adsorpsi dengan Zeolite

Cara kerja

Pengering adsorpsi dengan zeolite memiliki dua kolom (A dan B) berdiameter 15 cm, dan tinggi 30 cm, yang berisi zeolite sebanyak 2 kg. Kedua kolom tersebut bekerja secara shift sebagai berikut (Gambar 3.4):

Udara luar dialirkan dengan blower kapasitas 90 m³/jam diumpungkan ke unit adsorber (misalkan kolom A) untuk menurunkan kadar airnya. Akibat penyerapan ini maka suhu udara mengalami kenaikan 5-10°C diatas kondisi masuknya. Udara kering ini selanjutnya dipanaskan pada HE02 untuk mencapai kondisi yang diinginkan (misalkan 60°C) digunakan untuk proses pengeringan karaginan di D01. Setelah waktu kurang lebih 1 jam, zeolite dalam kolom A akan jenuh air. Pada kondisi ini fungsi sebagai penyerap sudah tidak dapat dijalankan. Oleh karena itu, proses penyerapan udara dialihkan ke kolom B, sedangkan zeolite dalam kolom A diregenerasi dengan pemanasan. Kondisi ini terus menerus diulang-ulang, sampai kadar air dalam karaginan pada unit pengering D01 mencapai kadar 10%. Pengaturan shif ini diatur secara manual dengan valve V1, V2, V3, dan V4. Sementara itu HE02 difungsikan jika udara pengering keluar dari adsorber dibawah 40°C, atau jika menginginkan suhu proses pengeringan hingga 60°C.

c. Pengumpulan data dan perhitungan efisiensi

Sebelum menghitung efisiensi energi, maka data-data berikut diperoleh dahulu melalui percobaan, yaitu: kecepatan linier udara untuk pengeringan (F_1), suhu dan kelembaban relative udara masuk (TH2/TH4) dan keluar adsorber (TH3/TH5), suhu dan kelembaban relative udara masuk dan keluar pengering (T-RH2 dan T-RH3). Pengukuran dilakukan setiap 15 menit, selama 2 jam operasi. Data lain seperti panas spesifik, dan masa jenis udara, uap air, dan zeolite diperoleh dari literatur. Perhitungan efisiensi energi dilakukan sebagai berikut:

$$= 100\%Q_{evap}/(Q_{intr}) \quad (3.1)$$

Q_{evap} panas untuk menguapkan air dari bahan (kJ) yang diperhitungkan berdasarkan kelembaban udara masuk dan keluar pengering ($q_{v,d}^{in}, q_{v,d}^{out}$), selama waktu operasi (tf).

$$Q_{evap} = \int_{t=0}^{t=tf} F_{a,d} \Delta H_{evap} (q_{v,d}^{out} - q_{v,d}^{in}) dt \quad (3.2)$$

Harga ($q_{v,d}^{in}, q_{v,d}^{out}$) diperoleh berdasarkan kelembaban relative dan suhu udara (T-RH2 and T-RH3), sedangkan $F_{a,d}$ kecepatan masa udara kering (kg/minute), yang diperoleh berdasarkan data kecepatan linier, luas penampang pipa, dan kerapatan udara. Q_{intr} adalah total kebutuhan energi (kJ) selama operasi pengeringan yang diperoleh sebagai berikut:

$$Q_{intr} = Q_{HE,02} + Q_{reg, zeolite} \quad (3.3)$$

$$Q_{HE,02} = F_{a,d} (c_{p,air} + q_{v,d}^{in} c_{p,v}) (T_d - T_{a,ads}) tf \quad (3.4)$$

$$Q_{reg, zeolite} = 60 \times P_{ov} \times t_{ov} \quad (3.5)$$

$Q_{HE,02}$, $Q_{reg, zeolite}$ adalah panas yang diperlukan untuk menaikkan suhu udara dalam HE02 (kJ), dan untuk meregenerasi zeolite dalam autoclave (kJ); $c_{p,air}$, $c_{p,v}$ adalah panas spesifik udara dan uap air (kJ/kg°C); T_d , $T_{a,ads}$ adalah suhu masuk dan keluar pengering (°C); P_{ov} adalah daya oven (0.78 kwatt); t_{ov} waktu operasi oven (menit).

Pada eksperimen ini diselidiki pengaruh kecepatan linear udara pengering 0.5-2 m/detik, suhu udara pengering 30-60°C, serta tebal karaginan 1-3 mm terhadap efisiensi energi, kecepatan pengeringan, warna karaginan, dan kadar air dalam produk karaginan kering.

d. Pengembangan Model Matematika

Fenomena yang terjadi pada pengeringan adsorpsi dengan zeolite adalah: kandungan air dari udara diserap zeolite dengan demikian akan melepas panas dan kadar air turun. Panas yang dilepas ini sebagian hilang ke lingkungan dan sebagian besar dibawa udara sebagai panas sensible. Udara kering dan hangat ini digunakan untuk proses pengeringan, dengan demikian kelembaban akan naik dan suhu turun. Udara ini kemudian di buang ke lingkungan. Sementara itu regenerasi zeolite membutuhkan panas, untuk menguapkan air yang terserap sehingga zeolite dapat dipakai kembali. Dari fenomena ini, model dikembangkan pada Tabel 3.2, dan Tabel 3.3.

Tabel 3.2: Model matematika adsorber, regenerator dan pengering

<p>Adsorber</p> <p>Neraca masa air pada zeolite</p> <p>Zeolite: $\frac{dq_{w,ad}(h,t)}{dt} = r_{ads}(h,t)$ (3.10)</p> <p>Udara: $v_z \frac{dq_{v,ad}(h,t)}{dt} = -\left(\frac{F_{a,ad}}{A_{bol}}\right) \frac{dq_{v,ad}(h,t)}{dh} - \dots_z (1-v_z) r_{ads}(h,t)$ (3.11)</p> <p>Neraca panas</p> <p>Zeolite: $\dots_z c_{p,z,ad} (1-v_z) \frac{dT_{z,ad}(h,t)}{dt} = \dots_z (1-v_z) \Delta H_{ads} r_{ads}(h,t) - U_z S_{A,z} (T_{z,ad}(h,t) - T_{a,ad}(h,t))$ (3.12)</p> <p>udara: $\dots_a c_{p,a,ad} v_z \frac{dT_{a,ad}(h,t)}{dt} = -\frac{F_{a,ad} c_{p,a,ad}}{A_{bol}} \frac{dT_{a,ad}(h,t)}{dh} + U_z S_{A,z} (T_{z,ad}(h,t) - T_{a,ad}(h,t)) - \frac{4U_{bed,col}}{ID_{col}} (T_{a,ad}(h,t) - T_{amb})$ (3.13)</p> <p>Regenerator</p> <p>Neraca masa Air</p> <p>Zeolite: $\frac{dq_{w,reg}(h,t)}{dt} = r_{des}(h,t)$ (3.14)</p> <p>Udara: $v_z \frac{dq_{v,reg}(h,t)}{dt} = -\left(\frac{F_{a,reg}}{A_{bol}}\right) \frac{dq_{v,reg}(h,t)}{dh} - \dots_z (1-v_z) r_{des}(h,t)$ (3.15)</p> <p>Neraca panas</p> <p>Zeolite: $\dots_z c_{p,z,reg} (1-v_z) \frac{dT_{z,reg}(h,t)}{dt} = \dots_z (1-v_z) \Delta H_{des} r_{des}(h,t) - U_z S_{A,z} (T_{z,reg}(h,t) - T_{a,reg}(h,t))$ (3.16)</p> <p>Udara: $\dots_a c_{p,a,reg} v_z \frac{dT_{a,reg}(h,t)}{dt} = -\frac{F_{a,reg} c_{p,a,reg}}{A_{bol}} \frac{dT_{a,reg}(h,t)}{dh} + U_z S_{A,z} (T_{z,reg}(h,t) - T_{a,reg}(h,t)) - \frac{4U_{bed,col}}{ID_{col}} (T_{a,reg}(h,t) - T_{amb})$ (3.17)</p> <p>Pengering</p> <p>Neraca masa air</p> <p>Produk (karajinan) : $\frac{dq_{w,d}(h,t)}{dt} = -r_{dy}(h,t)$ (3.18)</p> <p>Udara: $v_p \frac{dq_{v,d}(h,t)}{dt} = -\left(\frac{F_{a,d}}{A_t}\right) \frac{dq_{v,d}(h,t)}{dh} - \dots_p (1-v_p) r_{dy}(h,t)$ (3.19)</p> <p>Neraca panas</p> <p>Produk: $\dots_p c_{p,p,d} (1-v_p) \frac{dT_{p,d}(h,t)}{dt} = \dots_p (1-v_p) \Delta H_v r_{dy}(h,t) - U_p S_{A,p} (T_{p,d}(h,t) - T_{a,d}(h,t))$ (3.20)</p>

$$\text{Udara: } \dots_a \rho_{a,d} V_p \frac{dT_{a,d}(h,t)}{dt} = -\frac{F_{a,d} \rho_{a,d}}{A_d} \frac{dT_{a,d}(h,t)}{dh} + U_p S_{A,p} (T_{p,d}(h,t) - T_{a,d}(h,t)) - \frac{U_{bed,d}}{I_d} (T_{a,d}(h,t) - T_{amb}) \quad (3.21)$$

Tabel 3.3: Persamaan untuk konstanta pada persamaan 3 (Djaeni dkk, 2009)

Adsorber	$r_{ads}(h,t) = k_{ads}(q_{e,ad}(h,t) - q_{w,ad}(h,t)); k_{ads} = C_1(T_{z,ad}(h,t) + 273.15)$ $q_{e,ad}(h,t) = C_2 \left[\tanh(\log_{10}(P_{v,ad}(h,t))) + C_3 T_{z,ad}(h,t) \right] + 1$ $P_{v,ad}(h,t) = \frac{y_{v,ad}(h,t)}{1 + y_{v,ad}(h,t)} P_{total}; y'_{v,ad} = \frac{q_{v,ad}(h,t)/0.622}{1 + q_{v,ad}(h,t)/0.622}$ $A_{col} = \frac{f}{4} (ID_{col})^2; S_{A,z} = S_{pa,z \dots z}; F_{a,ad} = \frac{G_{a,ad}}{1 + q_{v,amb}}; G_{a,ad} = F_1 A_{col \dots a}$ $\rho_{z,ad} = \rho_z + \rho_w q_{w,ad}(h,t); \rho_{a,ad} = \rho_a + \rho_v q_{v,ad}(h,t)$
Regenerator	$r_{des} = k_{des}(q_{e,reg}(h,t) - q_{w,reg}(h,t)); k_{des} = C_4(T_{z,reg}(h,t) + 273.15) \Delta H_{des} = \Delta H_{ads};$ $\rho_{z,reg} = \rho_z + \rho_w q_{w,reg}(h,t); \rho_{a,reg} = \rho_a + \rho_v q_{v,reg}(h,t);$ $F_{a,reg} = \frac{G_{a,reg}}{1 + q_{v,amb}}; G_{a,reg} = F_2 A_{col \dots a};$
Pengering	$r_{dry} = -k_{d0}; \rho_{p,d} = \rho_p + \rho_w q_{w,d}(h,t); \rho_{a,d} = \rho_a + \rho_v q_{v,p}(h,t)$ $F_{a,d} = F_{a,ad}; A_d = w_d I_d; V_d = w_d I_d h_d; S_{A,p} = S_{pa,p \dots p} w_d I_d h_d$

e. Validasi model

Konstanta penting dari persamaan pada Tabel 3.2 dan Tabel 3.3 adalah C_1 , C_2 , C_3 (konstanta adsorpsi dan kesetimbangan air dalam zeolite), C_4 (kecepatan pengeringan). Perhitungannya adalah sebagai berikut:

1. C_1 diperoleh dari meminimalkan *sum of squared error* (SSE) dari kelembaban udara keluar adsorber

$$SSE_{ad} = \sum_{t=t_0}^{t=tf} ((q_{v,ad}^{experiment} - q_{v,ad}^{model})^2)$$

(3.22)

$q_{v,ad}^{experiment}$ adalah humidity udara keluar adsorber dari sensor T-RH2,

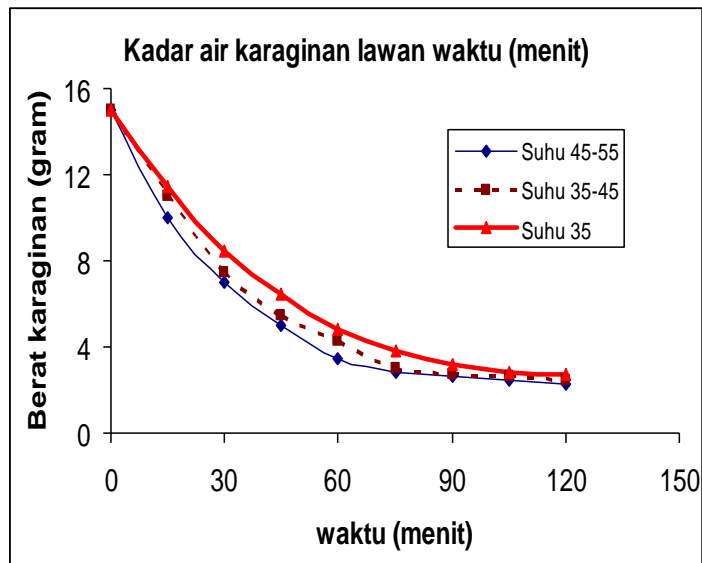
sedangkan $q_{v,ad}^{model}$ dari persamaan 3.11

2. C_2 and C_3 diperoleh dari persamaan 3.1 dan 3.3, dengan cara analog pada no. 1
3. C_4 diperoleh dari pengukuran air dalam karaginan dan persamaan 3.20, dengan cara analog no.1

3.3. Hasil Experimen

a. Pengaruh suhu

Pada tahap ini, suhu udara yang telah keluar dari adsorber divariasi menggunakan pemanas yang diatur dengan thermostat untuk menjamin deviasi suhu tidak terlalu jauh dengan harga yang diset. Hasil dapat dilihat pada Gambar 3.5, dan Tabel 3.4. Dari grafik terlihat bahwa semakin tinggi suhu, semakin besar pula harga konstanta kecepatan pengeringan (1/detik). Pada suhu yang tinggi kapasitas udara sebagai media pengering semakin tinggi, serta air lebih mudah menguap dengan intervensi suhu. Disamping itu juga, pada suhu yang lebih tinggi, konsentrasi air dalam bahan yang seimbang dengan media menjadi lebih kecil, sehingga meningkatkan driving force. Oleh karena itu, pada akhir proses diperoleh hasil karaginan yang juga lebih kering.



Gambar 3.5: Pengaruh suhu terhadap kecepatan pengeringan

Tabel 3.4: Pengaruh variasi suhu pada laju alir udara 1 m/detik, tebal karaginan 2 mm

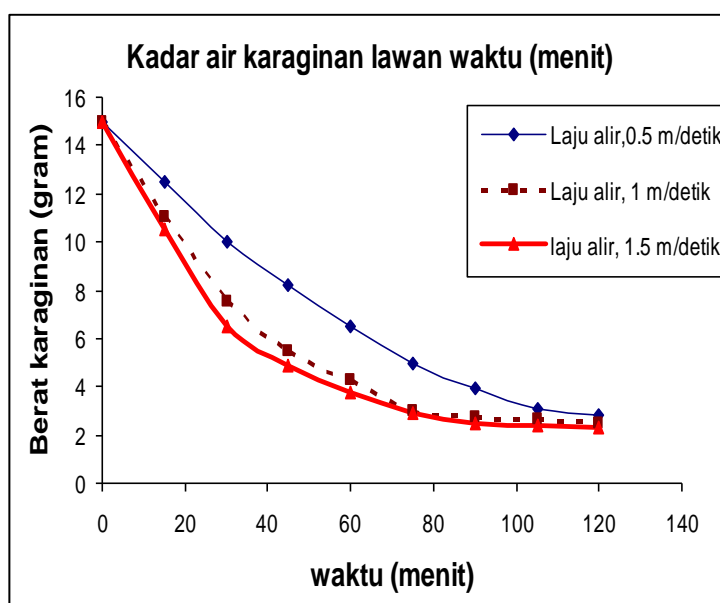
Suhu (°C)	Kecepatan pengeringan (1/detik)	Waktu pengeringan (jam)	Efisiensi energi (%)	Kadar air (%)	Derajat keputihan
35	0.0007	2.5	65	13.0	64.0
40	0.0010	1.5	56	9.0	63.5
50	0.0013	1.25	45	4.0	60.7
60	0.0018	1.00	35	4.0	50.1

Meskipun demikian, energi efisiensi dan mutu produk karaginan mengalami penurunan. Hal ini disebabkan pada suhu yang lebih tinggi panas yang diperlukan pada HE02 lebih besar, sementara berat karaginan dalam unit pengering tidak ditambah, sehingga panas yang hilang bersama udara keluar unit pengering DO1 menjadi lebih besar. Selain itu, mutu karaginan juga mengalami penurunan, seperti terlihat pada harga derajat keputihannya (lihat Tabel 3.4).

Dari sisi kualitas yaitu derajat keputihan, semakin tinggi suhu operasi kualitas karaginan semakin menurun dengan turunnya nilai derajat keputihan. Pada kasus ini, suhu operasi 30-50°C, masih sesuai untuk proses pengeringan dimana derajat keputihan masih memenuhi karaginan standar industri (derajat keputihan 60). Adapun jika suhu dinaikan, maka proses browning sudah mulai terjadi sehingga produk karaginan menjadi agak coklat.

b. Pengaruh laju udara

Pada tahap ini, laju alir udara divariasikan, dengan mengatur bukaan valve pada aliran udara masuk kolom zeolite. Hasil dapat dilihat pada Gambar 3.4, dan Tabel 3.5. Dari grafik terlihat bahwa laju alir udara berpengaruh signifikan terhadap kecepatan proses pengeringan. Semakin besar laju udara, semakin besar pula harga konstanta kecepatan pengeringan (1/detik). Meskipun demikian, efisiensi energi mengalami penurunan, karena beban panas pada HE02 bertambah sementara beban air yang harus diuapkan pada D01 tidak ditambah. Energi efisiensi dan mutu produk karaginan tidak berubah secara signifikan, karena kebutuhan energinya juga linier dengan jumlah air yang diuapkan, adapun mutu karaginan sangat dipengaruhi oleh suhu operasi.



Gambar 3.6: Pengaruh laju alir udara terhadap kecepatan pengeringan

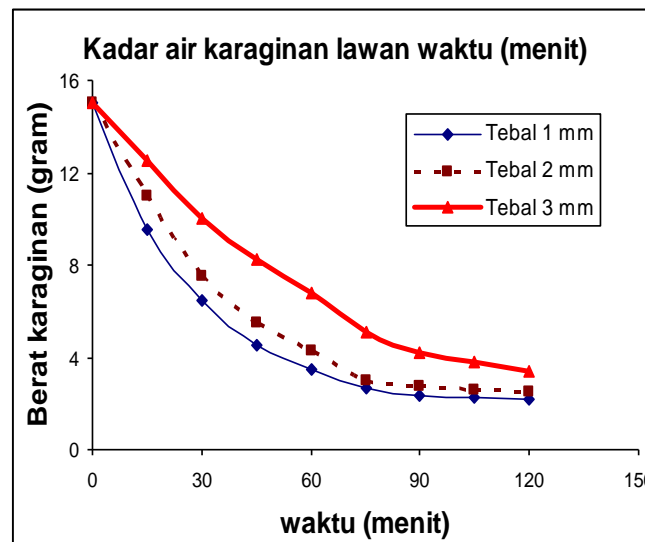
Tabel 3.5: Pengaruh variasi laju alir udara pada suhu 40°C, tebal karaginan 2 mm

Laju udara m/detik	Kecepatan pengeringan (1/detik)	Waktu pengeringan (jam)	Efisiensi energi (%)	Kadar air (%)	Derajat keputihan
0.5	0.0008	1.75	62	11.0	62.0
1.0	0.0010	1.50	56	9.0	63.5
1.5	0.0012	1.25	32	9.0	64.5
2.0	0.0013	1.25	28	9.0	65.0

Dari sisi kualitas yaitu derajat keputihan, semakin cepat laju alir maka kualitas karagina juga semakin bagus dengan semakin tingginya derajat keputihan. Hal ini disebabkan, dengan cepatnya proses pengeringan maka kontak bahan dengan media pengering yang bersuhu medium semakin pendek, sehingga proses terjadinya browning juga makin kecil. Meski demikian, pada tahap ini secara keseluruhan produk masih memenuhi kualitas standar.

c. Pengaruh ketebalan karaginan

Pada tahap ini, tebal karaginan divariasikan dengan cara mengurangi atau menambah volume karaginan basah tiap tray, sehingga untuk luasan yang sama akan didapat tebal yang berbeda. Hasil dapat dilihat pada Gambar 3.7 dan Tabel 3.6. Dari grafik terlihat bahwa semakin tebal karaginan maka semakin sulit air diuapkan, karena air terjebak dalam karaginan dengan kata lain jumlah air bebas semakin menurun. Disamping itu dengan makin tipisnya permukaan maka udara semakin mudah mendifusi dalam karaginan, sehingga air yang teruapkan akan semakin banyak, dan karaginan menjadi cepat kering. Dengan demikian energi efisiensi meningkat, sedangkan mutu karaginan dapat dipertahankan.



Gambar 3.7: Pengaruh tebal karaginan terhadap kecepatan pengeringan

Tabel 3.6: Pengaruh variasi tebal karaginan pada laju alir udara 1 m/detik, dan suhu 40°C

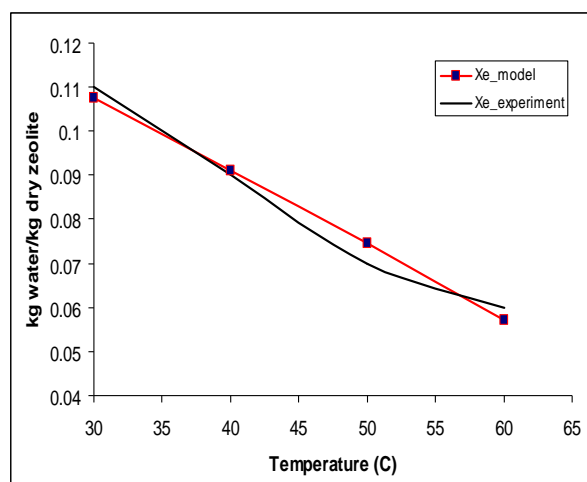
Tebal karaginan, mm	Kecepatan pengeringan (1/detik)	Waktu pengeringan (jam)	Efisiensi energi (%)	Kadar air (%)	Derajat keputihan
1.00	0.0014	1.25	60	8	63.5
2.00	0.0010	1.50	56	9	61.0
3.00	0.0005	2.50	40	14	56.0

Berdasarkan derajat keputihan, semakin tebal karaginan derajat keputihan semakin rendah karena waktu pengeringan yang lebih lama. Dengan demikian, maka kontak bahan dengan media pengering semakin lama dan probabilitas terjadinya browning makin besar. Dari tabel terlihat bahwa ketebalan 1-2 mm, masih diijinkan dalam proses pengeringan dengan hasil derajat keputihan 61-64 (standar industri 60).

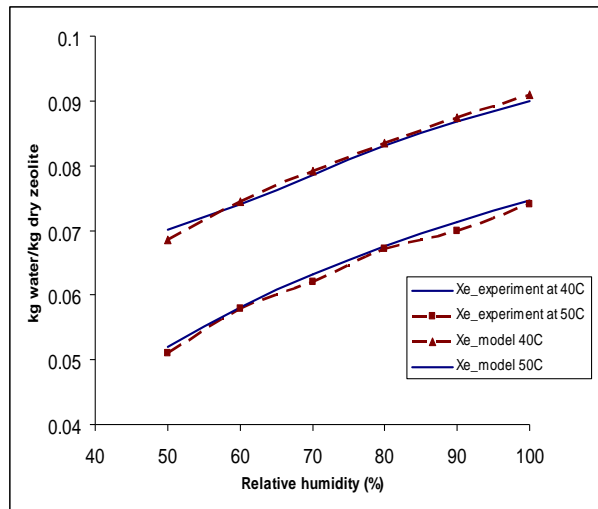
d. Model matematika

Konstanta sorption-isoterm

Zeolite yang telah diaktivasi diletakkan dalam tanki sorption isotherm, yang telah diatur suhu dan kelembabannya. Setelah 48 jam, zeolite ditimbang. Korelasi antara suhu, kelembaban udara, dan air yang terserap zeolite, dimodelkan. Sehingga untuk mendapatkan harga konstanta prosesnya. Hasil dapat dilihat pada Gambar 3.8 dan Gambar 3.9. Pada gambar terlihat bahwa perhitungan air terserap dalam zeolite berdasarkan model dan experiment adalah hampir sama.



Gambar 3.8: Kestimbangan moisture isotherm pada berbagai suhu ($C_2=0.074$; $C_3=0.3600$)



Gambar 3.9: Kestimbangan moisture isotherm pada berbagai kelembaban udara
($C_2=0.074$; $C_3=0.3600$)

Konstanta adsorpsi dan pengeringan

Konstanta kecepatan adsorpsi dihitung berdasarkan kelembaban udara masuk dan keluar adsorber. Sedangkan kecepatan pengeringan didasarkan pada air yang diuapkan dari bahan karaginan dalam unit pengering. Hasil perhitungan menunjukkan bahawa kecepatan adsorpsi ($C_1=0.0001/detik$) dan kecepatan pengeringan ($C_1=0.0002/detik$). Dengan hasil sebesar itu maka 20-30% air dalam udara dapat terserap selama proses pengeringan, dan pada saat yang sama 30-40% air dari bahan mampu teruapkan.

f. Karakterisasi proses berdasarkan model

Pengaruh suhu terhadap efisiensi dan waktu pengeringan

Pada tahap ini, suhu divariasikan 30-60°C dengan laju alir udara 1.0 m/detik. Hasil menunjukkan bahwa respon eksperimen dengan model adalah mendekati, dengan tendensi yang sama. Semakin tinggi suhu, dengan beban karaginan yang tetap maka efisiensi energi turun, namun kecepatan pengeringan semakin bertambah yang dapat dilihat dari waktu proses yang semakin pendek (lihat Tabel 3.7). Pada eksperimen berikutnya perlu ada ekivalensi antara karaginan dalam

pengering dengan laju alir udara, sehingga kebutuhan panas dengan yang harus disediakan berimbang.

Dari tabel terlihat juga bahwa dibanding pengering konvensional yang beroperasi pada suhu 40-50°C, waktu proses pengeringan karaginan dengan zeolite lebih cepat 1-1.5 jam dibanding sistim pengeringan konvensional, dengan kenaikan efisiensi energi rata-rata 10%. Hal ini menunjukkan bahwa pengering adsorpsi dengan zeolite sangat potensial untuk dikembangkan.

Table 3.7: Pengaruh suhu operasi terhadap efisiensi energi dan waktu pengeringan 1.0 m/detik

Suhu (°C)	Waktu pengeringan (jam)		Efisiensi energi (%)		Kadar air (%)	
	Experimen	Model	Experimen	Model	Experimen	Model
30	2.50	2.39	65	66	15.0	13.5
40	1.50	1.45	56	57	9.4	9.0
50	1.25	1.21	45	47	6.3	5.9
60	1.00	0.98	35	38	5.2	4.8
Pengering konvensional 40°C	2.50		40		14.0	
Pengering konvensional 50°C	2.00		35		12.0	

Pengaruh laju alir terhadap efisiensi energi dan waktu pengeringan

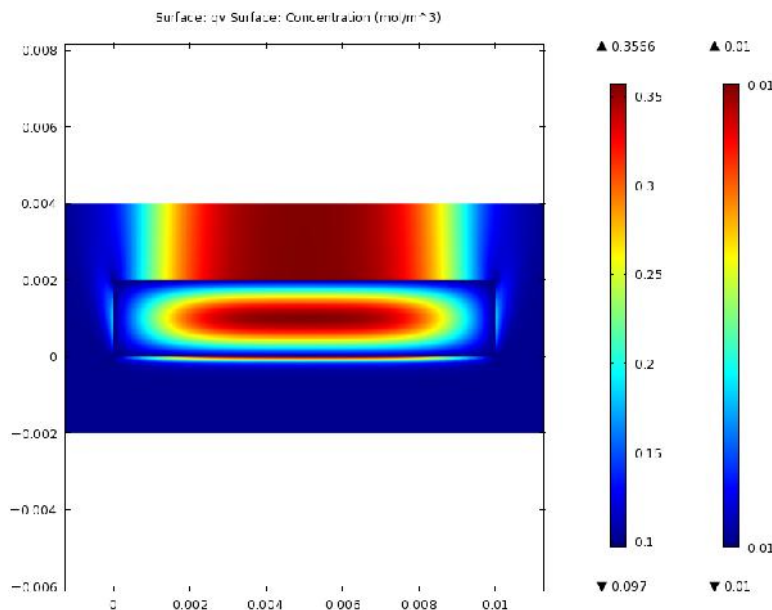
Laju alir udara divariasikan sesuai dengan kondisi eksperimen yaitu pada 0.5-2.0 m/det, sementara suhu operasi dibuat tetap pada 40°C. Hasil seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 3.8, yaitu semakin besar laju alir kecepatan pengeringan semakin besar yang ditunjukkan oleh semakin singkatnya waktu untuk mendapatkan karaginan kering. Namun demikian, disebabkan oleh jumlah karaginan dalam pengering tetap, besarnya laju alir justru menurunkan efisiensi energi disebabkan oleh waktu kontak antara bahan dan udara yang pendek. Oleh karena itu, transfer panas antara media pengering dengan bahan menjadi kurang efisien, yang ditunjukkan oleh semakin besarnya panas yang hilang pada udara yang keluar pengering.

Table 3.8: Pengaruh laju alir udara terhadap efisiensi energi dan waktu pengeringan pada 40°C

Laju udara (m/det)	Waktu pengeringan (jam)		Efisiensi energi (%)		Kadar air (%)	
	Experimen	Model	Experimen	Model	Experimen	Model
0.5	2.00	2.01	57	57	10.0	10.1
1.0	1.50	1.45	56	57	9.4	9.0
1.5	1.25	1.21	32	33	9.0	8.9
2.0	1.00	1.03	28	27	8.8	8.7

Profil Air dan Temperatur

Dengan menerapkan model persamaan matematika dan disimulasikan dengan Software COMSOL Multiphysics maka diperoleh profil distribusi air dan temperature. Gambar 3.10 menunjukkan profil distribusi air pada carrageenan selama 180 menit pada suhu 40°C dengan laju alir 0.13 m/s.



Gambar 3.10: Profil distribusi air pada pengeringan karaginan suhu 40°C

3.4. Kesimpulan

Proses pengeringan karaginan menggunakan udara yang didehumidifikasi dengan zeolite telah dijalankan dengan suhu dan kecepatan linier udara, serta ketebalan karaginan. Hasil menunjukkan bahwa variable tersebut berperan dalam

menentukan efisiensi energi, kecepatan pengeringan dan mutu karaginan yang dihasilkan.

Dengan ketebalan karaginan 1-2 mm, kecepatan linier udara 0.5-1.0 m/detik, suhu operasi 30-40°C, serta berat karaginan dalam pengering 1 kg, efisiensi energi dapat mencapai 55-60%, dengan derajat keputihan karaginan 63-65 (lebih tinggi dari standar industri yaitu 60). Pencapaian ini merupakan hasil yang potensial untuk pengembangan proses pengeringan karaginan pada skala industri.

Sedangkan model matematika telah dikembangkan untuk mengetahui karakterisasi proses. Pada model, sejumlah konstanta penting yaitu kecepatan pengeringan, adsorpsi pada zeolite, telah divalidasi dengan hasil eksperimen. Hasil simulasi menunjukkan bahwa tendensi model dengan eksperimen adalah sama, dengan hasil perhitungan yang mendekati. Sehingga dapat dikatakan bahwa model adalah valid.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (2005). *Introduction to Natural Grade Carrageenan*. Brochure of MCPI corporation, Philiphines
- Anonim. (2007). Pengolahan Rumput Laut Menjadi Karaginan. (Sumber: <http://www.anekindustri.com> accessed: 19 Februari 2007)
- Alikhan, Z.; Raghavan, G.S.V.; Mujumdar, A.S. (1992). Adsorption Drying of Corn in Zeolite Granules Using a Rotary Drum. *Drying Technology*, vol. 10 issue 3; 783-797
- Bernal, V.M.; Samadja, C.H.; Smith, J.L.; Stanley, D.W. (1987). Interaction in Protein/Polysaccharide/Calcium Gels. *Journal of Food Science*, vol. 52; 1121-1125
- Djaeni, M.; Bartels, P.; Sanders, J.; Straten, G. van; Boxtel, A.J.B. van. (2007a). Multistage Zeolite Drying for Energy-Efficient Drying. *Drying Technology*, vol. 25, issue 6; 1063-1077
- Djaeni, M.; Bartels, P.; Sanders, J.; Straten, G. van; Boxtel, A.J.B. van. (2007b). Process Integration for Food Drying with Air Dehumidified by Zeolites. *Drying Technology*, vol. 25, issue 1, 225-239
- Djaeni, M.; Bartels P.V.; van Asselt, C.J.; Sanders J.P.M.; van Straten, G.; van Boxtel, A.J.B. (2009). Assesment of a Two-Stage Zeolite Dryer for Energy-Efficient Drying. *Drying Technology*, vol. 27, issue 11; 1205 - 1216
- Kudra, T.; Mujumdar, A.S. (2002). *Advanced Drying Technology*. Marcel Dekker Inc., New York, USA
- Morris, J.V. (1986). *Gums and Stabilizer for The Food Industry 3*. Elsevier Applied Science, New York
- Prasetyaningrum, A.; Nur, R. (2007). Perbaikan Proses Pembuatan Karaginan dari Rumput Laut. Laporan Penerapan IPTEKDA LIPI bottom un 2007, Universitas Diponegoro
- Prasetyaningrum, A.; Nur, R. ; Gunawan, W.S. (2007). Teknologi Tepat Guna: Desain Proses Karaginan di UKM SMK 1, Jepara. Laporan kerjasama LPM UNDIP-Pemkab Jepara
- 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*, vol. 24, issue 8, 1033-1038
- Trius, A.; Sebranek, J.G. (1996). Carrageenan and Their Use in Meat Products. *CRC Critical Review in Food Science and Nutrition*, vol 36; 69-85

BAB IV*

PENGERINGAN JAGUNG DENGAN MIXED ADSORPTION DRYER

4.1. Latar Belakang

Pengeringan adalah proses yang sangat menentukan dalam produksi jagung kering. Proses ini menyerap energi terbesar dari seluruh rangkaian proses dengan porsi kurang lebih 70% dari total energi yang diperlukan untuk penanganan pasca panen jagung dan menyerap sekitar 50% dari total *running cost*-nya. Kadar air dalam jagung kering menentukan tingkat keawetan selama proses penyimpanan dan distribusi ke konsumen. Dengan kadar air 10% atau kurang, maka aktivitas mikroba, bakteri dan jamur menjadi terhambat, sehingga jagung kering dapat dipasarkan ke tempat-tempat yang jauh, atau dapat disimpan lama (Ratti, 2001).

Pada saat ini pengeringan jagung dijalankan dengan dua cara yaitu dengan sinar matahari langsung dan fluidisasi dengan pemanas buatan. Pengeringan model pertama terkendala dengan ketergantungan proses operasi pada musim, dimana proses pengeringan hanya dapat dijalankan jika intensitas sinar matahari cukup dan hari tidak hujan (Mastekbayeva dkk, 1998). Selain itu hasil proses pengeringan memiliki kandungan air yang tidak seragam tergantung dari kelembaban relative udara sekitar pada saat proses pengeringan. Adapun pengeringan sistem fluidisasi dengan pemanas buatan terkendala dengan rendahnya energi efisiensi proses pengeringan yang masih dibawah 50%, dan terdegradasinya kandungan protein pada jagung terutama jika suhu udara untuk proses pengeringan lebih dari 60°C (Djaeni, 2008; Hu dkk, 1988).

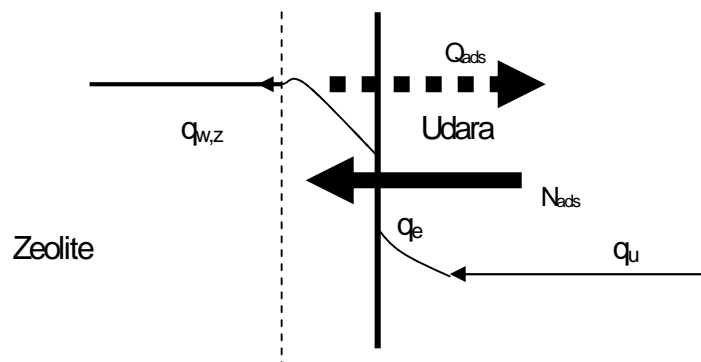
Beberapa model modifikasi pengering telah dikaji yang bertujuan mempercepat proses pengeringan, dan meningkatkan efisiensi energinya, serta mengurangi *running cost*-nya. Diantaranya adalah dengan pengering model vakum, pengering berhawa dingin (*freeze dryer*), serta kombinasi mikrowave dan oven. Metode ini cukup berhasil mempercepat proses pengeringan dan menghasilkan jagung dengan kadar 15%. Namun, investasi dan biaya operasi tinggi terutama

untuk penyediaan ruang vakum atau hawa dingin, serta biaya perawatan mahal dan boros energi (energi efisiensi rendah)(Hu dkk, 1988; Djaeni dkk, 2009).

Proses pengeringan dengan cara adsorpsi menggunakan zeolite menjadi suatu pilihan untuk menggantikan sistim pengering jagung konvensional. Pada sistim ini zeolite dan jagung dicampur dalam suatu unggun, kemudian difluidisasi dengan udara dengan 35-40°C. Udara akan menguapkan air dari jagung, dan pada saat yang sama, zeolite akan menyerap air dari udara ini, sehingga kelembaban udara akan terjaga rendah dan **driving force** proses pengeringan tetap tinggi. Keuntungannya adalah proses pengeringan menjadi lebih cepat, dan energi efisiensi proses pengeringan diprediksikan menjadi tinggi (sangat efisien) (Djaeni dkk, 2007; Djaeni dkk, 2008; Djaeni dkk, 2009; Revilla dkk, 2006).Ide ini sangat urgen sekali untuk diterapkan pada proses pengeringan jagung, sehingga diharapkan akan mendapatkan sistim pengeringan yang murah, efisien, serta menghasilkan produk yang bermutu tinggi.

4.2. Proses dasar adsorpsi

Dalam proses adsorpsi, uap air dalam udara akan diserap oleh zeolite (lihat Gambar 4.1). Kecepatan proses adsorpsi ditentukan oleh kelembaban relative udara yang diserap, suhu, dan konsentrasi air dalam zeolite.



Gambar 4.1: Mekanisme proses adsorpsi

Adanya air dalam zeolite akan menurunkan driving force proses penyerapan, sehingga kecepatan proses menjadi lambat (Ratti, 2001). Adapun kelembaban relatif udara yang tinggi akan mempertinggi harga konsentrasi kesetimbangannya (lihat persamaan 7), dimana semakin tinggi konsentrasi kesetimbangan, maka semakin tinggi pula driving force-nya (lihat persamaan 4.1)

$$N_{ads} = k_{ads}(q_{e,z} - q_{w,z}) \quad (4.1)$$

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 4.2-4.3 berikut ini:

$$q_{e,z} = C_5 [\tanh(\log(P_{v,u}) + C_6 T_u)] \quad (4.2)$$

$$P_{v,u} = q_{v,u} / (0.622(1 + q_{v,u})) \quad (4.3)$$

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 4.4 berikut:

$$k_{ads} = C_7 \exp(C_8 / (273.15 + T_u)) \quad (4.4)$$

4.3. Fenomena dan hipotesa proses mixed-adsorpsion drying

Pada proses ini udara akan menguapkan air dari jagung (produk), sedangkan uap air yang ada di udara akan di serap oleh zeolite (lihat Gambar 4.2). Dengan demikian akan terjadi aliran transfer masa air dari jagung ke udara, dan dari udara ke zeolite (lihat persamaan 4.5 dan 4.6). Sedangkan aliran panas akan terjadi sebaliknya yaitu dari zeolite ke udara hasil panas adsorpsi (Q_{ads} (kJ/menit)), dan dari udara ke jagung untuk proses pengeringan ($Q_{a,p}$ (kJ/menit)).

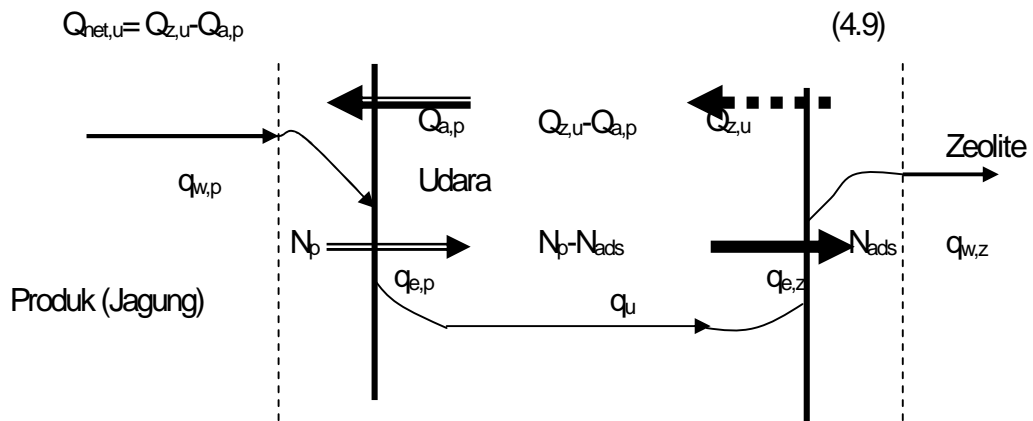
$$N_w = N_p - N_{ads} \quad (4.5)$$

$$N_w = k_p(q_{w,p} - q_{e,p}) - k_{ads}(q_{w,z} - q_{e,ads}) \quad (4.6)$$

$$Q_{z,u} = C_9(T_z - T_u) \quad (4.7)$$

$$Q_{a,p} = C_{10}(T_u - T_p) \quad (4.8)$$

Dalam hubungan ini C_9 dan C_{10} adalah konstanta transfer panas ($\text{kJ}/^\circ\text{C}$). Total aliran panas masuk dan keluar di udara sebagai media pengering adalah:



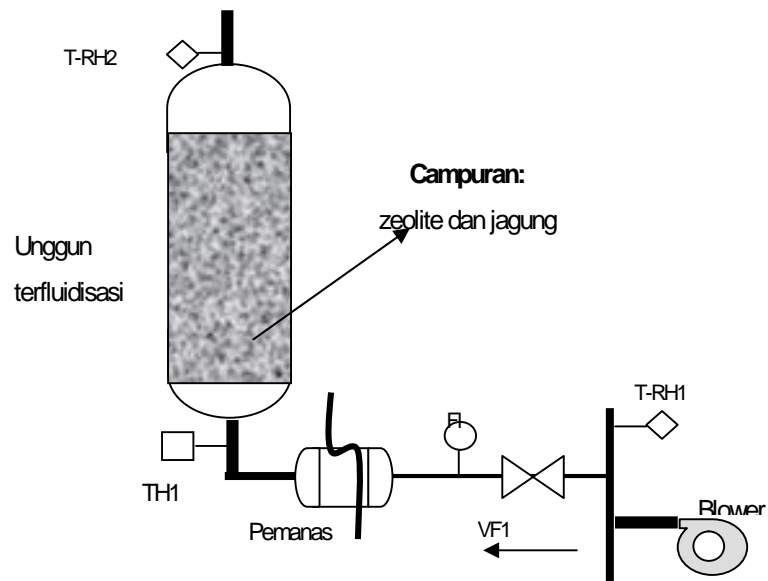
Gambar 4.2: Hipotesa proses campuran adsorpsi-pengeringan

Dari Gambar 4.2 tersebut, maka dapat dibuat hipotesa bahwa zeolite akan dapat meningkatkan laju transfer masa air, sebab udara dijaga pada kondisi kelembaban rendah. Selain itu, laju produksi panas akan berlangsung sebagai hasil proses adsorpsi air oleh zeolite, dimana panas ini akan ditransfer ke udara melalui permukaan zeolite, sehingga akan mengurangi beban panas dari utilitas. Namun demikian, proses penyerapan air dari udara oleh zeolite akan berhenti apabila kondisi jenuh zeolite tercapai, artinya kadar air dalam zeolite sudah mencapai keadaan setimbang dengan kadar air di udara ($q_{w,z} = q_{e,z}$). Sedangkan proses penguapan air dari jagung akan terhenti jika kandungan air dalam jagung juga setimbang dengan kandungan air udara ($q_{w,p} = q_{e,p}$). Karena tidak ada penguapan dan penyerapan air, maka suhu udara, zeolite dan produk jagung juga dalam posisi

setimbang. Keadaan setimbang ini sangat penting sebagai batas berapa lama proses dijalankan, dan berapa komposisi ideal untuk mempercepat waktu operasi pengeringan dalam upaya mendapatkan produk jagung dengan kadar air maksimum 15%.

4.4. Percobaan

Alat yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan Tabel 4.1. Jagung dan zeolite ditimbang dan dicampur dengan rasio tertentu, lalu dimasukkan dalam unggun fludisasi. Sebagai media, udara luar dipanaskan pada suhu tertentu sesuai kondisi operasi masuk, dan dialirkan pada unggun sampai campuran bahan terfluidakan. Response suhu dan kelembaban udara masuk dan keluar pengering, berat zeolite dan berat jagung, diukur setiap 10 menit sampai kadar air jagung 10%. Data ini digunakan untuk menentukan kecepatan pengeringan, dan **efisiensi energi**.



Gambar 4.3: *Mixed adsorption drying* dalam terfluidisasi

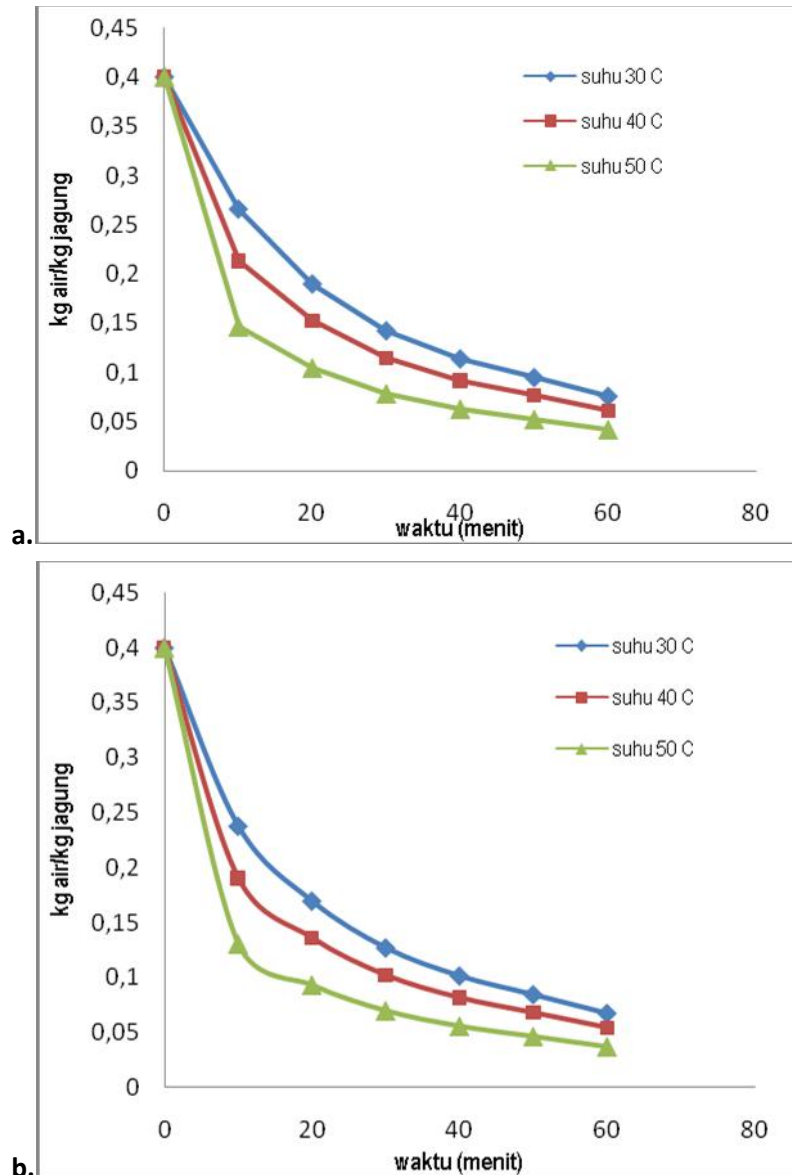
Tabel 4.1: Spesifikasi peralatan utama dan sensor

Unit	Spesifikasi	Penggunaan
Kolom Unggun terfluidisasi	Diameter kolom: 0.10 m, tinggi: 1.0 m, bahan fiber glass, tebal 2 mm	Tempat berlangsungnya proses pengeringan dan adsorpsi, sampai diperoleh kadar air 10%
Pemanas	Sistem koil, dengan energi listrik 1000 watt, dilengkapi dengan thermostat	Menaikan suhu udara masuk pengering
Blower 	Power 250 watt, diameter outlet 3 cm	Mengalirkan udara ke pemanas dan ungun
T-RH 1,2 	Type: PST-T3110 <ul style="list-style-type: none"> range 0 to 100% RH, -30 to 100°C Accuracy of measurement $\pm 2.5\%$ at 23°C Accuracy of temperature output $\pm 0.4^\circ\text{C}$ $\pm 0.4\%$ from reading over +100° 	Mengukur suhu dan kelembaban relatif udara
Anemometer (F1) 	Type HHF143A <ul style="list-style-type: none"> Range: 0.6 to 600 MPM Temperature -90 to 200°C Accuracy Air Velocity: $\pm 1.0\%$ 	Mengukur laju alir udara (m/menit)
Thermocouple (TH1) 	K-type thermocouples (MB-ISK-S05-150-MP) Range: -50-750°C Accuracy: $\pm 1^\circ\text{C}$	Mengukur suhu udara keluar pemanas

4.5. Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian tersebut berupa data – data berat jagung dan zeolit diukur per 10 menit selama waktu 60 menit (untuk satu kali run). Berdasarkan berat persatuan waktu, maka kadar air diukur tiap waktu sample secara gravimetri. Selanjutnya kadar air per satuan berat kering bahan dibuat grafik sebagai fungsi

waktu. Prosedur ini dilakukan berulang untuk berbagai variasi percobaan, yaitu perubahan laju alir udara, suhu operasi, serta prosentase zeolite dalam unggun. Hasil percobaan dapat dilihat pada Gambar 4.4 (bagian a dan b) serta Gambar 4.5.

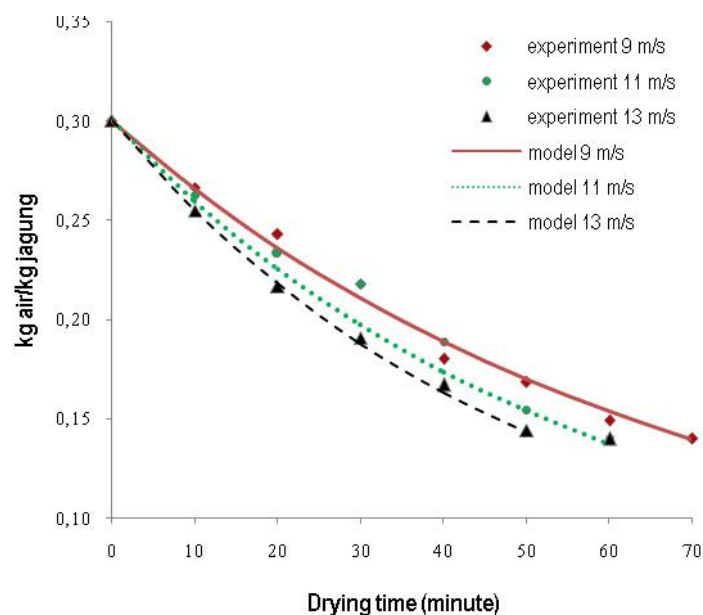


Gambar 4.4: Kadar air jagung terhadap waktu (laju alir 4 m/detik (a) dan 6 m/detik (b))*(perlu check ulang)

Gambar 4.4 adalah pengambilan sampel pada suhu operasi suhu kamar, 30, 40 dan 50°C dengan waktu operasi 1 jam. Pada proses ini laju udara pengering dibuat pada kecepatan 4 dan 6 m/detik, perbandingan berat campuran jagung dan

zeolite 1:1 (zeolite 50%), serta kadar awal air dalam jagung sebesar 40% (0.4 basis basah). Selama operasi zeolite berfungsi untuk menyerap air dari udara, sehingga proses pengeringan akan berlangsung lebih cepat atau kapasitas udara dalam menguapkan air dari jagung dapat dijaga tetap tinggi. Peranan zeolite dalam mempercepat pengeringan dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Sedangkan pada Gambar 4.5 menampilkan pengaruh laju alir udara terhadap proses pengeringan. Kandungan air dalam jagung turun secara cepat seiring dengan bertambahnya laju alir udara pengeringan. Pada laju alir yang tinggi, jagung akan mudah terfluidisasi. Hal ini akan menyebabkan transfer masa semakin cepat. Sehingga penguapan airpun akan meningkat dan waktu pengeringan akan semakin singkat. Sebagai contoh pada laju alir 9 m.s^{-1} , waktu yang dibutuhkan untuk proses pengeringan adalah 70 menit, sedangkan saat laju alir udara 11 and 13 m.s^{-1} , waktu pengeringan bisa dipercepat 10 menit dan 20 menit.



Gambar 4.5: Kurva pengeringan pada perbandingan jagung dan zeolit 1:1 suhu 50°C (check hasil)

Tabel 4.2: Pengaruh %zeolite, dan kondisi operasi terhadap waktu pengeringan*(check)

%zeolite Basis: 100 gr campuran	Suhu udara					
	Laju alir udara (4 m/detik) Suhu (°C)			Laju alir udara (6 m/detik) Suhu (°C)		
	30-35	40	50	30-35	40	50
0	60	45	35	60	40	25
25	45	35	20	40	30	15
50	42	32	12	39	26	11
75	41	27	10	37	20	9

Dari Tabel 4.2 terlihat bahwa, kecepatan udara semakin besar maka proses pengeringan semakin cepat. Demikian pula halnya dengan temperature dan prosentase zeolite dalam campuran. Hal ini menunjukkan bahwa efek zeolite dalam mempercepat pengeringan cukup signifikan, karena berhasil menyerap air dari udara, sehingga selama proses driving force pengeringan dijaga tinggi.

Namun demikian, jika ditinjau dari efisiensi proses (Tabel 4.3), maka fenomena diatas tidaklah sejalan. Hal ini disebabkan semakin besar laju alir udara dan prosentase zeolite, maka jumlah jagung dalam alat semakin kecil. Sehingga pada perbandingan jagung dan zeolite, serta laju alir justru tertentu heat lossnya semakin besar. Demikian pula dengan naiknya temperature, disatu sisi akan mempercepat proses pengeringan, tapi disisi lain justru kecepatan adsorpsi air ke zeolite semakin rendah. Oleh karena itu, kondisi ini harus dioptimasi lanjut dengan lebih akurat yang melibatkan model matematika.

Tabel 4.3: Pengaruh rasio jagung-zeolite, laju dan suhu udara terhadap efisiensi energi (%)

%zeolite Basis: 100 gr campuran	Suhu udara					
	Laju alir udara (4 m/detik) Suhu (°C)			Laju alir udara (6 m/detik) Suhu (°C)		
	30	40	50	30	40	50
0	65.00	68.25	67.57	63.70	66.20	65.54
25	68.00	71.40	70.69	66.64	69.26	68.57
50	70.00	73.50	72.77	68.60	71.30	70.58
75	60.00	63.00	62.37	58.80	61.11	60.50

4.6. Kesimpulan

Penelitian proses pengeringan jagung dengan media udara yang dibantu adsorben zeolite telah dilakukan. Pada konsep ini, proses pengeringan air dari

jagung oleh udara, dan proses penyerapan air dari udara ke zeolite terjadi secara simultan. Sehingga diharapkan kelembaban udara sebagai media pengering dijaga tetap rendah selama proses berlangsung.

Dari penelitian dapat disimpulkan bahwa zeolit dapat mempercepat penurunan kadar air dalam jagung dalam proses pengeringan sampai 20,84 % dibanding dengan proses pengeringan tanpa zeolite. Selain itu suhu yang direkomendasikan untuk proses pengeringan jagung dengan menggunakan zeolit pada pengering unggul terfluidakan adalah pada suhu 40 °C, dengan perbandingan jagung:zeolite= 1/4:1/2. Pada kondisi tersebut kecepatan pengeringan 0,025 gram air teruapkan/jam.

***Data-data dan pembahasan BAB IV ini diambil dari Penelitian Program S1 Teknik Kimia Universitas Diponegoro (2011), atas nama Dyah Setiani dan Anggi Agusniar, dengan judul: Pengeringan Jagung Dengan Metode Mixed Adsorption Drying Menggunakan Zeolite pada Unggun Terfluidisasi, Pembimbing Dr Mohamad Djaeni**

DAFTAR PUSTAKA

- 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. (2008). CFD for Multistage Zeolite Dryer Design. *Drying Technology*, 26 (4); 487 - 502
- Djaeni, M.; Bartels P.V.; van Asselt, C.J.; Sanders J.P.M.; van Straten, G.; van Boxtel, A.J.B. (2009). Assesment of a Two-Stage Zeolite Dryer for Energy Efficient Drying. *Drying Technology* 27(11); 1205 - 1216
- Djaeni, M.; Bartels P.V.; Sanders J.P.M.; van Straten, G.; van Boxtel, A.J.B. Energy Efficiency of Low Temperature Multistage Adsorption Drying. *Journal of Drying Tech.* 2009, 27(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
- 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
- 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

***Data-data dan pembahasan BAB IV ini diambil dari Penelitian Program S1 Teknik Kimia Universitas Diponegoro (2011), atas nama Dyah Setiani dan Anggi Agusniar, dengan judul: Pengeringan Jagung Dengan Metode Mixed Adsorption Drying Menggunakan Zeolite pada Unggun Terfluidisasi, Pembimbing Dr Mohamad Djaeni**

BAB V

PENGERINGAN PADI DENGAN MEDIA UDARA TERDEHUMIDIFIKASI

5.1. Pendahuluan

Gabah hasil panen tanaman padi atau yang dikenal dengan nama "Gabah Kering Panen (GKP)" biasanya mempunyai kandungan air 18 – 25 %. Gabah harus memenuhi syarat kandungan air gabah agar gabah layak disimpan atau digiling, yaitu kandungan airnya sekitar 14%, sedangkan agar gabah dapat langsung digiling, kandungan airnya harus 12-13%. Gabah Kering Panen ini harus secepatnya dikeringkan karena jika tidak langsung dikeringkan, akan muncul permasalahan-permasalahan, yaitu akan terjadi kerusakan pada butir beras yang dihasilkan, ditandai dengan warna beras yang agak keoklatan, menyebabkan harga jual rendah sehingga merugikan petani dan dengan kadar air tersebut gabah tidak mempunyai ketahanan untuk disimpan.

Pada saat ini gabah diperoleh dengan dua cara yaitu pengeringan dengan sinar matahari dan fluidisasi dengan pemanas buatan. Kualitas gabah hasil pengeringan matahari sangat dipengaruhi oleh cuaca baik kontinuitas maupun kualitasnya (Taib dkk, 1988). Pada musim panas mampu menghasilkan gabah berkadar air rendah 12-14% (sesuai untuk disimpan dan digiling) dalam waktu 2 hari. Sedangkan pada musim hujan dengan waktu pengeringan 3-4 hari menghasilkan gabah berkadar air >15% (terlalu tinggi), sehingga pecah dan banyak yang hancur jika digiling, serta cepat mengalami penjamuran, degradasi nutrisi dan timbulnya toksik saat disimpan (FAO, 2003; Chrastil, 1994; Barber, 1972). Sementara pengeringan unggun terfluidisasi (konvensional) yang beroperasi pada suhu 60°C dengan pemanas buatan tidak tergantung musim dan berlangsung cepat (45-60 menit), namun boros energi (efisiensi <60%), biaya operasi tinggi, serta menghasilkan gabah yang berkadar air < 12%, sehingga teksturnya kaku dan mudah pecah saat digiling.

Proses pengeringan adsorpsi dengan zeolite (Parzel) menjadi suatu pilihan untuk pengeringan gabah. Pada sistem ini udara sebagai media pengering dikontakkan dengan zeolite yang merupakan adsorben air tidak beracun. Akibatnya: kadar air udara akan turun menjadi 0.1-0.2 ppm, dan suhu udara naik menjadi 35-40°C. Udara berkadar air rendah ini akan meningkatkan driving force pengeringan, sehingga proses menjadi lebih cepat, dan efisien. Selain itu, suhu udara 35-40°C, sangat tepat untuk gabah yang sensitive terhadap panas, sehingga kerusakan tekstur dan nutrisi dapat dihindari.

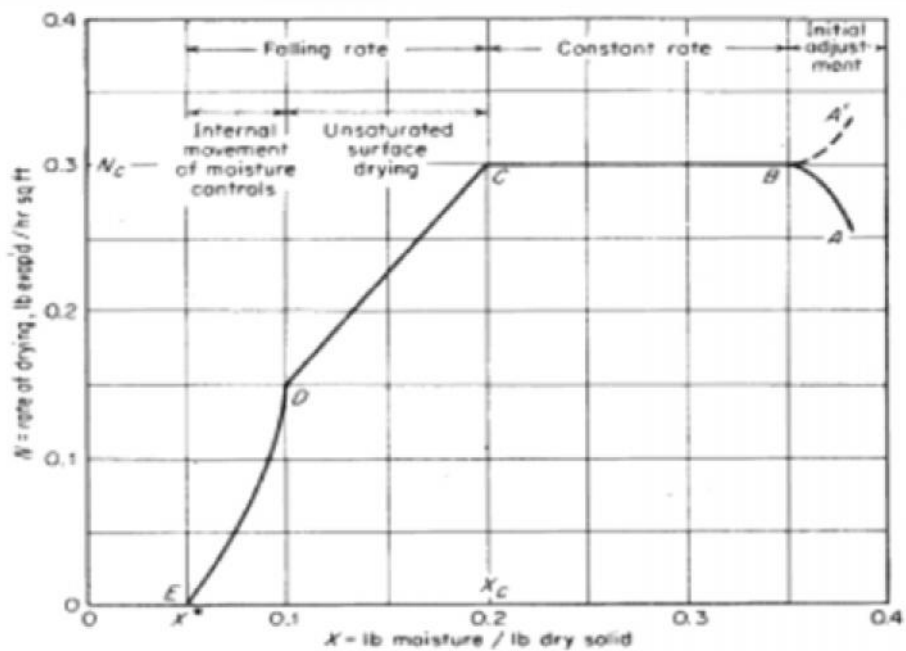
Dalam penelitian ini dikaji metode pengeringan adsorpsi menggunakan zeolite alam pada unggun terfluidisasi, yang diduga akan sangat membantu masyarakat petani untuk mengeringkan padi hasil panennya. Dalam tahap ini di pelajari karakteristik pengeringan gabah dengan berbagai kondisi operasi pengeringan yaitu pada berbagai suhu udara pengering, laju alir udara pengering dan rasio komposisi gabah dan zeolite. Dalam kajian lebih lanjut eksperimen dilakukan untuk menganalisa pengaruh kondisi operasi terhadap kecepatan pengeringan hingga pengaruh terhadap kualitas fisik gabah kering.

5.2. Dasar Teori

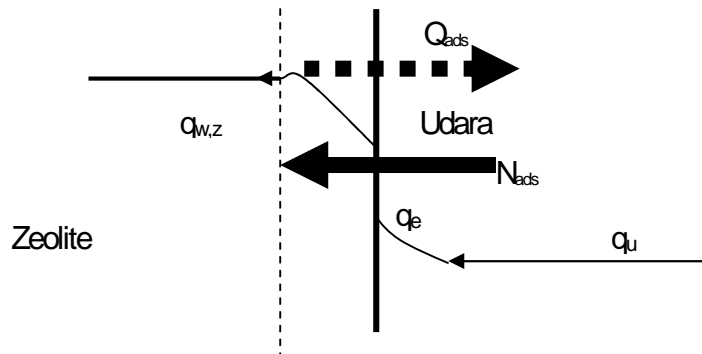
Pengeringan merupakan operasi teknik kima yang berfungsi untuk mengambil air dalam jumlah yang relatif kecil dari suatu material padat atau dari campuran gas dengan cara diuapkan melalui penambahan panas (proses perpindahan moisture dari suatu materi yang sebagian besar mengandung zat padat).

Operasi pengeringan terdiri dari peristiwa perpindahan panas dan massa yang terjadi secara simultan. Bahan yang akan dikeringkan dikontakkan dengan gas yang panas, sehingga panas akan berpindah dari gas ke bahan tersebut, dan menyebabkan air menguap ke dalam gas pengering. 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 5.1 (Demerle dan Walter, 1988; Treyball, 1983).

Berdasarkan pada Gambar 5.1, 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. Dalam proses pengeringan adsorpsi menggunakan zeolite, uap air dalam udara akan diserap oleh zeolite. Kecepatan proses adsorpsi ditentukan oleh kelembaban relatif udara yang diserap, suhu, dan konsentrasi air dalam zeolite. Pada proses ini udara akan menguapkan air dari gabah (produk), sedangkan uap air yang ada di udara akan diserap oleh zeolite (lihat Gambar 5.2). Dengan demikian akan terjadi aliran transfer masa air dari gabah ke udara, dan dari udara ke zeolite.



Gambar 5.1: Hubungan Kecepatan Pengeringan terhadap Kadar Air (Treyball, 1983)



Gambar 5.2: Mekanisme Proses Adsorpsi

Apabila didalam zeolite terkandung air, maka akan menurunkan driving force proses penyerapan, sehingga kecepatan proses menjadi lambat (Djaeni, 2008). Untuk itu dibutuhkan kelembaban relatif udara yang tinggi agar harga konsentrasi kesetimbangannya juga tinggi (lihat persamaan 5.1 dan persamaan 5.2)

$$N_{ads} = k_{ads}(q_{e,z} - q_{w,z}) \quad (5.1)$$

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 5.2 berikut ini (Djaeni, 2008):

$$q_{e,z} = C_5 [\tanh(\log(P_{v,u}) + C_6 T_u)] \quad (5.2)$$

$$P_{v,u} = q_{v,u} / (0.622(1 + q_{v,u})) \quad (5.3)$$

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 5.4 berikut:

$$k_{ads} = C_7 \exp(C_8 / (273.15 + T_u)) \quad (5.4)$$

5.3 Prosedur Percobaan

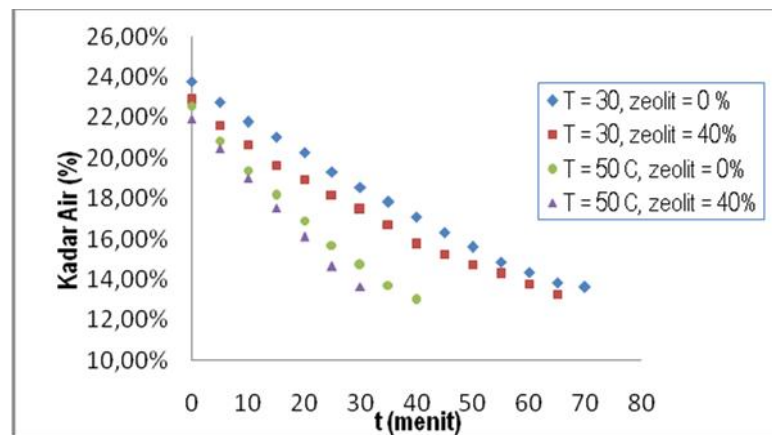
Timbang gabah dan zeolit dengan perbandingan sesuai variabel, lalu campurkan keduanya. Masukkan gabah dan zeolit yang telah tercampur ke dalam unggun fluidisasi.. Sebagai media, panaskan udara luar pada suhu tertentu sesuai kondisi operasi masuk dan alirkan pada unggun dengan kecepatan udara sesuai dengan variabel sampai campuran bahan yang ada terfluidisasikan. Untuk menghitung kadar air gabah yang telah difluidisasikan, masukkan sampel 5gr gabah basah dan 5 gr zeolite masing-masing ke kasa yang digantung didalam unggun fluidisasi. Setiap rentang waktu 5 menit, timbang berat sampel gabah tersebut lalu hitung % kadar airnya. Operasi pengeringan dihentikan ketika % kadar air gabah telah mencapai 12- 14%. Catat waktu yang dibutuhkan untuk mendapatkan kadar air tersebut. Dari data didapatkan hubungan antara kadar air dengan waktu, sehingga bisa diketahui kecepatan pengeringan.

Gabah hasil pengeringan di giling dengan mesin penggiling 3 in 1 dengan cara, masukan gabah kering ke dalam bagian blower minimal 2x operasi, kemudian masukan gabah hasil blower ke dalam bagian husker untuk dilakukan pegelupasan biji gabah dari kulitnya hingga semua terkelupas. Masukan beras hasil giling ke dalam polisher untuk membersihkan biji beras. Ambil 30 gr dari hasil giling kemudian dilakukan identifikasi % utuh, % patah dan % menir.

5.4 Hasil dan Pembahasan

a. Pengaruh Kondisi Operasi

Percobaan ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh berbagai kondisi operasi terhadap proses pengeringan. Variabel operasi yang dilakukan dalam percobaan ini adalah rasio gabah dan zeolite (100:0 ; 80:20 ; 60:40 ; 40:60), laju alir udara pengering (1,5 m/s ; 2 m/s ; 2,5 m/s ; 3 m/s), dan suhu udara pengering (30 °C; 40 °C ; 50 °C ; 60 °C).Pengaruh suhu udara pengering dan rasio komposisi zeolite dapat di amati pada Gambar 5.3.



Gambar 5.3: Pengaruh Suhu dan % Zeolit terhadap Proses Pengeringan Laju Alir Udara 3 m/s

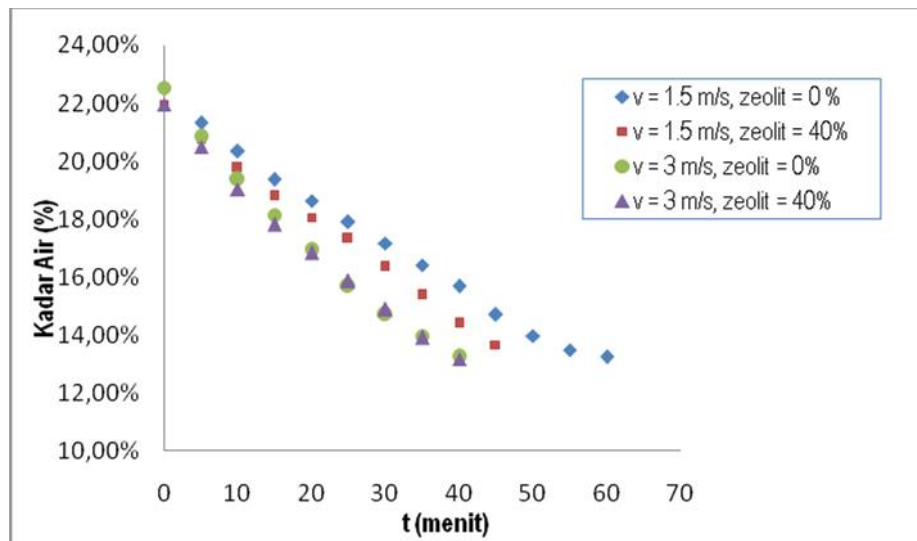
Gambar 5.3. menunjukkan pengaruh suhu dan rasio zeolit terhadap proses pengeringan pada laju alir 3 m/s. Pada variabel suhu 30 °C untuk mencapai kadar air yang diinginkan (12% - 14%) membutuhkan waktu hingga 75 menit. Sedangkan pada suhu 50 °C, hanya membutuhkan waktu 40 menit untuk mencapai kadar air (12% - 14%). Terjadi perbedaan waktu pengeringan yang signifikan di antara suhu ini. Semakin tinggi suhu, proses pengeringan menjadi lebih cepat. Hal ini jelas sekali sebab dengan naiknya suhu kelembaban relatif udara dan panas laten penguapan air menurun, sehingga driving force pengeringan meningkat. Pada proses pengeringan, terjadi perpindahan panas dari media pengering ke bahan yang dikeringkan dan perpindahan massa air dari bahan yang dikeringkan ke media pengering (Treyball, 1983). Semakin tinggi suhu udara pengering maka relative humidity udara akan semakin rendah, hal ini menyebabkan transfer panas dan massa antara udara dan gabah akan semakin besar sehingga proses pengeringan akan lebih cepat.

Selain suhu, rasio juga berpengaruh terhadap laju pengeringan. Dapat dilihat pada Gambar 5.4, pada suhu pengeringan yang sama, variabel yang menggunakan zeolit memerlukan waktu yang lebih singkat untuk mencapai kadar air yang diinginkan (12% - 14%) dibandingkan dengan variabel yang tidak menggunakan zeolit. Zeolit berfungsi sebagai penyerap uap air. Pada proses ini udara pengering

akan menguapkan air dari gabah (produk), sedangkan uap air yang ada di udara akan diserap oleh zeolite. Dengan demikian akan terjadi aliran transfer masa air dari gabah ke udara pengering, dan dari udara pengering ke zeolite.

Proses penyerapan air oleh zeolite ini bersifat eksotermis, sehingga melepaskan panas yang akan tetap mempertahankan temperatur udara pengering (Djaeni dkk, 2007). Jadi dengan semakin banyaknya zeolit yang digunakan, uap air yang terserap oleh zeolit juga akan semakin banyak, ini 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. Effisiensi pengeringan dengan menggunakan zeolit ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Atuonwu dkk., (2011) dimana penelitian mereka menunjukkan pemakaian zeolit 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 semakin tinggi rasio komposisi zeolite maka waktu pengeringan juga semakin cepat. Zeolite tidak merusak kualitas fisik gabah kering.

Untuk mengetahui pengaruh laju alir terhadap proses pengeringan dapat di amati pada Gambar 5.4. Dari grafik dapat dilihat bahwa proses pengeringan terjadi lebih cepat pada laju alir udara pengering 3 m/s dibandingkan dengan laju alir udara pengering 1.5 m/s. Pada laju alir 1.5 m/s, proses pengeringan memakan waktu hingga 60 menit, sedangkan pada laju alir 3 m/s, proses pengeringan memakan waktu 40 menit. Terjadi perbedaan waktu yang cukup signifikan diantara 2 variabel ini. Semakin tinggi laju alir udara, proses pengeringan akan terjadi lebih cepat.



Gambar 5.4: Pengaruh Laju Alir Udara Pengering dan % Zeolit terhadap Pengeringan pada Suhu 40 °C

Pada proses pengeringan, panas dibutuhkan untuk menguapkan air yang terkandung dalam bahan dan udara yang mengalir diperlukan untuk membawa uap air hasil pengeringan yang berada di sekitar bahan agar relative humidity udara pengering tetap terjaga rendah. Relative humidity udara sekitar yang rendah menyebabkan transfer panas dan massa. Oleh karena itu, semakin tinggi laju alir udara pengering, maka proses pengeringan akan berjalan lebih cepat. Hal ini disebabkan pada suhu yang sama, aliran udara yang tinggi akan membawa panas sensible dan ruang untuk proses penguapan air yang lebih besar.

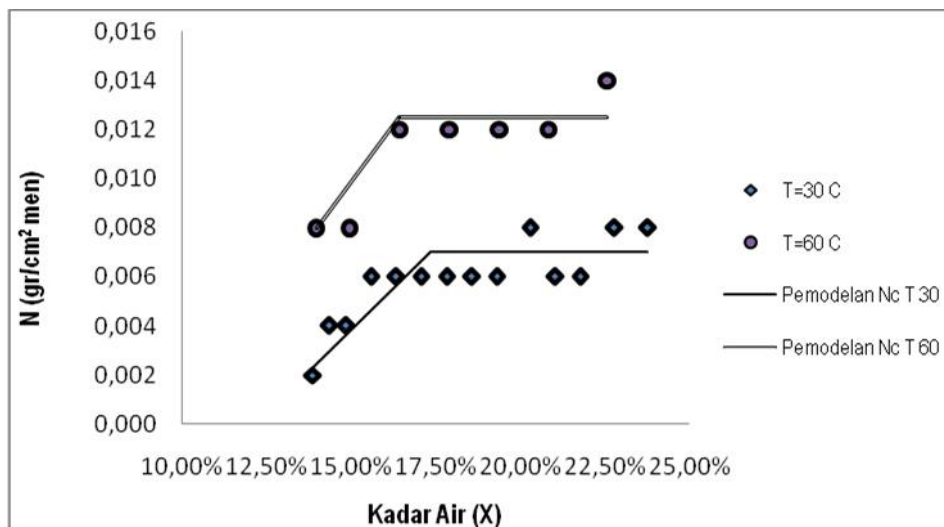
Rasio zeolit berpengaruh cukup signifikan terhadap proses pengeringan ketika laju alir 1.5 m/s. Hal ini dikarenakan pada laju alir rendah, uap air hasil proses pengeringan tidak dapat terbawa dengan cepat oleh udara pengering karena kecepatannya yang rendah. Udara di sekitar unggun memiliki relative humidity cukup besar, sehingga peran zeolit pada variable ini cukup besar yaitu untuk menyerap uap air di sekitar unggun agar relative humidity terjaga rendah. Pada laju alir yang tinggi, uap air dapat terbawa dengan cepat oleh udara pengering ke luar unggun, sehingga peran zeolit tidak begitu besar pada variable ini dibandingkan dengan variable laju alir rendah.

Jadi dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi laju alir maka proses pengeringan akan semakin cepat (waktu pengeringan lebih singkat). Zeolite memberikan pengaruh lebih besar pada laju alir yang rendah. Laju pengeringan dapat dihitung berdasarkan persamaan :

$$N_c = \frac{(w_{awal} - w_{setel})}{A \cdot t} \text{ (gr/cm}^2 \cdot \text{men)}$$

(5.5)

Laju pengeringan untuk variabel suhu 30 °C, laju alir 3 m/s dan zeolit 0 % adalah 0.0067 gr/cm².men sedangkan pada variabel suhu 50, laju alir 3 m/s dan zeolit 0% adalah 0.0115 gr/cm².men (untuk lebih lengkapnya dapat di amati pada Tabel 4.2). Hal ini membuktikan bahwa semakin tinggi suhu, laju pengeringan semakin tinggi pula. Karakteristik pengaruh kondisi operasi terhadap kecepatan pengeringan dapat di amati pada Gambar 5.5 - 5.7.

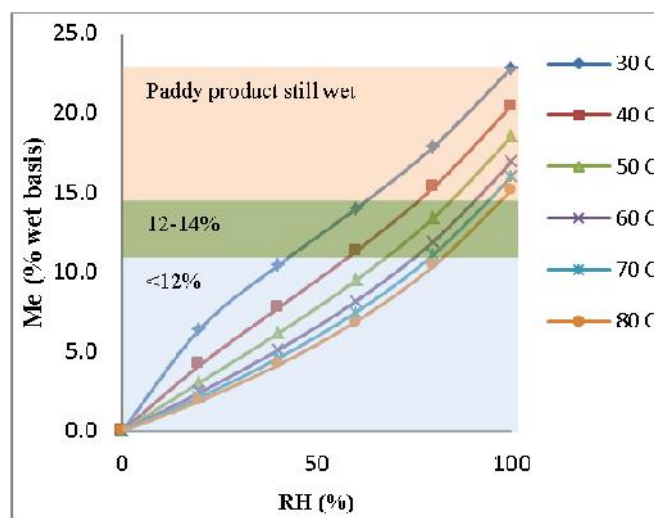


Gambar 5.5: Pengaruh Suhu Udara Pengering terhadap Laju Pengeringan pada laju udara = 3 m/s.

Dari Gambar 5.5 dapat diketahui bahwa suhu sangat berpengaruh terhadap kecepatan pengeringan. Pada percobaan didapatkan untuk variabel suhu 30 °C laju pengeringan tertinggi di capai pada 0.008 gr/cm².men sedangkan suhu 60 °C laju pengeringan tertinggi dapat mencapai 0.014 gr/cm².men, hal ini tentunya membuktikan adanya pengaruh yang signifikan dari besarnya suhu udara pengering

terhadap kecepatan pengeringan. Hal ini juga sejalan dengan pembahasan yang sudah dijelaskan pada sub bab sebelumnya yaitu pada Gambar 5.3.

Dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi suhu udara pengering maka kecepatan pengeringan akan semakin tinggi pula. Hal ini dikarenakan semakin tinggi suhu udara pengering maka relative humidity udara akan semakin kecil, relative humidity udara pengering rendah menyebabkan transfer massa air ke udara pengering akan lebih besar, sehingga proses pengeringan menjadi lebih cepat. Adapun pengaruh zeolite terhadap kecepatan pengeringan dapat dilihat pada Tabel 5.1. pada tabel nampak bahwa untuk laju alir dan suhu yang sama, dengan bertambahnya zeolit harga kecepatan pengeringan (N_c) semakin besar. Dalam hal ini, semakin banyak zeolite maka udara dalam unggun semakin kering, sehingga driving force pengeringan semakin tinggi.



Gambar 5.6: Nilai Equilibrium Moisture Content pada berbagai RH

Selain itu, Perubahan nilai RH akan sangat mempengaruhi nilai equilibrium moisture content. Peningkatan temperatur akan menurunkan kandungan air dalam padi. Namun sebaliknya, kenaikan RH akan meningkatkan kandungan air dalam padi. Hal ini bisa dilihat pada Gambar 5.6. Produk pengeringan padi yang diijinkan dipasarkan adalah pada kandungan air 12-14 % basis basah. Hal ini bisa dicapai dengan cara mengurangi RH atau meningkatkan temperatur, atau kombinasi

keduanya. Dengan mempertimbangkan kualitas padi, umumnya penurunan RH lebih banyak dipilih, karena temperatur pengeringan bisa lebih di tekan.

Tabel 5.1: Pengaruh kondisi operasi terhadap kecepatan pengeringan.

V	Komposisi Zeolite 0% w								Komposisi Zeolite 20% w							
	SUHU								SUHU							
	30 °C		40 °C		50 °C		60 °C		30 °C		40 °C		50 °C		60 °C	
	N _c	Slope	N _c	Slope	N _c	Slope	N _c	Slope	N _c	Slope	N _c	Slope	N _c	Slope	N _c	Slope
1,5 m/s	0.0051	0.0075	0.0071	0.0260	0.0104	0.0354	0.0095	0.0390	0.0054	0.0205	0.0087	0.0363	0.0096	0.0480	0.0120	0.0609
2 m/s	0.0053	0.0089	0.0088	0.0354	0.0108	0.0480	0.0110	0.0496	0.0063	0.0240	0.0091	0.0374	0.0100	0.0512	0.0125	0.0632
2,5 m/s	0.0058	0.0128	0.0096	0.0524	0.0110	0.0547	0.0110	0.0564	0.0067	0.0274	0.0100	0.0420	0.0100	0.0542	0.0140	0.0648
3 m/s	0.0067	0.0205	0.0115	0.0655	0.0115	0.0664	0.0125	0.0690	0.0070	0.0312	0.0120	0.0480	0.0110	0.0590	0.0147	0.0664
V	Komposisi Zeolite 40% w								Komposisi Zeolite 60% w							
	SUHU								SUHU							
	30 °C		40 °C		50 °C		60 °C		30 °C		40 °C		50 °C		60 °C	
	N _c	Slope	N _c	Slope	N _c	Slope	N _c	Slope	N _c	Slope	N _c	Slope	N _c	Slope	N _c	Slope
1,5 m/s	0.0066	0.0298	0.0077	0.0324	0.0100	0.0390	0.0120	0.0547	0.0068	0.0328	0.0090	0.0337	0.0105	0.0342	0.0145	0.0664
2 m/s	0.0070	0.0324	0.0092	0.0369	0.0100	0.0420	0.0140	0.0564	0.0072	0.0420	0.0094	0.0311	0.0125	0.0480	0.0150	0.0680
2,5 m/s	0.0073	0.0358	0.0100	0.0364	0.0110	0.0448	0.0140	0.0690	0.0080	0.0484	0.0105	0.0374	0.0135	0.0524	0.0173	0.0690
3 m/s	0.0076	0.0376	0.0105	0.0361	0.0120	0.0241	0.0140	0.0706	0.0088	0.0501	0.0105	0.0480	0.0145	0.0761	0.0200	0.0724

b. Pengaruh Kondisi Operasi terhadap Kualitas Fisik Gabah

Kualitas gabah diukur dari kadar air yang dikandungnya dan jumlah gabah utuh, patah dan menir ketika digiling. Data jumlah % berat gabah utuh yang dihasilkan dari percobaan pada berbagai kondisi operasi dapat dilihat pada Tabel 5.2. Dari tabel ini, dapat disimpulkan ketiga kondisi operasi memiliki dampak pada kualitas gabah. Pengaruh yang paling signifikan ditunjukkan oleh suhu udara pengering. Gabah utuh terbanyak diperoleh ketika pengeringan dilakukan pada suhu 40 C dengan prosentase gabah utuh 94 - 96%, dan paling rendah diperoleh ketika pengeringan dilakukan pada suhu 60C dengan prosentase gabah utuh 80 – 83%. Gabah tergolong biji-bijian yang tidak tahan terhadap panas yang terlalu tinggi. Pengeringan gabah yang dilakukan pada suhu tinggi dapat menyebabkan gabah terlalu kering sehingga ketika digiling akan mudah patah sedangkan suhu yang terlalu rendah menyebabkan gabah sulit dipisahkan dari kulitnya.

Pengeringan gabah menggunakan sinar matahari menghasilkan beras kepala yang tinggi jika kadar airnya 12 – 14%. Berdasarkan SNI 6128: 2008, kualitas beras dikatakan bagus apabila kadar beras kepala >70%. Selain faktor kualitas gabah, kualitas mesin giling pun sangat berpengaruh pada penggilingan gabah. Pada penelitian ini, dengan laju alir udara dan zeolit yang cukup maka pengeringan akan terjadi lebih cepat sehingga waktu kontak gabah dengan panas akan berkurang. Oleh karena itu, kualitas gabah akan lebih baik. Hasil ini sejalan dengan penelitian Revilla dkk (2006) dimana pada penelitiannya mereka menyimpulkan zeolite sangat baik dalam hal transfer massa dan panas sehingga membuat laju pengeringan tinggi.

Tabel 5.2: Persen beras utuh pada laju udara 1.5 – 2 m/s

Suhu (°C)	Laju Alir 1.5 m/s				Laju Alir 2 m/s			
	Zeolit				Zeolit			
	0% w	20% w	40% w	60% w	0% w	20% w	40% w	60% w
30	94.2	95.86	95.26	95.97	94.86	94.08	94.87	96.16
40	95.26	94.46	96.16	95.26	95.1	95.7	95.68	96.76
50	84.74	85.28	86.21	86.82	85.73	85.88	86.74	87.73
60	80.64	81.34	81.64	82.76	80.25	81.25	82.08	83.64

Suhu (°C)	Laju Alir 2.5 m/s				Laju Alir 3 m/s			
	Zeolit				Zeolit			
	0% w	20% w	40% w	60% w	0% w	20% w	40% w	60% w
30	93.51	93.88	94.21	95.73	93.85	94.86	95.32	96.06
40	94.34	95.77	96.72	96.97	94.58	95.11	96.73	96.73
50	85.47	85.16	86.21	87.52	83.67	84.78	85.35	87.24
60	81	82.64	83.64	83.8	80	81.34	82.74	83.9

1.5. Kesimpulan

1. Semakin tinggi suhu udara pengering, maka laju pengeringan semakin cepat. Laju pengeringan tertinggi dicapai ketika suhu 60 °C, tetapi jika ditinjau dari % gabah utuh yang dihasilkan, suhu terbaik untuk pengeringan ini adalah 40 °C.
1. Semakin tinggi laju alir udara pengering maka laju pengeringan juga semakin cepat. Laju pengeringan tertinggi dicapai pada variabel laju alir 3 m/s
2. Semakin banyak % w zeolit, proses pengeringan berlangsung semakin cepat. Dalam hal ini, rasio terbaik adalah 60% zeolit.
3. Kualitas fisik gabah terbaik dicapai ketika suhu udara pengering 40 °C.
4. Kenaikan laju alir udara pengering dan % w zeolite mampu meningkatkan kualitas fisik gabah.

Pembahasan BAB V ini diambil dari riset Program S1 Teknik Kimia Universitas Diponegoro, atas nama Rohmat Figiarto, dan Sheila Luvi Galvani dengan judul: "Peningkatan Kualitas Gabah Dengan Proses Pengeringan Menggunakan Zeolite Alam Pada Unggun Terfluidisasi, dengan Pembimbing Dr Mohamad Djaeni

Pembahasan BAB V ini diambil dari riset Program S1 Teknik Kimia Universitas Diponegoro, atas nama Rohmat Figiarto, dan Sheila Luvi Galvani dengan judul: "Peningkatan Kualitas Gabah Dengan Proses Pengeringan Menggunakan Zeolite Alam Pada Unggun Terfluidisasi, dengan Pembimbing Dr Mohamad Djaeni

DAFTAR PUSTAKA

- Atuonwu, J.; van Straten, G.; van Deventer, H.; van Boxtel, A.J.B. (2011). Optimizing Energy Efficiency in Low Temperature Drying by Zeolite Adsorption and Process Integration. *Chemical Engineering Transaction*, volume 25, 111-116
- Barber, S. (1972). Milled rice and changes during aging, *Rice: Chemistry and Technology* (D. F. Houston, ed.), American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, p. 215.
- Chrastil, J. (1994). Effect of Storage on the Physicochemical Properties and Quality Factors of Rice. In Marshall, W.E. and Wadsworth, J.I. (Eds.). *Rice Science and Technology*. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Demmerle, R.L.; Walter, J.S. (1988). *Modern Chemical Processes*. Volume I, Reinhold Publishing Corporation, New York,
- Djaeni, M.; Bartels, P.; Sanders, J.; Straten, G. van; Boxtel, A.J.B. van. (2007). Multistage Zeolite Drying for Energy-Efficient Drying. *Drying Technology*, vol. 25(6); 1063-1077
- Djaeni, M. (2008). Energy Efficient Multistage Zeolite drying for Heat Sensitive Product, Doctoral Thesis. Wageningen University. The Netherlands. ISBN: 1978-90-8585-209-4
- FAO, (2003). Food energy – methods of analysis and conversion factors. Report of a Technical Workshop, Rome, 3-6 December 2002. <http://www.fao.org/docrep/006/y5022e/y5022e03.htm#TopOfPage>. Diunduh tanggal 22 April 2010.
- 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*, vol. 24, issue 8, 1033-1038
- Taib, G., G. Said, S. Wiraatmadja, 1988. *Operasi Pengerinan Pada Pengolahan Hasil Pertanian*. Mediatama Sarana Perkasa, Jakarta.
- Treyball, R.E. (1983). *Unit Operation*. Mc Graw Hill Book, Co, New York

***Pembahasan BAB V ini diambil dari riset Program S1 Teknik Kimia Universitas Diponegoro, atas nama Rohmat Figiarto, dan Sheila Luvi Galvani dengan judul: "Peningkatan Kualitas Gabah Dengan Proses Pengerinan Menggunakan Zeolite Alam Pada Unggun Terfluidisasi, dengan Pembimbing Dr Mohamad Djaeni**

BAB VI

PENGERINGAN KARAGINAN TERMODIFIKASI*

6.1 Latar Belakang

Tanaman rumput laut (*seaweed*) dalam bahasa ilmiah dikenal dengan nama alga. Berdasarkan pigmen yang dikandung *Eucheuma cottonii* merupakan rumput laut dari kelompok *Rhodopyceae* (alga merah) yang mampu menghasilkan karagenan yang banyak digunakan dalam berbagai industri. Karagenan merupakan getah rumput laut yang diekstraksi dengan air atau larutan alkali. Rumput laut di Indonesia sebagian besar diekspor dalam bentuk kering. Ditinjau dari nilai ekonomi hasil lahan rumput laut yang berupa karagenan mempunyai harga yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan rumput laut kering sehingga untuk meningkatkan nilai tambah pengolahan menjadi karagenan perlu dikembangkan.

Karagenan berfungsi untuk pengental, pengemulsi, pensuspensi, dan penstabil. Karagenan juga dipakai dalam industri pangan untuk memperbaiki penampilan produk kopi, bir, sosis, salad, es krim, susu kental, coklat, jeli. Industri farmasi juga memakai karagenan untuk pembuatan obat, sirup, tablet, pasta gigi, shampoo, dan sebagainya. Industri kosmetika menggunakannya sebagai gelling agent (pembentuk gel) atau binding agent (pengikat).

Kualitas karagenan yang dihasilkan oleh industri dalam negeri sampai saat ini masih rendah karena berwarna coklat (*browning*) dan kadar air yang cukup tinggi yaitu diatas 20%. Hal ini kemungkinan terjadi saat pengeringan karagenan menjadi produk serbuk dilakukan pada kondisi suhu tinggi sehingga dihasilkan produk yang berwarna coklat. Masalah utama dalam pengeringan karagenan adalah pembentukan gel antara polisakarida dan air yang menghambat difusi kelembaban ke permukaan. Selanjutnya, karagenan yang masih cair memiliki sifat lengket dan afinitas air yang tinggi dan membuatnya mudah menggumpal. Djaeni dkk (2012)

melaporkan peningkatan kualitas karagenan dan waktu pengeringan yang lebih pendek dengan menggunakan adsorpsi pengeringan dengan zeolite.

Pengeringan adalah suatu peristiwa perpindahan massa dan energi yang terjadi dalam pemisahan cairan atau kelembaban dari suatu bahan sampai batas kandungan air yang ditentukan dengan menggunakan gas sebagai fluida sumber panas dan penerima uap cairan. Dalam percobaan yang akan kami lakukan akan memodifikasi metode pengeringan dengan menggunakan *foam-mat drying* dan dilakukan dengan pengering *tray dryer*.

Foam-mat drying merupakan suatu metode pengeringan dengan cara pembuihan bahan yang akan dikeringkan. Metode *foam-mat drying* mampu memperluas area *interface*, sehingga mengurangi waktu pengeringan dan mempercepat proses penguapan (Rajkumar dkk, 2005). Metode *foam-mat drying* telah dibuktikan dalam penelitian metode pengeringan wortel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu yang dibutuhkan untuk pengeringan wortel dengan metode *foam-mat drying* jauh lebih cepat dibandingkan metode pengeringan biasa (Iswari, 2007).

Keberhasilan penelitian metode *foam-mat drying* sebagai metode pengeringan untuk buah dan sayuran, mendorong untuk dilakukannya penelitian penerapan metode *foam-mat drying* pada pengeringan karagenan. Pengembangan penelitian ini diarahkan guna merancang dan menentukan kondisi operasi pengeringan karagenan yang paling optimum. Optimasi proses dilakukan berdasarkan variabel komposisi, variabel suhu pengeringan, dan variabel ketebalan pengeringan. Sehingga diketahui metode pengeringan dan kondisi operasi pengeringan yang paling optimum pada proses pengeringan karagenan. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi solusi metode pengeringan yang murah, efisien, dan efektif, tanpa mengurangi nilai gizi suatu bahan yang tidak tahan panas tinggi, serta berdampak positif bagi industri pengolahan hasil laut di Indonesia.

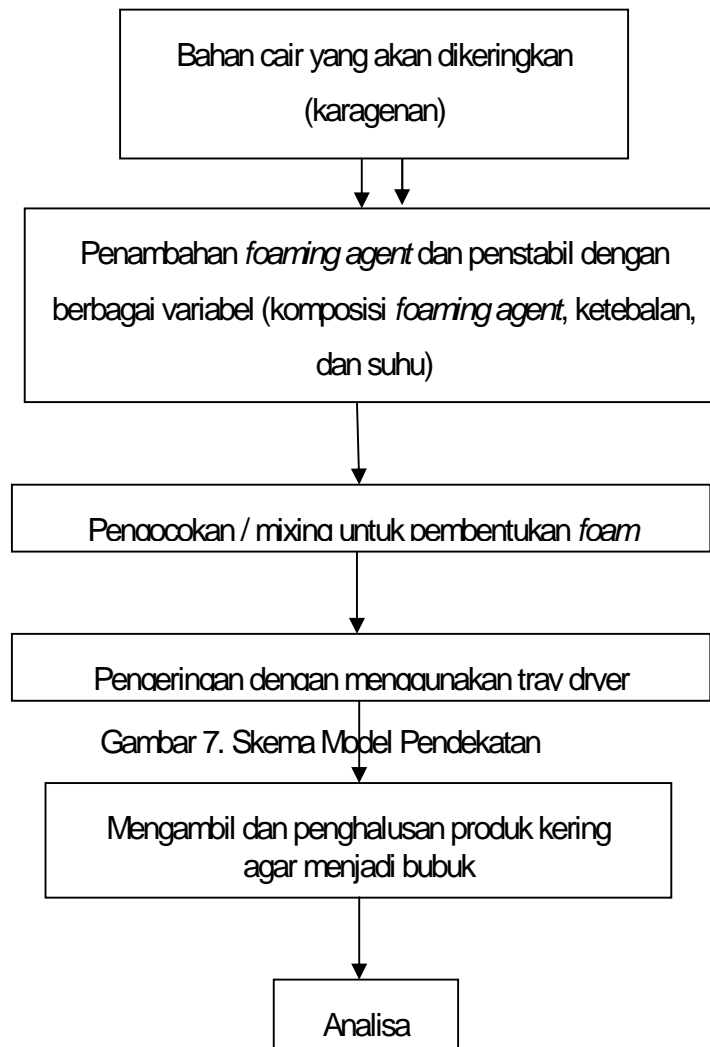
Secara umum tujuan penelitian adalah melakukan studi parameter pengeringan pada karagenan menggunakan metode pengeringan *foam-mat drying* pada pengering *tray dryer*.

Secara spesifik tujuan penelitian adalah :

1. Mengetahui pengaruh komposisi *foam agent*, temperatur dan ketebalannya yang sesuai untuk menghasilkan produk serbuk karagenan.
2. Mengetahui kecepatan pengeringan (*drying rate*) pada produksi serbuk karagenan
3. Mengetahui waktu pengeringan (*drying time*) pada produksi serbuk karagenan.

6.2. Metode

Secara skematis, model pendekatan dijelaskan dalam Gambar 6.1, di bawah ini :



Gambar 6.1: Proses Pengeringan dengan metode foam mat drying

Pada proses pengeringan karagenan dengan metode *foam mat drying* pada pengering *tray dryer* dilakukan 36 run dengan 3 variabel berubah, yaitu komposisi *foam agent*, suhu operasi, dan ketebalan. Kegiatan penelitian dilakukan dengan menggunakan rancangan percobaan dengan distribusi perlakuan sebagaimana tertera pada Tabel 6.1.

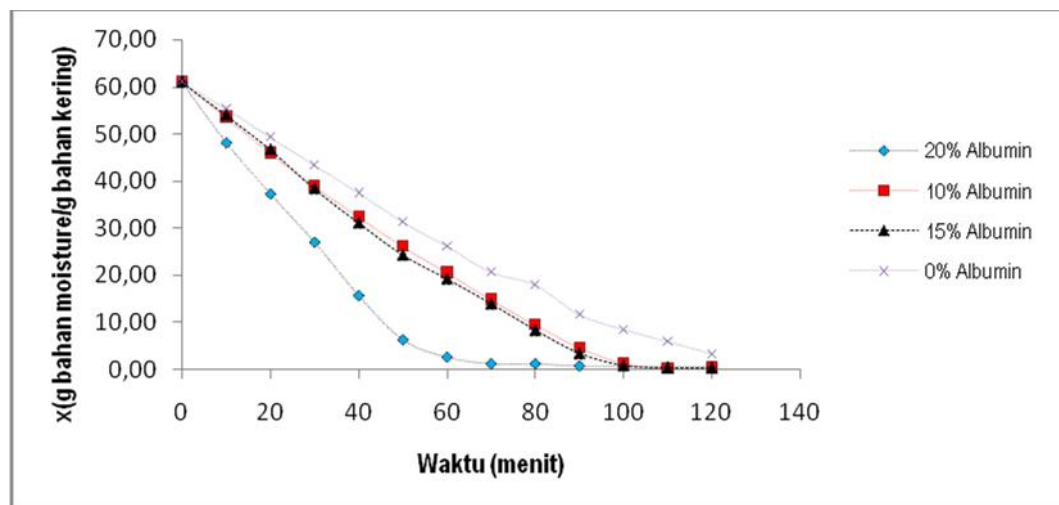
Tabel 6.1: Variabel Proses

Run	Variabel Proses			Pengamatan	
	Suhu (°C)	Komposisi Putih Telur (%)	Komposisi Metil Selulose (%)		
1.	60	20	10	0.2	Pengukuran kadar air dengan metode gravimetri.
2.				0.3	
3.				0.4	
4.				0.5	
5.	60	10	20	0.2	Pengukuran kadar air dengan metode gravimetri.
6.				0.3	
7.				0.4	
8.				0.5	
9.	60	15	15	0.2	Pengukuran kadar air dengan metode gravimetri.
10.				0.3	
11.				0.4	
12.				0.5	
13.	80	20	10	0.2	Pengukuran kadar air dengan metode gravimetri.
14.				0.3	
15.				0.4	
16.				0.5	
17.	80	10	20	0.2	Pengukuran kadar air dengan metode gravimetri.
18.				0.3	
19.				0.4	
20.				0.5	
21.	80	15	15	0.2	Pengukuran kadar air dengan metode gravimetri.
22.				0.3	
23.				0.4	
24.				0.5	
25.	100	20	10	0.2	Pengukuran kadar air dengan metode gravimetri.
26.				0.3	
27.				0.4	
28.				0.5	
29.	100	10	20	0.2	Pengukuran kadar air dengan metode gravimetri.
30.				0.3	
31.				0.4	
32.				0.5	
33.	100	15	15	0.2	Pengukuran kadar air dengan metode gravimetri.
34.				0.3	
35.				0.4	
36.				0.5	

6.3 Hasil dan Pembahasan

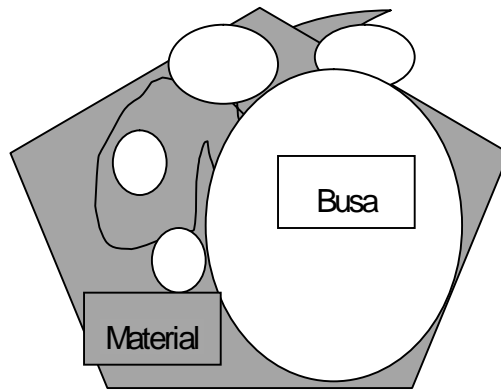
Variabel komposisi

Dilakukan pengeringan karagenan dengan metode *foam mat drying* pada berbagai komposisi perbandingan *foaming agent* (albumin): *stabilizer* (methyl cellulose) dengan tebal dan suhu yang tetap, hasil yang didapat, dapat dilihat pada Gambar 6.2.



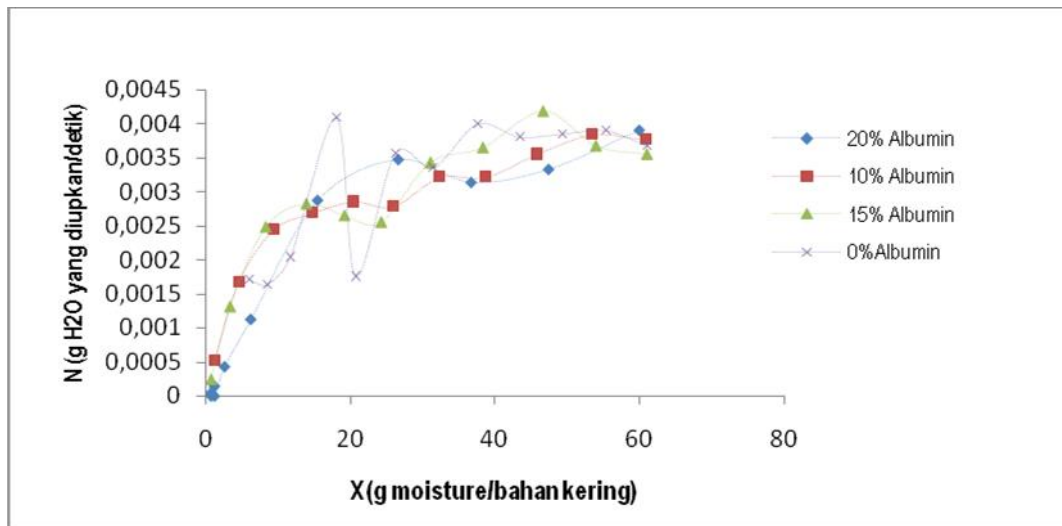
Gambar 6.2: Hubungan antara *Moisture Content* terhadap Waktu

Dari Gambar 6.2 hubungan antara *moisture content* terhadap waktu menunjukkan bahwa gradien penurunan menghasilkan data yang berbeda-beda. Kandungan air dalam bahan terdifusi secara perlahan seiring lamanya waktu pengeringan. Pada sampel dengan variabel 20% albumin menunjukkan bahwa gradien penurunan *moisture* tiap satuan waktu relative lebih besar jika dibandingkan dengan sampel dengan variabel 10%, 15%, 0% albumin. Dalam percobaan ini *foam mat agent* (pembentuk busa, Gambar 6.3) yang digunakan adalah putih telur atau biasa disebut dengan albumin. Ovomucin adalah salah satu jenis protein yang terdapat dalam putih telur bersifat menstabilkan busa, dan apabila ovomucin yang ada dalam jumlah cukup besar, maka busa yang terbentuk bersifat stabil dan tahan terhadap koagulasi (Khotimah, 2005)



Gambar 6.3: Proses terbentuknya busa

Busa juga harus dipertahankan struktur lapisannya selama pengeringan. Jika busa diproduksi berlebihan, maka akan meningkatkan waktu pengeringan dan kualitas produk menjadi buruk, misalnya produk akan menjadi susut. Seperti disebutkan sebelumnya, struktur busa memainkan peran utama dalam gerakan moisture selama pengeringan dan juga pada kualitas produk berikutnya. Kebanyakan penelitian sebelumnya telah menekankan pada karakteristik foam mat drying (Cooke dkk., 1976; Karim dan Wai, 1999) dan hukum Fick tentang difusi, dengan asumsi difusivitas kelembaban konstan, digunakan untuk menggambarkan kelembaban evolusi konten selama pengeringan.



Gambar 6.4: Hubungan antara *Moisture Content* Terhadap *Drying Rate*

Berdasarkan Gambar 6.4 hubungan antara *moisture content* terhadap *drying rate* kita bisa melihat pengaruh tiap komposisi umpan terhadap laju pengeringan bahan. Kadar air kritis (*critical moisture content*) adalah titik yang menandai saat dimana air pada permukaan tidak cukup lagi untuk memelihara suatu lapisan kontinyu yang menutupi keseluruhan permukaan pengeringan. Hal ini diperlihatkan pada kurva laju pengeringan yang menunjukkan perubahan bentuk yang tajam.

Equilibrium moisture content merupakan kandungan air dalam keadaan keseimbangan pada kondisi tertentu karena tekanan uap air setimbang dengan tekanan parsial uap dalam atmosfer. Berdasarkan pada pengeringan padatan basah pada kondisi pengeringan yang tetap. Dalam kasus yang paling umum, setelah periode awal penyesuaian, kadar air basis kering, *moisture content* menurun secara linear dengan waktu, seiring dengan dimulainya penguapan. Hal ini dilanjutkan dengan penurunan non linear pada *moisture content* hingga waktu tertentu, setelah selang waktu yang cukup lama, padatan mencapai kesetimbangan kadar air (*equilibrium moisture content*) dan proses pengeringan bisa dihentikan.

Sampel 0% albumin menunjukkan profil kurva laju pengeringan yang cenderung tidak konstan. Gradien pengurangan *moisture* dalam bahan tiap satuan waktu tidak terlalu besar. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai *critical moisture content* dan *equilibrium moisture content* lebih lama jika dibandingkan dengan sampel *foam*. Laju pengeringan rata-rata untuk sampel non *foam* adalah 0,00373 g H₂O yang diuapkan/detik. Untuk variabel 10% albumin memiliki laju pengeringan rata-rata untuk sampel non *foam* adalah 0,00325 g H₂O yang diuapkan/detik pada variabel 15% memiliki laju pengeringan rata-rata sebesar 0,00332 g H₂O yang diuapkan/detik sedangkan pada variabel 20% albumin sebesar 0,00353 g H₂O yang diuapkan/detik, ketempat sampel dengan komposisi *foam agent* dan *foam stabilizer* yang berbeda menunjukkan profil kurva laju pengeringan yang cenderung fluktuatif. Terjadi gradien pengurangan *moisture* dalam bahan tiap satuan waktu yang cukup besar. Keempat sampel memiliki kecenderungan laju pengeringan yang hampir sama.

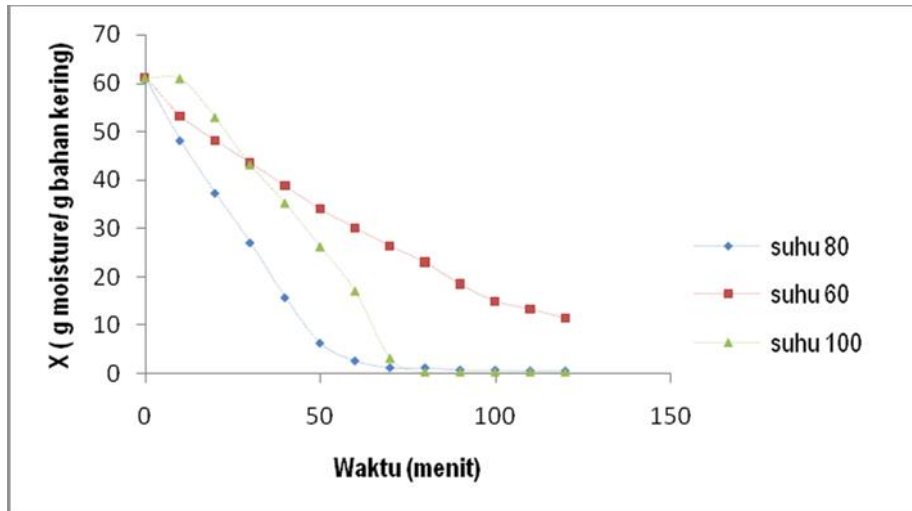
Berdasarkan grafik hubungan antara *drying rate* terhadap *moisture content* bisa dilihat bahwa laju pengeringan rata-rata pada periode konstan yang relative paling baik dicapai oleh variabel 20% albumin pengaruh tiap komposisi umpan terhadap laju pengeringan bahan. Dari grafik di atas juga dapat diprediksikan lama waktu pengeringan pada tiap-tiap bahan berdasarkan hasil perhitungan didapat waktu pengeringan untuk mencapai *moisture content* sebesar 0.1 g *moisture/g* bahan kering pada komposisi variabel 0% albumin membutuhkan waktu yang cukup lama yaitu 366,1922 menit; variabel 10% albumin membutuhkan waktu 187,27 menit; 15% membutuhkan waktu 207,77 menit; 20% albumin membutuhkan waktu selama 156,34 menit. Jadi dapat disimpulkan variabel 20% albumin merupakan variabel yang relative cukup baik diantara variabel komposisi yang lain karena memiliki waktu pengeringan yang paling singkat.

Kandungan air dalam bahan terdifusi relative lebih cepat seiring lamanya waktu pengeringan. Adanya albumin sebagai *foam agent* membantu dalam pembentukan pori yang meningkatkan luas permukaan untuk pengeringan. Studi yang dilaporkan untuk pengeringan dengan *foam* juga dapat ditemukan untuk susu kedelai (Akintoye dan Oguntunde, 1991), bubur mangga (Wilson dkk, 2012), pisang (Sankat dan Castaigne, 2004), belimbing dan pasta tomat (Lewicky, 1975). Karim dan Wai (1999) menyatakan bahwa dengan jumlah yang sama sebuah lapisan busa lebih cepat kering daripada cairan yang tidak dalam bentuk busa pada kondisi lingkungan yang sama. Hal ini disebabkan cairan lebih mudah melewati struktur busa daripada lapisan yang rapat dari bahan yang sama, sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin banyak busa maka akan mengurangi waktu pengeringan.

Variabel Suhu Bahan yang Dikeringkan

Pada percobaan variable suhu, bahan dikeringkan pada suhu 60°C, 80°C, dan 100°C. Bahan yang dikeringkan merupakan variable komposisi dengan penambahan *methyl cellulosa* (20%) dan putih telur (10%) dengan tebal 4 mm.

Pada percobaan variable komposisi kadar air awal yang digunakan 61 g *moisture*/g bahan kering. Hasil ditunjukkan pada Gambar 6.5.

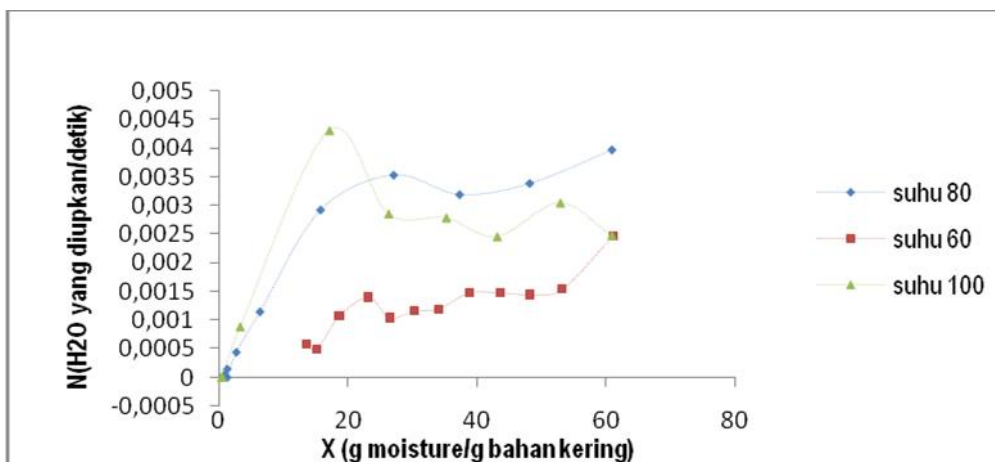


Gambar 6.5: Hubungan antara *Moisture Content* Terhadap Waktu

Dari Gambar 6.5 hubungan antara moisture content terhadap waktu hasil percobaan variabel suhu pengeringan 60°C, 80°C, dan 100°C dapat dilihat bahwa untuk tebal lapisan yang sama yaitu 4 mm, suhu pengeringan memberikan pengaruh yang cukup signifikan pada variabel suhu 80°C dan 100°C jika dibanding dengan variabel suhu 60°C. Pada variabel suhu 80°C dan 100°C memiliki kecenderungan yang hampir sama, yakni moisture content berkurang seiring bertambahnya waktu pengeringan, dengan kecenderungan penurunan yang lebih landai jika dibandingkan dengan variabel suhu 60°C. Hal ini karena semakin besar suhu, maka panas yang diterima oleh permukaan lapisan padat semakin besar. Sehingga laju penguapan air per luas permukaan tiap waktunya semakin besar. Semakin tinggi suhu udara pengering maka relative humidity udara akan semakin rendah, sehingga transfer panas dan massa antara udara dan karaginan akan semakin besar. Hal ini akan menyebabkan laju kinetika pengeringannya semakin tinggi.

Profil penurunan moisture content terhadap waktu pada variable suhu 80°C dan suhu 100°C, dapat dilihat bahwa, pada variable suhu 80°C grafik penurunannya lebih landai dibandingkan variable 100°C. Dengan komposisi yang sama dan

ketebalan yang sama pula untuk mencapai moisture content 0,1 g *moisture/g* bahan kering, untuk variable suhu 80°C memerlukan waktu pengeringan total 156,34 menit sedangkan untuk suhu 100°C memerlukan waktu pengeringan total 167,26 menit. Sampel dengan suhu pengeringan 80°C memperlihatkan laju pengeringan yang lebih tinggi dibandingkan suhu 100°C. Sehingga dapat disimpulkan bahwa variable suhu 80°C lebih efektif karena memiliki laju pengeringan yang lebih tinggi dan membutuhkan energy yang lebih rendah bila dibandingkan dengan variable suhu 100°C.



Gambar 6.6: Hubungan antara *Drying Rate* Terhadap *Moisture Content*

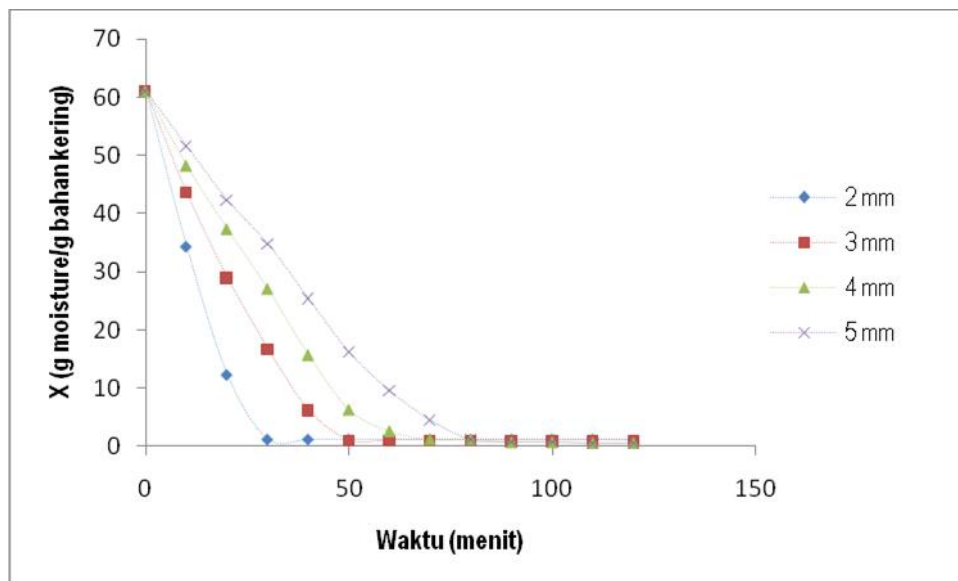
Profil kurva laju pengeringan pada Gambar 6.6 untuk variabel suhu pengeringan menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan antara variabel suhu 60°C dan variabel 80°C dengan variabel 100°C. Critical moisture content paling tinggi dicapai oleh variabel suhu 80°C yaitu 27,088 g moisture/g bahan kering. Sedangkan critical moisture content paling kecil dicapai oleh variabel suhu 100°C yaitu 17,055 g moisture/g bahan kering.

Pada percobaan ini laju pengeringan rata - rata pada periode konstan yang paling tinggi dicapai oleh variabel suhu 80°C yaitu 0,0035 g H₂O yang diupkan/detik. Sedangkan laju pengeringan rata – rata pada periode konstan yang paling rendah adalah 0,0015 g H₂O yang diupkan/detik yang dicapai oleh variabel 60°C. Hal ini disebabkan, dengan semakin tinggi suhu, maka relatif humiditi

udara pengering semakin rendah. Dengan semakin rendah relatif humiditi udara pengering maka kadar air di padatan semakin rendah, karena kadar air di padatan akan berada pada kondisi kesetimbangan dengan relatif humiditi udara. Semakin tinggi suhu juga akan meningkatkan difusivitas uap air baik untuk terlepas di permukaan padatan maupun untuk berdifusi di dalam padatan partikel karaginan itu sendiri sehingga bahan cepat kering (Suherman dkk, 2012).

Variabel Tebal Bahan yang Dikeringkan

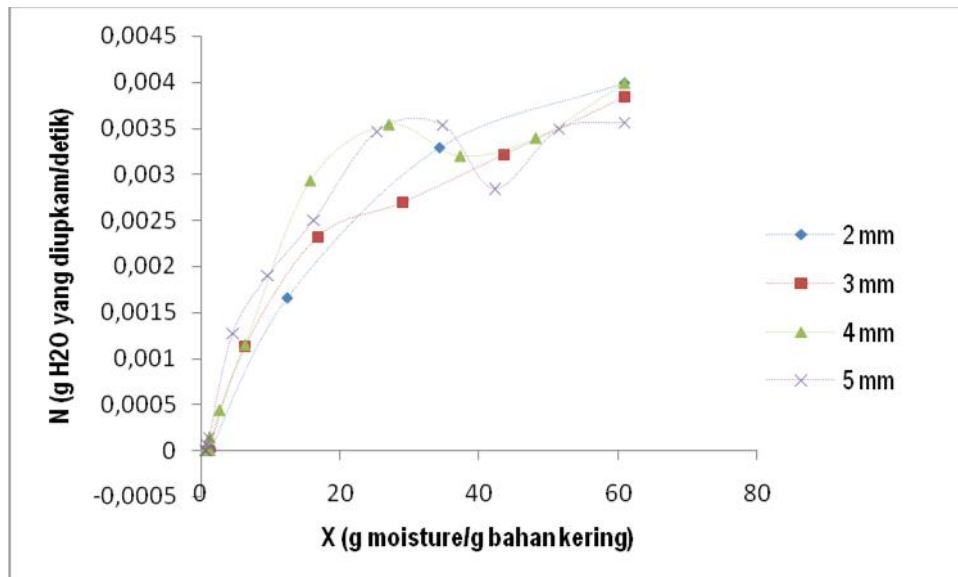
Pada percobaan variabel tebal bahan yang dikeringkan, proses pengeringan dilakukan dengan suhu udara tetap, yaitu 80°C , dan dengan komposisi sampel yang sama yaitu 20% albumin, yang merupakan komposisi terbaik pada variabel komposisi. Pengamatan dilakukan terhadap berat sampel tiap waktu tertentu. Pada percobaan dengan variabel komposisi, kadar air awal tiap sampel adalah 61 g *moisture/g* bahan kering.



Gambar 6.7: Hubungan antara *Moisture Content* Terhadap Waktu

Gambar 6.7 menunjukkan bahwa ketebalan mempengaruhi tingkat pengeringan dengan pengeringan waktu secara signifikan berkurang karena ketebalan busa meningkat. Pada peningkatan ketebalan mengurangi laju difusi

kelembaban akibat lagi diffusional jalan di sepanjang lapisan tebal yang menghasilkan nilai kelembaban yang rendah difusivitas. Dari data tersebut diperoleh hasil perhitungan kebutuhan waktu pengeringan dengan nilai yang berbeda untuk mencapai nilai moisture content 0,1 g moisture/g berat kering, variabel dengan tebal 2 mm membutuhkan waktu pengeringan selama 104,7034 menit, variabel tebal 3 mm membutuhkan waktu 168,6368 menit, variabel tebal 4 mm membutuhkan waktu 156,34 menit, dan variabel dengan tebal 5 mm membutuhkan waktu selama 213,3182 menit. Dari data-data perhitungan tersebut variabel dengan tebal 2 mm memiliki waktu pengeringan yang paling singkat jika dibandingkan dengan variabel yang lain. Dengan mengurangi ketebalan, perpindahan panas lebih efisien dan penetrasi panas yang lebih cepat dapat memulai kelembaban difusi dalam waktu yang lebih singkat. Migrasi air selama proses pengeringan merupakan hal kompleks yang melibatkan satu atau lebih mekanisme transport seperti difusi cair, difusi uap, difusi Knudsen, difusi permukaan dan perbedaan tekanan hidrostatik.



Gambar 6.8: Grafik Hubungan antara *Moisture Content* Terhadap *Drying Rate*

Profil Gambar 6.8 menampilkan *drying rate vs moisture content* umumnya digambarkan pada tiga periode proses pengeringan. Tiga periode ini meliputi *initial*

adjustment (periode penyesuaian), periode *constant rate* dan periode *falling rate*. Pada percobaan ini laju pengeringan rata - rata pada periode konstan yang paling tinggi dicapai oleh variabel tebal 2 mm yaitu 0,00298 g H₂O yang diuapkan/detik. Sedangkan laju pengeringan rata – rata pada periode konstan yang paling rendah adalah 0,00264 g H₂O yang diuapkan/detik yang dicapai oleh variabel tebal 3 mm.

Dari data percobaan diperoleh hasil bahwa bahwa ketebalan bahan yang dikeringkan sangat mempengaruhi kecepatan difusi *moisture* pada bahan ke udara bebas. Hal ini sesuai dengan persamaan matematis laju *moisture* dinyatakan oleh hukum Fick hubungan antara koefisien difusifitas terhadap jarak pada arah difusi. Semakin tipis lapisan bahan yang dikeringkan maka proses difusi akan berjalan lebih cepat dan *moisture* lebih cepat teruapkan ke udara. *Difusi moisture* terjadi karena adanya gradien konsentrasi antara bagian dalam *solid* yang mempunyai konsentrasi tinggi, dengan permukaan yang konsentrasinya rendah. Gerakan *moisture* ke permukaan dengan cara difusi molekuler terutama untuk bahan padat yang relatif homogen.

Pada peningkatan ketebalan akan mengurangi laju difusifitas, dengan mengurangi ketebalan perpindahan panas lebih efisien dan penetrasi panas akan lebih cepat sehingga dapat memulai kelembaban lebih cepat (Djaeni dkk, 2012). Dari persamaan hukum Fick II diatas bisa dilihat bahwa hal yang berpengaruh dalam proses difusi adalah jarak pada arah mendifusi. Semakin kecil jarak pada arah difusi (X) maka laju difusifitas juga akan semakin besar. Moisture content pada permukaan pada kondisi ini akan berada pada nilai kesetimbangan atau sangat berdekatan dengan nilai tersebut. Kecepatan udara hampir tidak berpengaruh, sedang kelembaban udara mempengaruhi proses pengeringan terutama melalui pengaruhnya terhadap equilibrium moisture content. Oleh karena difusivitas meningkat bersamaan dengan suhu, kecepatan pengeringan juga meningkat jika suhu meningkat.

Pada umumnya koefisien difusivitas berada pada selang 10⁻¹³ dan 10⁻⁶ m²/detik dimana mayoritas (sekitar 92%) berada pada selang 10⁻¹² dan 10⁻⁸ m²/detik sedang nilai difusifitas dari karagenan (starch gel) adalah 1.0 x 10⁻¹⁰ – 1.2 x 10⁻⁹

(m²/s). Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin tebal lapisan suatu zat untuk dikeringkan maka akan membutuhkan waktu pengeringan yang semakin lama pula, karena tebal merupakan salah factor yang mempengaruhi difusifitas suatu zat.

6.4. Kesimpulan

1. Dengan massa umpan yang sama, sampel dengan *metode foam-mat drying* lebih cepat kering, bila dibandingkan dengan pengeringan *nonfoam-mat drying*. Hal ini disebabkan buih (*foam*) yang terbentuk memperluas *interface* (terbentuk gelembung – gelembung udara) sehingga memperluas bidang pengeringan. Semakin luas permukaan pengeringan maka luas bidang kontak untuk terjadinya mekanisme difusi (terlepasnya *moisture content* ke udara) ke udara menjadi besar.
2. Drying rate pada periode konstan relative paling baik didapat pada variabel komposisi 20% albumin, tebal 2 mm, pada suhu operasi 80°C yaitu sebesar 0,00298 gr H₂O yang teruapkan /menit. Karena besarnya drying rate akan mempengaruhi lama waktu pengeringan.
3. Pada suhu dan ketebalan lapisan pengeringan yang sama, komposisi albumin cukup mempengaruhi. Komposisi yang relative cukup baik adalah pada kadar penambahan *foaming agent* yang berupa albumin sebanyak 20% berat, karena memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap berkurangnya waktu pengeringan hingga mencapai setengahnya.
4. Suhu dan ketebalan pengeringan yang relative cukup baik adalah pada suhu 80°C pada ketebalan 2 mm karena memiliki waktu pengeringan yang paling singkat dengan menggunakan energy pengeringan yang relative rendah.

***) Merupakan hasil penelitian Skripsi Program S1 Teknik Kimia UNDIP atas nama Verona Amelia dan Bery Kristanti dengan Pembimbing Dr. Mohamad Djaeni dan sudah di publikasikan dalam [//repository.undip.ac.id](http://repository.undip.ac.id)**

DAFTAR PUSTAKA

- Akintoye, O. A.; Oguntunde, A.O. (1991). Preliminary investigation on the effect of foam stabilizers on the physical characteristics and reconstitution properties of foam-mat dried soymilk. *Drying Technology*, 9 (1): 245-262.
- Cooke, R.D.; Breag, G.R.; Ferber, C.E.M.; Best, P.R.; Jones, J. (1976). Studies of mango processing. 1. The foam-mat drying of mango (Alphonso cultivar) puree. *Journal of Food Technology* 11: 463-473
- Djaeni, M.; Sasongko, S.B.; Prasetyaningrum, A.; Jin, X.; van Boxtel, A.J. (2012). Carrageenan drying with dehumidified air: drying characteristics and product quality. *International Journal of Food Engineering*: Vol. 8: Iss. 3, Article 32. DOI: 10.1515/1556-3758.2682
- Iswari, K. (2007). *Kajian Pengolahan Bubuk Instant Wortel Dengan Metode Foam Mat Drying*. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Sumatera Barat.
- Karim, A. A.; Wai, C. C. (1999). Characteristics of Foam Prepared From Starfruit (*Averrhoa carambola* L.) Puree by Using Methyl Cellulose. *Food Hydrocolloids*.
- Khotimah, K. (2006). *Pembuatan Susu Bubuk Dengan Foam-Mat Drying, Kajian Pengaruh Bahan Penstabil Terhadap Kualitas Susu Bubuk*. Fakultas Peternakan. Universitas Muhammadiyah Malang.
- Lewicki, P.P. (1975). Mechanisms concerned in foam-mat drying of tomato paste. *Transactions of Agricultural Academy in Warsaw* 55: 1-67 (in Polish).
- Rajkumar, P.; Kailappan, R.; Viswanathan, R.; Raghavan, G.S.V.; Ratti, C. (2005). Studies on Foam-mat Drying of Alphonso Mango Pulp. In *Proceedings 3rd Inter-American Drying Conference*, CD ROM, paper XIII-1. Montreal, QC: Department of Bioresource Engineering, McGill University.
- Sankat, C. K.; Castaigne, F. (2004). Foaming and drying behaviour of ripe bananas. *Lebensmittel Wiss und Technologie*, 37, 517–525.
- Suherman ; Fajar, B.; Satriadi, H.; Yuariski. O; Nugroho, R.S.; Shohib, A. (2012). Thin layer drying kinetic of roselle. *Advance Journal of Food Science and Technology* 4 (1); 51-55.
- Wilson, R. A.; Kadam, M.; Chadha, S.; Sharma, M. (2012). Foam Mat Drying Characteristics of Mango Pulp. *International Journal of Food Science and Nutrition Engineering* 2(4): 63-69.

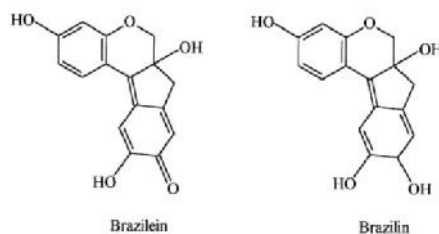
***) Merupakan hasil penelitian Skripsi Program S1 Teknik Kimia UNDIP atas nama Verona Amelia dan Bery Kristanti dengan Pembimbing Dr. Mohamad Djaeni dan sudah di publikasikan dalam [//repository.undip.ac.id](http://repository.undip.ac.id)**

BAB VII*

PENGERINGAN EKSTRAK SECANG

7.1. Latar Belakang

Hingga saat ini pemanfaatan kayu secang (*Caesalpinia sappan L.*) sebagai pewarna alami hanya terbatas pada skala kecil saja, seperti jamu, misalnya wedang secang dan bir pletok. Warna ini dihasilkan dari kandungan pigmen brazilin yang terdapat pada kayu secang. Brazilin merupakan kristal berwarna kuning akan tetapi jika teroksidasi akan menghasilkan senyawa brazilein yang akan berwarna merah kecoklatan dan larut dalam air. Asam tidak berpengaruh terhadap brazillin, tetapi alkali dapat membuatnya bertambah merah. Eter dan alkohol menimbulkan warna kuning pucat terhadap larutan brazilin (Holinessi, 2009). Brazilein dapat terekstrak dalam jumlah yang banyak selama ekstraksi maupun penyimpanan brazilin (Kim dkk., 1997). Rumus struktur untuk brazilin dan brazilein disajikan dalam Gambar 7.1 berikut:



Gambar 7.1: Rumus Struktur Brazilein dan Brazilin (Holinessi, 2009)

Brazilein termasuk dalam golongan flavonoid sebagai isoflavonoid. Senyawa isoflavonoid merupakan golongan yang mempunyai kerangka C₃-C₆-C₆. Adapun sifat fisik dan kimia brazilein secara ringkas ditampilkan dalam Tabel 7.1, berikut ini:

Tabel 7.1: Karakteristik Fisik dan Kimia Brazilein (Holinessi, 2009)

Variabel Sifat Fisik dan Kimia	Karakteristik
Kelarutan	1. Larut dalam air 2. Larut dalam alkohol dan ester 3. Larut dalam alkali hidroksi
Titik leleh	150°C
Rapat optik ()D	± 122°C
Temperatur peruraian	130°C
Bau	Aromatik
pH	4,5-5,5
Warna	Kuning – merah

Pengambilan brazilin dalam kayu secang dapat dilakukan dengan cara ekstraksi. Penelitian yang telah dilakukan oleh Ghiffari (2013) berhasil mendapatkan ekstrak brazilin sebesar 6,1% melalui ekstraksi secara maserasi menggunakan pelarut methanol selama 24 jam pada suhu kamar. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Wetwitayaklung dkk (2005) dengan melakukan ekstraksi secara maserasi terhadap kayu secang diperoleh ekstrak brazilin 11,1% dengan pelarut $\text{CH}_3\text{OH}:\text{CH}_2\text{Cl}_2$ (1:0), 11,9% dengan pelarut $\text{CH}_3\text{OH}:\text{CH}_2\text{Cl}_2$ (3:1) dan 8,66% dengan pelarut $\text{CH}_3\text{OH}:\text{CH}_2\text{Cl}_2$ (1:3) dengan waktu ekstraksi selama 7 hari pada suhu kamar.

Adapun kualitas dari ekstraksi dipengaruhi oleh solven yang digunakan, prosedur ekstraksi dan bahan baku serta suhu dan waktu (Vijay dkk, 2012). Semakin rendah suhu ekstraksi maka waktu yang dibutuhkan semakin lama, sedangkan apabila suhu ekstraksi ditingkatkan maka waktu yang dibutuhkan menjadi lebih cepat karena daya larut bahan yang diekstraksi meningkat. Akan tetapi, brazilin memiliki kepekaan terhadap pemanasan. Oleh karena itu, perlu dilakukan kontrol yang baik agar brazilin dapat terekstraksi dalam jumlah yang banyak dan kondisinya baik.

Ekstrak brazilin dalam bentuk cair sangat mudah mengalami degradasi warna dan memiliki masa simpan yang singkat. Oleh karena itu, untuk meningkatkan masa simpan dan kestabilan warna pada brazilin perlu dilakukan pengeringan.

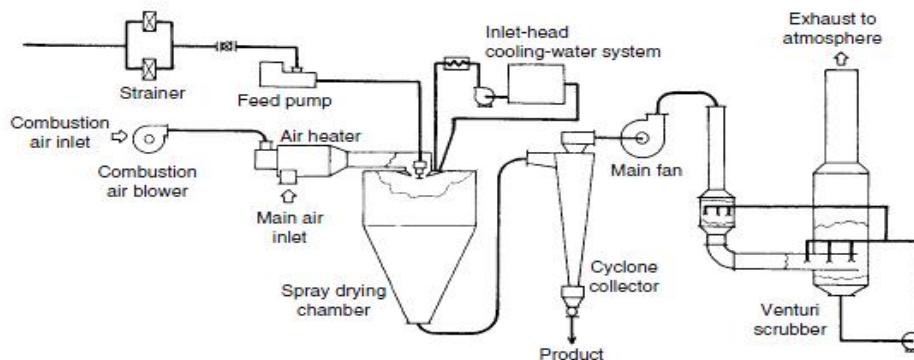
7.2. Pengeringan Ekstrak Secang dengan Spray Drying

Spray drying merupakan teknologi yang paling banyak digunakan untuk pembuatan bubuk atau serbuk di industri. *Spray drying* merupakan suatu teknik membuat partikel solid dari suspensi menggunakan alat atomisasi cairan untuk membuat *droplets* yang kemudian dikeringkan menjadi partikel dalam satu tahap operasi. Partikel dikeringkan menggunakan medium pengering berupa gas panas, biasanya udara. *Spray drying* merupakan suatu unit operasi yang bekerja secara kontinyu, dengan kapasitas produksi yang besar dan merupakan teknik yang efisien untuk memproduksi partikel berbentuk *spherical* atau *hollow* dengan distribusi partikel yang relatif seragam.

Penambahan *carrier agent* ke dalam larutan merupakan hal yang penting dalam proses *spray drying*, karena akan memberikan pengaruh terhadap karakteristik bubuk dan stabilitas produk. Karbohidrat dengan berat molekul tinggi seperti pati/pati termodifikasi, maltodekstrin, gum arab, dekstrin dan siklodekstrin merupakan zat yang umum digunakan sebagai *carrier agent*. Salah satu fungsi utama dari penambahan *carrier agent* adalah untuk meningkatkan nilai dari *glass transition temperature* (Tg) produk, mengurangi kelengketan, mengurangi endapan pada dinding *spray dryer*, mengurangi kecenderungan aglomerasi selama pengeringan dan penyimpanan, serta mengurangi kekakuan produk dan menghasilkan produk yang lebih stabil.

Maltodekstrin merupakan salah satu jenis *carrier agent* yang sering digunakan dalam proses pengeringan menggunakan *spray dryer*. Maltodekstrin adalah produk hasil hidrolisa pati dengan menggunakan asam maupun enzim, yang terdiri dari campuran glukosa, maltosa, oligosakarida, dan dekstrin (Hidayanti 2013). Rumus umum maltodekstrin adalah $[(C_6H_{10}O_5)_nH_2O]$. Maltodekstrin memiliki *mouthfeel* yang lembut dan mudah dicerna. Sifat-sifat yang dimiliki maltodekstrin antara lain mengalami memiliki sifat daya larut yang tinggi, memiliki sifat membentuk *film*, membentuk sifat higroskopis yang rendah, memiliki sifat *browning* yang rendah, dapat menghambat kristalisasi dan memiliki daya ikat kuat.

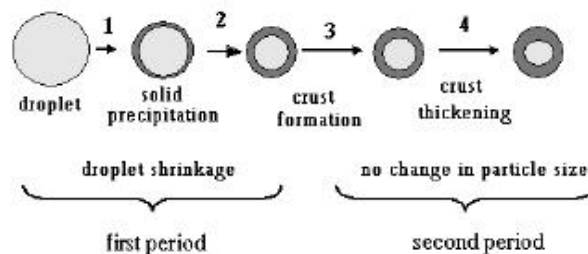
Menurut Filkova' dkk. (2006) secara umum proses pengeringan dalam *spray drying* meliputi 3 tahap, yaitu atomisasi umpan cairan menjadi *droplets*, pengeringan, pertemuan antara *droplets* dengan udara panas, dan terjadi evaporasi solven (biasanya air) dan separasi produk yang telah dikeringkan dari gas keluaran. Secara lebih detail, akan dijelaskan dengan Gambar 7.2. Cairan dipompakan dari *productfeed tank* menuju alat atomisasi yang berlokasi di area distribusi udara di atas *drying chamber*. *Drying air* diambil dari atmosfer atau lingkungan, melalui sebuah filter dengan dorongan *supply fan*. Lalu melewati pemanas udara atau *air heater* dan melalui *air distributor*. *Droplets* yang dihasilkan dari atomiser bertemu dengan udara panas, terjadi evaporasi cairan dan suhu udara pemanas turun, karena panas dipindahkan dari udara ke *droplets*. Hal tersebut terjadi secara bersamaan.



Gambar 7.2: Proses dalam *Spray Drying* (Filkova dkk., 2006)

Pada proses pengeringan tahap pertama, temperatur *droplet* berubah hingga mencapai temperatur *wet bulb*, yang dipengaruhi oleh kondisi operasi. Selama proses pengeringan tahap pertama, air (pelarut) terevaporasi sebagai cairan murni, dengan film uap jenuh menjadi satu-satunya resisten terhadap transfer massa dan panas antara gas dan *droplets*. Kemudian *droplet* mengalami pengecilan ukuran dan pengkonsentrasian padatan pada permukaannya searah dengan pergerakan *boundary*. Saat kandungan air pada *droplets* menjadi terlalu rendah untuk menjaga kondisi jenuhnya, padatan yang terlarut pada solven, akan terkumpul

di permukaan *droplet* membentuk lapisan berpori di sekitar *droplet* cairan. Proses diilustrasikan Gambar 7.3.



Gambar 7.3: Pengeringan Droplet menjadi Padatan pada Spray Dryer (Passos dan Birchall, 2010)

Tahap pengeringan kedua dimulai ketika lapisan berpori, menyelimuti seluruh permukaan *droplet*. Dalam kondisi tersebut, sudah tidak ada lagi *droplet*, namun berubah menjadi partikel yang terbentuk dari *wet core* (inti basah) dan lapisan berpori. Periode ini ditandai dengan penebalan lapisan ke dalam partikel, seiring dengan menurunnya laju pengeringan. Laju pengeringan mengalami penurunan akibat adanya transfer massa uap dari inti ke gas. Kemudian temperatur partikel akan meningkat dan cenderung mencapai keseimbangan termal dengan gas.

Setelah proses pengeringan dalam *chamber*, produk utama yang dikeringkan akan turun ke bagian bawah *chamber* dan mengikuti arah laju udara menuju. Partikel serbuk akan meninggalkan *cyclone* lewat bagian bawah, melewati *rotary valve* dan dikumpulkan. Partikel yang lebih kecil (yang lolos) akan mengikuti udara, dan terpisah melalui *scrubbers*. Udara melewati *scrubbers* dan keluar kembali ke atmosfer melalui *exhaust fan*.

7.3. Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan pada penelitian ini diawali dengan persiapan awal kayu secang yang meliputi tahap pencucian dan proses reduksi ukuran menjadi bentuk bubuk. Lalu dilanjutkan dengan proses ekstraksi zat brazilin yang terkandung dalam kayu secang menggunakan metode dekok pada suhu 90°C selama 30 menit. Pelarut

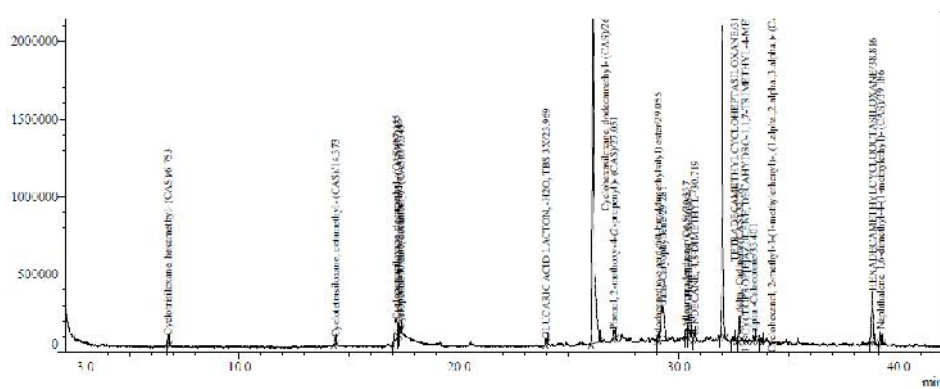
yang digunakan adalah air dengan perbandingan bahan dan pelarut 1:7. Kemudian hasil ekstraksi dianalisa menggunakan metode GCMS (untuk mengetahui jumlah kandungan brazilin dalam ekstrak), selanjutnya dilakukan penambahan maltodekstrin sebagai *carrier agent*, dan pengeringan pada hasil ekstraksi. Pengeringan dilakukan dengan metode spray drying menggunakan perlakuan suhu masuk udara pengering. Variabel yang diteliti dalam perlakuan ini adalah suhu udara masuk *spray dryer* yaitu 90, 100, 110°C dan komposisi maltodekstrin yang digunakan sebagai *carrier agent* yaitu 20 dan 30 %w/v. Parameter yang diamati antara lain: kadar brazilin hasil ekstraksi dan setelah proses pengeringan, kadar air dan ukuran partikel *ultrafine brazilin*, *yield ultrafine brazilin* yang dihasilkan, nilai kelarutan *ultrafine brazilin*, serta pengaruh pengeringan terhadap kemampuan pewarnaan dengan uji coba pada sampel makanan.

7.4. Hasil dan Pembahasan

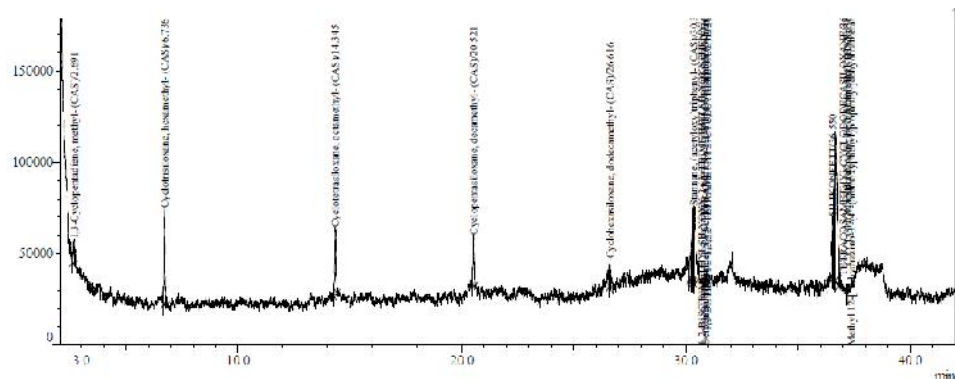
Pengaruh Proses Pengeringan Terhadap Kadar Brazilin

Pada Gambar 7.4. menunjukkan kadar brazilin dalam ekstrak kayu secang sebesar 84.45%. Jumlah kadar brazilin diperoleh dengan menghitung luas area dari peak yang mengandung gugus C-H-O yang menunjukkan keberadaan pigmen brazilin didalam ekstrak kayu secang. Struktur pigmen brazilin dapat muncul dalam bentuk rantai C₂-C₁₆ dan H₂-H₁₂ dengan molekul -O- didalamnya (Yang dan Choi, 2007). Analisa GCMS dilakukan pula ultrafine brazilin dengan suhu pengeringan 110°C. Dengan melakukan analisa pada produk hasil pengeringan dengan variabel suhu tertinggi maka dapat diperkirakan keberadaan pigmen brazilin pada suhu pengeringan dibawah 110°C. Hasil analisa GCMS ditunjukkan pada Gambar 7.5. Perhitungan luas area dari data analisa GCMS yang ditunjukkan Gambar 7.5. diperoleh kadar brazilin sebesar 68.37%. Hal ini menunjukkan adanya penurunan sebesar 19.04%. Terjadinya penurunan kadar brazilin tersebut dikarenakan terdapat degradasi pigmen brazilin akibat pemanasan. Berdasarkan penelitian Adawiyahdan Indriati (2003), pada suhu pengeringan 100°C terjadi laju degradasi pigmen brazilin sebesar 5.26×10^{-3} . Sehingga dengan pengeringan suhu 110°C

terjadi degradasi pigmen brazilin $>5.26 \times 10^{-3}$. Oleh karena itu, dengan terjadinya degradasi pigmen brazilin menyebabkan penurunan kadar brazilin pada produk ultrafine brazilin.



Gambar 7.4: Hasil analisa GCMS pada ekstrak kayu secang



Gambar 7.5: Hasil analisa GCMS pada ultrafine brazilin

Pengaruh Suhu Pengeringan Terhadap Kadar Air dan Ukuran Partikel

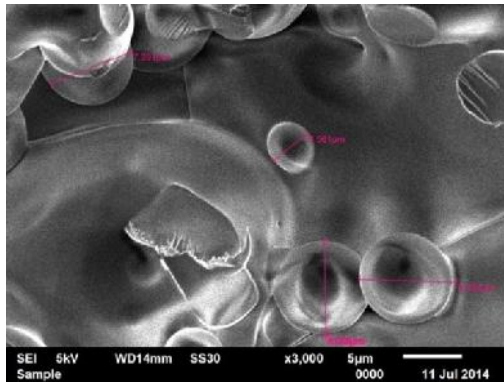
Hasil pada Tabel 7.2., menunjukkan bahwa kadar air pada produk ultrafine brazilin menurun seiring dengan peningkatan suhu pengeringan. Semakin tinggi suhu udara pengering maka *relative humidity* udara akan semakin rendah sehingga menyebabkan transfer panas dan massa antara udara dan larutan umpan akan semakin besar yang menyebabkan kadar air produk yang dihasilkan akan semakin

berkurang. Selain itu, penggunaan *carrier agent* berupa maltodekstrin juga mempengaruhi jumlah kadar air yang terdapat dalam ultrafine brazilin. Akan tetapi, pada Tabel 7.2 terlihat perbedaan kadar air akibat perlakuan penambahan *carrier agent* 20% w/v dan 30% w/v tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. *Carrier agent* yang digunakan adalah maltodekstrin dengan tingkat higroskopis sebesar 4,93% (Blancard dan Katz, 1995). Penggunaan maltodekstrin akan menurunkan tingkat higroskopis dari produk, namun demikian dari sifat maltodekstrin sendiri masih memiliki tingkat higroskopis tertentu. Sehingga dengan tingkat higroskopis sebesar 4,93% yang dimiliki oleh maltodekstrin, maka kadar air yang dimiliki oleh produk *ultrafine* brazilin tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan.

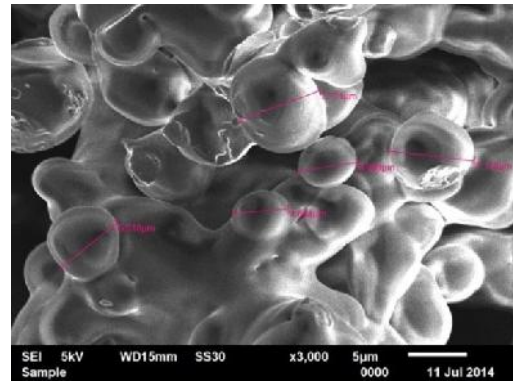
Tabel 7.2: Ukuran Partikel dan Kadar Air Ultrafine Brazilin

Suhu (°C)	Pengeringan	Ukuran Partikel (µm)	Kadar Air	
			<i>Carrier agent</i> 20%w/v	<i>Carrier agent</i> 30%w/v
90		3.561 – 8.204	0.12%	0.26%
100		4.684 – 7.178	0.12%	0.102%
110		1.535 – 2.380	0.103%	0.100%

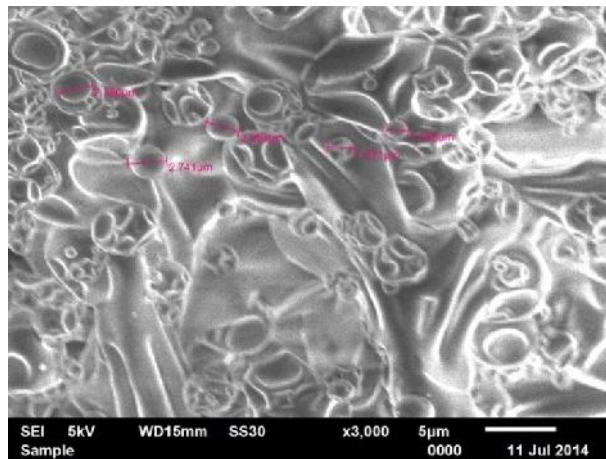
Kemudian dari analisa *Scanning Electron Microscope* (SEM) diperoleh ukuran partikel yang semakin kecil seiring dengan meningkatnya suhu pengeringan. Gambar bisa dilihat pada Gambar 7.6. Hal ini sejalan dengan teori kristalisasi dan evaporasi dimana evaporasi merupakan salah satu metode mencapai titik supersaturasi dalam proses kristalisasi. Semakin tinggi suhu operasi maka penguapan kadar air semakin besar yang menyebabkan produk kristal yang dihasilkan memiliki diameter yang semakin kecil (Desrosier, 1988). Pada berbagai penelitian sebelumnya, diperoleh ukuran diameter partikel berkisar 0.1 - 50µm. Sedangkan pada percobaan ini diperoleh bubuk brazilin dengan kisaran ukuran diameter 1-9 µm. Setelah dibandingkan dengan hasil penelitian yang telah dilakukan, kisaran ukuran diameter bubuk brazilin sesuai dengan ukuran bubuk yang digunakan sebagai pewarna alami.



Variabel suhu 90°C



Variabel suhu 100°C



Variabel suhu 110°C

Gambar 7.6: Hasil potret SEM perbesaran 3000x pada berbagai variabel suhu

Pengaruh Kondisi Operasi Proses Pengeringan Terhadap Yield Produk

Pada penelitian ini dilakukan pengeringan ekstrak kayu secang untuk mendapatkan produk *ultrafine* brazilin menggunakan metode *spray drying* dengan suhu pengeringan 90°C - 110°C dengan penambahan *carrier agent* 20%w/v dan 30%w/v. Dari hasil pengeringan diperoleh *yield ultrafine* brazilin sebesar 8.31%-12.36%, sehingga dapat diketahui bahwa telah terjadi *mass loss* hingga 90%. *Carrier agent* yang ditambahkan berupa maltodekstrin dengan nilai DE (*Dextrose Equivalent*) 20 dan T_g 141°C (Bhandari *et al*, 1997). Nilai T_g yang dimiliki oleh *carrier agent* ini berpengaruh terhadap jumlah *yield* yang dihasilkan. Semakin tinggi nilai T_g

maka mengurangi tingkat kelengketan (*stickiness*) dari produk yang dihasilkan (Samatha dan Deepa, 2014).

Langrish (2010) menyatakan bahwa proses kristalisasi menjadi bentuk padatan akan mengalami peningkatan saat temperatur berada diatas temperatur *glass-transition* dari partikel. Namun, proses pengeringan ekstrak kayu secang dilakukan pada rentang suhu 90°C - 110°C. Rentang suhu pengeringan yang dipilih ini, dibawah temperatur *glass transition* yang dimiliki oleh *carrier agent*. Hal tersebut menyebabkan terjadi kelengketan (*stickiness*) dari produk *ultrafine* brazilin yang dihasilkan. Pada produk *ultrafine* brazilin terjadi adesi yang menyebabkan produk menempel pada dinding *cyclone spray dryer* sehingga menimbulkan adanya *mass loss* yang cukup tinggi dari *yield* yang diperoleh. Selain itu proses kristalisasi tidak dapat berjalan dengan sempurna, sehingga terdapat larutan umpan yang belum mengalami pengeringan droplet secara merata. Oleh karena itu jumlah *mass loss* yang terjadi cukup tinggi.

Pengaruh Kondisi Operasi Proses Pengeringan Terhadap Solubility Produk

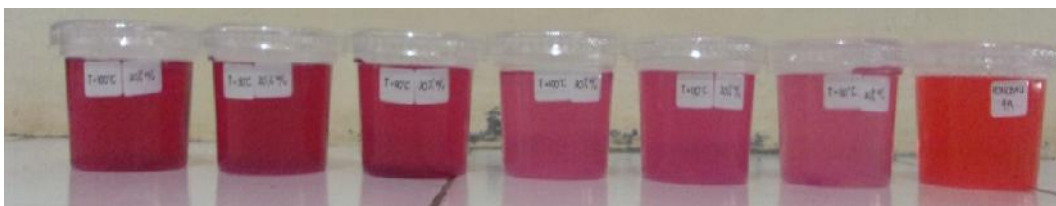
Dari hasil percobaan diperoleh kelarutan dari *ultrafine* brazilin berkisar dari 80%-86.4% (Tabel 7.3). Adapun hasil kelarutan terbaik terdapat pada variabel suhu 100°C dengan penambahan 30%w/v maltodekstrin yaitu dengan kelarutan 86,4%. Penambahan maltodekstrin yang semakin tinggi memberikan kelarutan terhadap air yang semakin tinggi pula. Hal ini dikarenakan dengan semakin besar penambahan maltodekstrin maka meningkatkan higroskopis produk sehingga kelarutannya pun akan meningkat (Truong *et al.*, 2005 dalam Bhandari *et al.*, 2013). Maltodekstrin dapat larut dalam air dengan sempurna sehingga dapat melepaskan *flavor* dengan cepat pada aplikasi tertentu. Selain itu hal ini juga dipengaruhi oleh sifat polar yang dimiliki oleh pigmen brazilin baik dalam air panas maupun air dingin (SEAFast Center, 2012). Dengan persen kelarutan yang tinggi maka akan memberikan hasil pewarnaan yang baik pada makanan.

Tabel 7.3: Kelarutan Ultrafine Brazilin Terhadap Air

Suhu	Solubility Carrier agent 20%w/v	Carrier agent 30%w/v
90°C	80.6%	80.0%
100°C	81.8%	86.4%
110°C	80.4%	81.4%

Pengaruh Proses Pengeringan Terhadap Kemampuan Pewarnaan

Pada penelitian ini dilakukan pengujian pewarnaan produk ultrafine brazilin pada makanan dengan menambahkan produk ultrafine brazilin ke dalam jeli. Kemudian, produk jeli hasil pewarnaan dari ultrafine brazilin dibandingkan dengan produk jeli dengan menggunakan pewarna makanan sintetis. Jumlah pewarna yang ditambahkan ke dalam produk jeli disesuaikan dengan peraturan BPOM No. 37 Tahun 2013 tentang Batas Maksimum Penggunaan BTP Pewarna. Pada peraturan tersebut menyatakan bahwa jumlah penambahan pewarna alami memiliki batas maksimum 500 mg/kg dan penambahan pewarna sintetis memiliki batas maksimum 70 mg/kg. Batas maksimum ini kemudian diterapkan pada pengujian pewarnaan ini. Adapun hasil pengujian pewarnaan dapat dilihat pada Gambar 7.7. Kemudian dilakukan pengamatan selama 3 hari (72 jam) pada produk jeli tersebut. Setelah mencapai waktu 72 jam terjadi perubahan warna yang dapat dilihat pada Gambar 7.8.



Gambar 7.7: Hasil Pengujian Pewarnaan Pada Jeli



Gambar 7.8: Hasil Pengujian Pewarnaan Pada Jeli Setelah 72 Jam

Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa stabilitas pewarnaan kayu secang cukup baik karena mampu bertahan mencapai 72 jam. Namun, pada Gambar 7.8 terlihat bahwa setelah waktu 72 jam diketahui warna pada produk jeli berubah menjadi bening. Hal ini dikarenakan ketika pigmen terpapar cahaya dan udara lebih lama, akan menyebabkan pigmen brazilin yang ada teroksidasi lagi (fotooksidasi) yang membuat pigmen menjadi tidak stabil dan berpengaruh terhadap ketahanan warnanya. Menurut penelitian yang telah dilakukan Sinsawasdi (2012), proses penyimpanan pada suhu kamar dan terpapar cahaya dengan pH 7, terjadi perbedaan warna (*color differences*) (*E*) yang cukup signifikan yang awalnya 0,0 menjadi 50,60 selama kurun waktu 35 hari dengan warna yang berubah menjadi bening.

Selain itu perlu diperhatikan penggunaan panas terhadap pemakaian pewarna, untuk mencegah pigmen brazilin terdegradasi. Pigmen kayu secang pada pH 7 jika dipanaskan pada suhu 40°C dan 60°C selama 8 jam, suhu 100°C selama 1 jam dan suhu 121°C selama 15 menit, relatif tidak stabil (Ramdhan dan Maharani, 2003).

7.5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat diambil kesimpulan bahwa pengeringan pada suhu 90°C, 100°C dan 110°C menunjukkan adanya penurunan kadar air dan penurunan ukuran partikel pada *ultrafine brazilin* seiring dengan bertambahnya suhu pengeringan. Perbedaan kadar air akibat perlakuan penambahan *carrier agent* maltodekstrin 20% w/v dan 30% w/v tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Namun, penambahan jumlah *carrier agent* berpengaruh terhadap yield *ultrafine brazilin* yang dihasilkan. Yield *ultrafine brazilin* yang diperoleh dari proses pengeringan sebesar 8.31%-12.36%. Kelarutan dari *ultrafine brazilin* yang diperoleh berkisar dari 80%-86.4%. Sehingga dari angka kelarutan tersebut menunjukkan *ultrafine brazilin* layak digunakan sebagai pewarna makanan. Selain itu, pada uji kemampuan pewarnaan pada makanan jeli didapatkan hasil bahwa pewarna dapat bertahan selama 72 jam.

DAFTAR PUSTAKA

- Adawiyah, D.R.; Indriati, (2003)., *Color Stability of Natural Pigment from Secang Woods (Caesalpinia sappan L.)*, Proceeding of the 8th Asean Food Conference; Hanoi 8-11 Oktober .
- BPOM, RI (2013). *Acuan Sediaan Herbal*, Volume: Kelima, Jakarta: Deputi Bidang Pengawasan Obat Tradisional, Kosmetik dan Produk Komplemen Direktorat Obat Asli Indonesia.
- Bhandari, B.; Bansal, N.; Zhang, M.; Schuck, P. (2013). *Handbook of Food Powders: Processes and Properties*, Woodhead Publishing Limited.
- Bhandari, B.R.; Datta, N.; T Howes, T. (1997). *Problem Associated with Spray Drying of Sugar – Rich Foods*, *Drying Technology*, 15(2): 671-684.
- Blancard, P.H.; Katz, F.R. (1995). *Starch Hydrolysis in Food Polysaccharides and Their Application*, Marcell Dekker, Inc. New York.
- Desrosier, N.W. (1988). *Teknologi Pengawetan Pangan*, Jakarta: UI Press.
- Filkova, I.; Huang, L.X.; Mujumdar, A.S. (2006). *Handbook of Industrial Drying: Industrial Spray Drying Systems*, Edisi Ketiga, Taylor & Francis Group, LLC, ISBN: 978-1-4200-1761-8.
- Ghiffari, M.A.T. (2013). *Metode Cepat Penentuan Brazilin dalam Produk Jamu dan Kayu Secang Menggunakan Spektrofotometri Derivatif Ultraviolet*, Bogor: Departemen Kimia Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Pertanian Bogor.
- Hidayanti, H.S. (2013). *Modifikasi Tepung Sukun (Artocarpus altilis) Menjadi Maltodekstrin dengan Menggunakan Alat Reaktor Enzimatis dan Penambahan Enzim -amilase*, Semarang: Program Studi Diploma III Teknik Kimia Universitas Diponegoro.
- Holinesiti, R. (2009). *Studi Pemanfaatan Pigmen Brazilein Kayu Secang (Caesalpinia sappan L.) sebagai Pewarna Alami serta Stabilitasnya pada Model Pangan*, *Jurnal Pendidikan dan Keluarga UNP*, 1(2):11-21.
- Kim, D.S.; Baek, N.I.; Oh, S.R.; Jung, K.Y.; Lee, I.S.; Lee, H.K. (1997). *NMR Assignment of Brazilein*, *Phytochemistry*, 46: 177–178.
- Langrish, T.A.G. (2010). *Spray Drying and Crystalization, Volume One*, ISBN - 978-981-08-6270-1, pp 61-73, Singapura.
- Passos, M.L.; Birchall, V.S. (2010). *Spray Drying Technology: Manipulating Physical Properties of Powder, Volume One*, Singapore, ISBN - 978-981-08-6270-1, pp. 37-60.
- Ramadhan, T.; Maharani, K. (2003). *Stabilitas Pigmen Kayu Secang (Caesalpinia sappan L.) Sebagai Pewarna Alami*, *Prosiding Seminar Nasional Peningkatan Daya Saing Pangan Tradisional*, Hal 110-115.
- Samatha, S.; Deepa, D. (2014). *A Review on Spray Drying: Emerging Technology in Food Industry*, *International Journal of Applied Engineering and Technology*, vol 4, no 1, ISSN: 2277-212X.
- SEAFASST. (2012). *Kuning Merah Secang*, SEAFASST Center: Pewarna Alami untuk Pangan.
- Sinsawasdi, V.K. (2012). *Sappanwood Water Extract: Evaluation of Color Properties, Functional Properties, and Toxicity*, Florida: Program Doktor Filosofi, University of Florida.

- Vijay, K.; Ankit, G.; Madhu, N. (2012). *Modern Extraction Methods for Preperation of Bioactive Plant Extracts*, International Journal of Applied and Natural Science, vol 1, no 1, pp. 8-26.
- Wetwitayaklung, P.; Phaechamud, T.; Keekitchai, S. (2005). *The Antioxidant Activity of Caesalpinia sappan L. Heartwood in Various Ages*, Naresuan University Journal, 13(2): 43-52.
- Yang, H.O.; Choi, Y.H. (2007). *A Mass Production Method of Brazilein from Caesalpinia Sappan L.*, Patent Cooperation Treaty (PCT) WO 2007/066926 A1.

***) Draft ini sudah terpublikasi oleh Arianti Nur Annisa, Dewi Ayu Novita, M. Djaeni, dengan judul Produksi *Ultrafine* Brazilin Berbahan Dasar Kayu Secang (*Caesalpinia sappan L*) Secara Ekstraksi Dilanjutkan Pengeringan. Melalui *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, Vol. , No. , Tahun 2014, Halaman xx- xx. Online di: <http://ejournal-s1.undip.ac.id/>**

BAB VIII

PENGERINGAN BAWANG MERAH*

8.1. Pendahuluan

Bawang merah banyak digunakan sebagai bumbu masak atau pelengkap makanan, maupun sumber minyak esensial untuk cita rasa makanan, serta antioksidan. Segment pengguna adalah perorangan sebagai kebutuhan makanan pelengkap dan bumbu, maupun industri makanan (mie instant), serta farmasi. Pada tahun 2012, kebutuhan bawang merah nasional mencapai 830.000 ton, sedangkan produksi bawang merah nasional mencapai 950.000 ton (Apriyanto dkk, 2013). Dengan produksi yang besar ini bawang merah merupakan salah satu hasil panen yang berpotensi ekspor.

Pada kondisi normal harga bawang merah berkadar air 80%, pada pengecer di Pulau Jawa antara Rp 12.000 – 14.000/kg. Sedangkan harga di luar Pulau Jawa harganya lebih tinggi 20 – 40%, tergantung sulit tidaknya daerahnya dijangkau. Harga pada tingkat petani juga bervariasi antara Rp 7.000 - 10.000/kg yang sangat dipengaruhi oleh kecerahan dan kadar air (Triyono dkk, 2010; Kemendag, 2013). Pada saat cuaca mendung atau hujan, kadar air dalam bawang merah akan tinggi (87-89%). Tingginya kadar air, akan menyebabkan penyusutan ketika distribusi, timbulnya jamur, dan tunas, serta pembusukkan (Anonim, 2013; Opara dan Mejia, 2003). Sehingga harga jual akan jatuh dibawah Rp 6.000/kg (Triyono dkk, 2010; Kemendag, 2013).

Kendala utama yang dihadapi petani bawang merah dalam negeri adalah proses pasca panen, dimana setelah panen bawang perlu pengeringan dan pematangan (curing). Pengeringan bertujuan untuk menurunkan kadar air daun dan lapisan kulit luar menjadi <12%. Dengan daun dan lapisan luar berkadar air rendah, maka akan melindungi umbi lapis bagian dalam dari dehidrasi, aktifitas mikroorganisme, dan mencegah timbulnya tunas. Proses pengeringan akan mengurangi 5-8% kadar air

total. Adapun pematangan (curing) bertujuan agar warna kulit bawang menjadi merah dan menarik (Anonim, 2013; Opara, 2003).

Pada saat ini pengeringan bawang merah dilakukan dua cara yaitu pengeringan sinar matahari dan modern dengan pemanas buatan. Pengeringan matahari sangat dipengaruhi oleh cuaca baik kontinuitas maupun kualitasnya (Abdel-Galil dkk, 2009; Djaeni dkk, 2009). Pada musim panas mampu menghasilkan bawang merah dengan kadar air kulit luar 12-14% (kadar air total umbi 80%) dalam waktu 1-2 hari. Sedangkan pada musim hujan proses pengeringan terhambat, dan bawang menjadi menjamur, yang berakibat turunnya harga jual. Sementara pengering, seperti yang dilakukan oleh para peneliti, masih boros energi (efisiensi kurang lebih 50%), serta menghasilkan produk dengan kualitas warna dan nutrisi yang lebih rendah (Astuti, 2008; Gabel dkk, 2006; Abasi dkk, 2009).

Proses pengeringan adsorpsi dengan zeolite menjadi suatu pilihan untuk bawang merah. Pada sistem ini udara sebagai media pengering dikontakkan dengan zeolite (adsorben air tidak beracun). Akibatnya: kadar air udara akan turun menjadi 0.1-0.2 ppm. Udara berkadar air rendah ini akan meningkatkan *driving force* pengeringan, sehingga proses menjadi lebih cepat, dan efisien pada suhu operasi yang rendah (40-50°C). Pengeringan cepat pada suhu rendah ini, akan mengurangi kerusakan tekstur dan nutrisi bawang merah, serta menghemat panas (Van Boxtel dkk, 2008; Djaeni dkk, 2009). Sementara itu sumber pemanas dengan biomasa (sekam padi) adalah untuk menghemat biaya dan mengefektifkan penggunaan bahan bakar terbarukan. Dengan demikian kemandirian energi dalam penanganan pasca panen akan terealisasi. Saat ini proses pengeringan konvensional dengan bahan bakar solar menyedot biaya kurang lebih Rp 250/kg bawang. Dengan sekam nilai tersebut ditargetkan dapat ditekan menjadi Rp 150/kg bawang kering.

Kegiatan ini bertujuan merancang sistem pengering yang efisien dan hemat energi untuk petani bawang merah. Model ini diharapkan kualitas dan kontinuitas produk bawang dapat terjaga, serta mampu menekan biaya pasca panen, sehingga harga bawang merah menjadi lebih kompetitif. Program ini sejalan Rencana Induk Penelitian Universitas Diponegoro yang menekankan ketahanan pangan.

8.2. Tinjauan Pustaka

8.2.1. Prinsip Dasar Sistem Pengeringan

Secara umum proses pengeringan terdiri dari dua langkah proses yaitu penyiapan media pengering (udara) dan proses pengeringan bahan. 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 [7, 12]. Pada proses ini terjadi dalam 3 tahapan, yaitu: pemanasan pendahuluan, pengeringan dengan kecepatan konstan (*Constant Rate Periode*), dan pengeringan dengan kecepatan menurun (*Falling Rate Periode*) (Djaeni dkk, 2009; Kiranoudis dkk, 1996; Boss dkk, 2004).

8.2.2 Pengeringan Adsorpsi

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, 2009; Revilla dkk, 2006; Alikhan dkk, 1992). Pada metode ini udara dikontakkan dengan adsorben pada unit adsorber sehingga air akan terserap dengan melepas panas. Oleh karena itu udara menjadi kering dan suhu udara naik sekitar 40-50°C, yang sangat cocok dan efisien untuk mengeringkan bahan-bahan yang tidak tahan suhu tinggi. Sementara itu adsorben (penyerap) yang telah jenuh dengan uap air diregenerasi pada regenerator (Van Boxtel dkk, 2008 ; Revilla dkk, 2006).

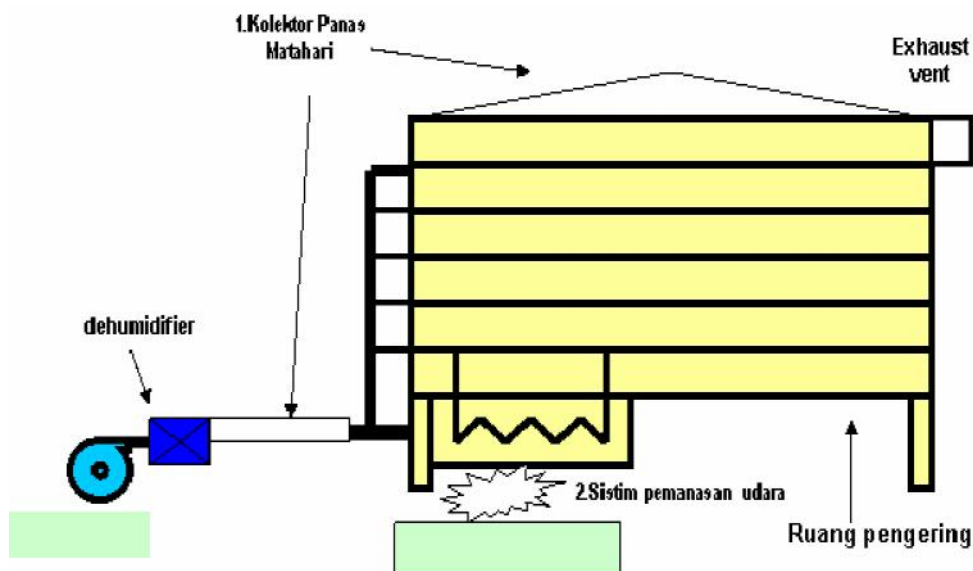
Zeolite adalah bahan berpori yang mengandung alumina dan silika dalam bentuk kristal (lihat gambar 4) dengan berat jenis antara 0.8-1.1 gr/cc. Dalam zeolite, rasio dari silika dan alumina selalu lebih dari 1. Karena berpori maka luas permukaan dari zeolite sangat besar yaitu antara 200-400 m²/gram. Hingga saat ini lebih dari 100 jenis zeolite telah disintesa dan dikembangkan, serta 40 jenis dapat ditemui dalam bentuk bentonit, modernit, clinoptilolite, dan lain-lain (Djaeni dkk, 2009). Zeolite dapat menurunkan air dari udara sampai kadar 0.1 ppm (dew point -50° C)

dengan kapasitas penyerapan sampai 20-30% dari total beratnya (Djaeni dkk, 2009). Artinya setelah kandungan air dalam zeolite mencapai 30%, maka zeolite telah jenuh dan tidak dapat menyerap air lagi, sehingga perlu diregenerasi.

8.3. Metode

a. Sistem pengering adsorpsi dengan zeolite

Tujuan dari tahap ini adalah: merancang, mengkonstruksi dan mengevaluasi unjuk kerja sistem pengering bawang merah berbahan bakar sekam menggunakan media udara yang didehumidifikasi zeolite (lihat Gambar 8.1) untuk mengeringkan bawang merah yang diambil dari Brebes, Jawa Tengah. Aspek yang ditinjau adalah: pengaruh kondisi operasi (suhu, kelembaban udara, laju alir udara dan zeolite) terhadap efisiensi energi, lamanya pengeringan, serta mutu bawang merah (kadar air, kecerahan, dan nutrisi). Pada tahap ujicoba ini digunakan kapasitas demonstrasi unit 250 kg/batch yang mampu mengeringkan dari kadar air 88% menjadi 80% (pada kulit terluar 12%).



Gambar 8.1: Pengering bawang merah berbahan bakar sekam dengan zeolite

Cara kerja:

Udara luar dialirkan dengan blower kapasitas 20000 m³/jam diumpankan ke unit adsorber (misalkan kolom A) yang berisi zeolite 20 kg zeolite. Akibatnya kelembaban udara turun menjadi 0.1-0.2 ppm dan suhu udara mengalami kenaikan 5-10°C. Udara kering ini dipanaskan pada HE01 dengan sumber pemanas matahari atau sekam untuk mengeringkan bawang merah dalam pengering. Setelah waktu 1 jam, zeolite dalam kolom A akan jenuh air. Pada kondisi ini fungsi sebagai penyerap sudah tidak dapat dijalankan. Oleh karena itu, proses penyerapan udara dialihkan ke kolom B, sedangkan zeolite dalam kolom A diregenerasi dengan pemanasan.

b. Perhitungan Efisiensi Energi

Efisiensi energi (%) dihitung sebagai berikut [7]:

$$y = \frac{Q_{evap}}{Q_{intr} - Q_{rec,max}} 100\% \quad (1)$$

Q_{evap} adalah panas untuk menguapkan air dari produk (kJ) berdasarkan kelembaban udara masuk dan keluar pengering ($q_{v,d}^{in}, q_{v,d}^{out}$), dan laju alir udara kering masuk ($F_{a,d}$ dalam kg/jam diturunkan dari pengukuran F1) . Sehingga total panas untuk menguapkan air adalah :

$$Q_{evap} = \int_{t=0}^{t=tf} F_{a,d} \Delta H_{evap} (q_{v,d}^{out} - q_{v,d}^{in}) dt \quad (2)$$

Dimana harga kelembaban udara ($q_{v,d}^{in}, q_{v,d}^{out}$) diperoleh dari T-RH2 and T-RH3.

Q_{intr} adalah total panas dari utilitas (pemanas) yang diintroduksi dalam sistim (kJ) yang dihitung sebagai berikut:

$$Q_{intr} = Q_{HE,02} + Q_{reg, zeolite} \quad (3)$$

$$Q_{pemanas} = F_{a,d} (c_{p,air} + q_{v,d}^{in} c_{p,v}) (T_d - T_{a,ads}) tf \quad (4)$$

$Q_{HE,01}$, $Q_{reg, zeolite}$ adalah panas untuk menaikkan suhu udara TH1 (kJ), dan untuk meregenerasi zeolite dalam (kJ); $c_{p,air}$, $c_{p,v}$ adalah panas spesifik udara dan uap air (kJ/kg°C); T_d , $T_{a,ads}$ adalah suhu masuk dan keluar pengering (°C).

c. Optimalisasi Proses Pengeringan

Variasi percobaan dilakukan untuk mengetahui pengaruh: suhu, kelembaban dan kecepatan alir udara, serta berat zeolite dalam kolom terhadap waktu pengeringan (menit), efisiensi energi (%) dan kualitas bawang merah (Tabel 8.1). Dari variasi tersebut dan dengan pengembangan model matematika dapat diketahui kondisi pengeringan relatif baik dan efisien.

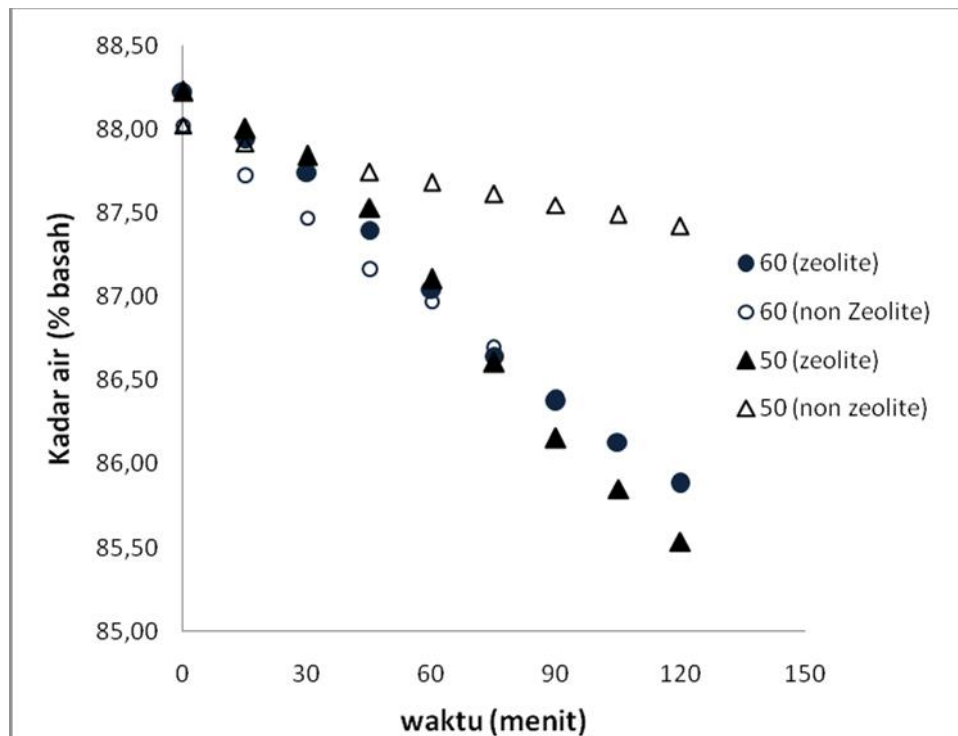
Tabel 8.1: Variasi variable proses pengeringan

Variabel bebas (input)	Variasi	
Laju alir air udara	2-10 m/det (step 2 m/det)	Efisiensi energi (%), Kadar air (%),
Suhu udara pengeringan	30-60°C, (step 10°C)	Waktu pengeringan (menit)
Berat zeolite	10-30 kg, (step 5 kg)	Mutu bawang merah
Kelembaban relative udara (%)	10-100% (step 10%)	(nutrisi, kadar air, kecerahan)
Berat bawang merah	100- 300 kg/batch (step 50 kg)	

8.4. Hasil dan Pembahasan

a. Pengaruh Suhu

Sistem pengering dengan zeolite telah dievaluasi unjuk kerjanya pada berbagai suhu. Pengeringan ini juga dibandingkan dengan pengeringan bawang tanpa zeolite pada kapasitas 2 kg/batch (Gambar 8.2). Hasil menunjukkan bahwa kecepatan pengeringan sebanding dengan kenaikan suhu udara. Hal ini dapat dimengerti sebab semakin tinggi suhu, kapabilitas udara dalam membawa atau pun menguapkan air dari bahan akan semakin meningkat. Selain pengaruh suhu, adanya zeolite juga meningkatkan driving force proses pengeringan, dimana adanya zeolite akan menurunkan kelembaban udara. Dengan udara berkelembaban rendah, proses perpindahan masa air dari bahan ke udara akan semakin tinggi. Penelitian ini juga sejalan dengan penelitian sebelumnya, dimana kenaikan suhu akan meningkatkan kecepatan penguapan air dari bahan ke udara.

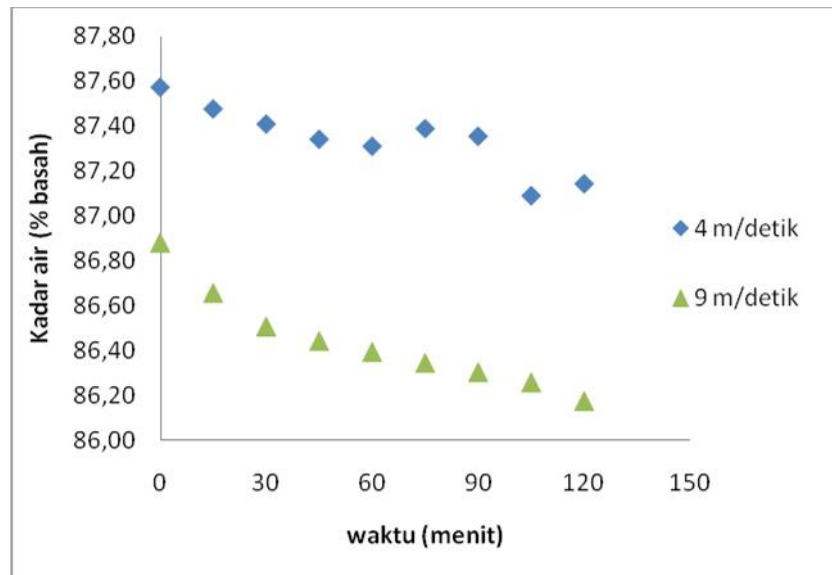


Gambar 8.2: Pengaruh suhu dan zeolite terhadap pengeringan bawang, pada laju udara 4 meter/detik

b. Pengaruh laju udara

Pada pengeringan ini, laju udara divariasi pada kecepatan 4, dan 9 meter/detik, untuk pengeringan dengan zeolite. Hasil menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan udara, kecepatan pengeringan semakin tinggi (Gambar 8.3). Dari grafik terlihat bahwa walaupun inisiasi kadar air sedikit berbeda, namun jika dihitung secara gradien berdasarkan kadar air total diuapkan selama 120 menit, nampak bahwa pada laju 9 meter/detik penguapan air rata-rata 0.006%/menit, sedangkan pada laju 4 meter/detik, laju penguapan air 0.004 %/menit. Hal ini sangat sesuai dengan teori, bahwa semakin tinggi udara kapabilitas untuk menguapkan air menjadi lebih tinggi, sehingga proses lebih cepat. Disini nampak bahwa kenaikan laju udara 2 kali lipat, tidak serta merta menaikkan kecepatan penguapan air dua kalinya. Hal ini disebabkan adanya pengaruh zeolite pada laju udara rendah akan memberikan pengurangan relatif humidity yang lebih besar (Tabel 8.2). Selain itu,

pengaruh kecepatan udara terhadap laju pengeringan juga ditentukan oleh similaritas udara.



Gambar 8.3: Pengaruh laju alir udara terhadap laju penguapan air

Tabel 8.2: Pengurangan air (%/menit) dengan waktu pengeringan 120 menit

Kecepatan udara (meter/detik)	Suhu, °C	Kadar air sebelum (%)	Kadar air setelah pengeringan (%)	Selisih kadar air	Kecepatan (%/menit)
4	40	87,57	86,72	0,85	0,007
7	50	88,23	86,96	1,27	0,011
9	60	88,23	86,82	1,41	0,012
4	40	88,23	87,62	0,61	0,005
7	50	88,02	87	1,02	0,009
9	60	85,49	83,93	1,56	0,013
4	40	86,88	86,13	0,75	0,006
7	50	86,88	85,96	0,92	0,008
9	60	80,63	79,53	1,1	0,009

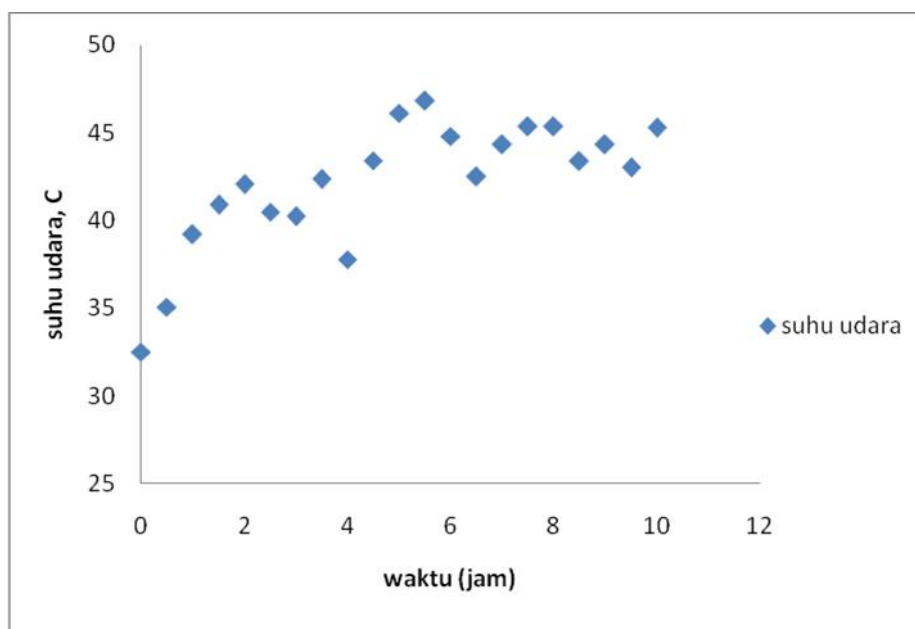
c. Evaluasi mutu bawang merah

Evaluasi telah dilakukan terhadap bawang hasil pengeringan yang terdiri dari uji protein, dan lemak. Komponen ini penting, terutama minyak karena merupakan nutrisi bawang, selain kadar vitamin dan antioksidan. Hasil menunjukkan bahwa dengan variasi suhu kadar minyak dalam bawang 0.5 - 1.0% tidak

mengalami perubahan pada suhu operasi 40 – 50°C. Demikian juga kadar protein tidak mengalami penurunan, terutama pada suhu operasi 40 - 50°C. Pada kondisi tersebut kadar protein berkisar antara 1.0 – 1.2 %. Pada kenaikan suhu yang besar, yaitu 60°C, protein mengalami sedikit penurunan yaitu rata-rata 0.9%. Hal ini dapat dimengerti, sebab pada kondisi ini protein sudah mulai mengalami denaturasi dengan reaksi browning (kecoklatan).

d. Ujicoba Skala Pilot

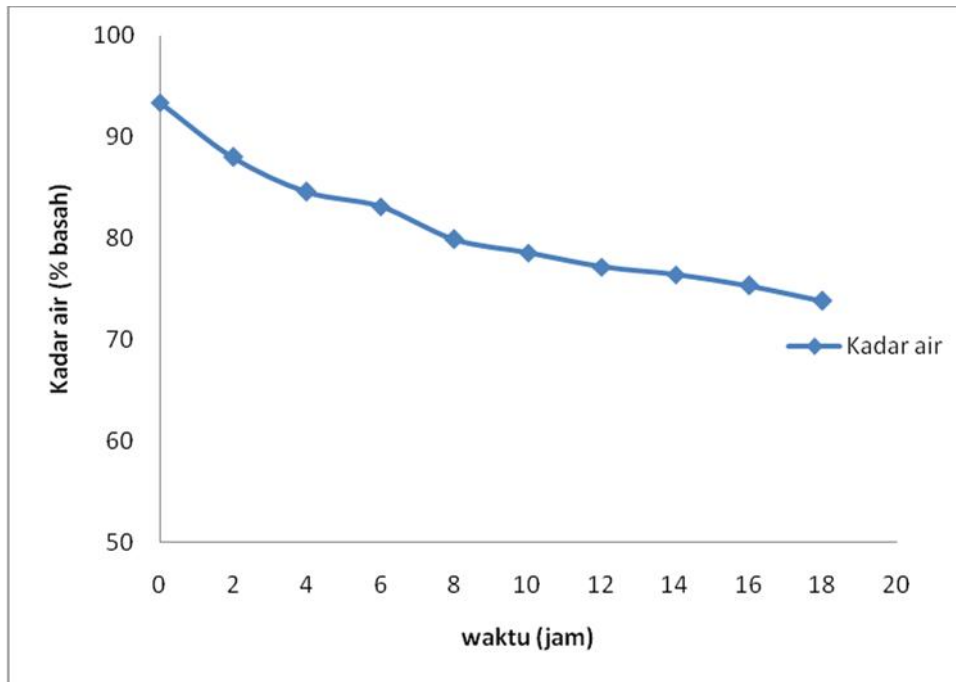
Pada skala besar telah dilakukan ujicoba dengan alat berkapasitas maksimum 200 kg/batch. Namun pada ujicoba ini hanya dilakukan pada kapasitas 50 – 120 kg bawang basah pada suhu 40- 50°C (Gambar 8.4). Tujuan dari pengeringan ini adalah, mengeringkan daun bawang sampai kadar air 15% atau dibawahnya. Sedangkan umbi bawang dijaga berkadar air 80 – 85%, dengan kadar air pada lapisan terluar sekitaar 15% (sama dengan daun). Umbi lapis bagian luar yang kering akan melindungi umbi bagian dalam, sehingga bawang tetap segar dan tidak busuk atau menjamur ketika disimpan.



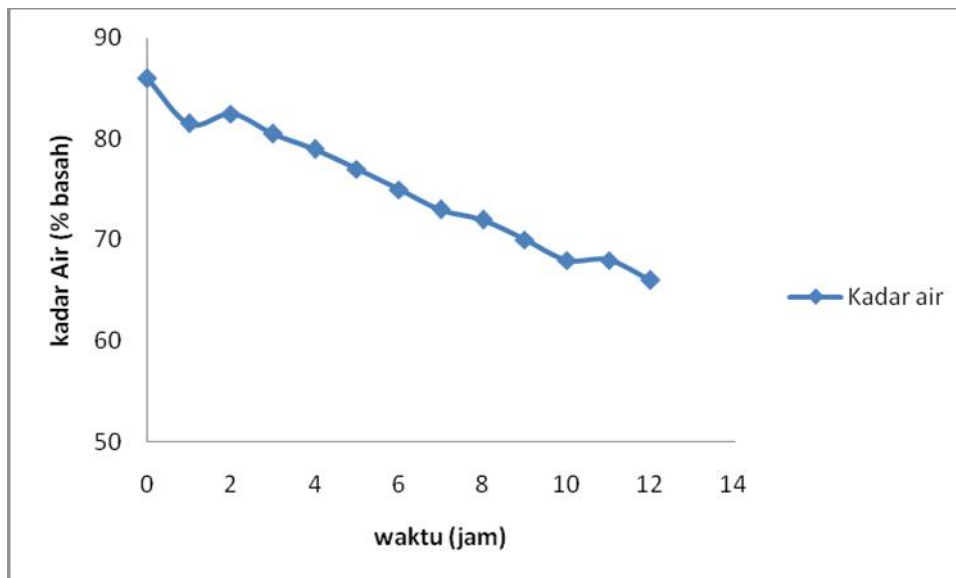
Gambar 8.4: Suhu udara masuk pengering

Pada proses skala pilot ini digunakan bahan bakar sekam, yang dipanaskan dalam furnace. Hasil menunjukkan bahwa dengan bahan bakar sekam, suhu udara yang masuk pengering dapat dijaga pada suhu 40 – 50°C (Gambar 8.4). Pengontrolan suhu dilakukan secara manual dengan mengatur udara primer masuk furnace, serta mengontrol laju udara, dan bahan bakar sekam diisikan secara periodik 2 kg/jam. Dari Gambar 8.4, nampak bahwa suhu udara dapat dijaga sesuai dengan kondisi operasi yang diinginkan. Untuk mencapai kondisi operasi tersebut diperlukan pemanasan awal minimal 0.5 jam, dan bahan bakar sekam dibakar dahulu dengan pemantik minyak tanah.

Kadar air total (umbi dan daun) dimonitor setiap 1 jam, sehingga didapatkan grafik, seperti pada Gambar 8.5. Dari hasil tersebut nampak bahwa penurunan kadar air total masih lambat (yaitu 1,2% per jam). Untuk penurunan kadar air umbi lapis bagian luar, penurunan ini sangat cukup. Karena untuk mencapai kadar air umbi 85%, atau umbi lapis luar 15%, diperlukan waktu kurang lebih 12 jam (hampir sama dengan pengeringan matahari). Namun pada kondisi ini, daun bawang tidak dapat sepenuhnya kering. Sebagai contoh setelah 18 jam, kadar air dalam daun bawang masih 60-70%. Lambatnya kecepatan pengeringan ini disebabkan oleh kecilnya aliran udara dalam tray dryer, dimana pada kecepatan linear yang ada hanya 0.7 meter/detik. Peningkatan yang cukup bagus ditunjukkan zeolite, sehingga proses pengeringan dapat lebih dipercepat dengan kecepatan 1.67%/jam. Pada proses pengeringan dengan zeolite, untuk mencapai kadar air rata-rata dalam umbi 85% diperlukan waktu kurang lebih 12 jam (Gambar 8.6). Adapun pengeringan daun membutuhkan waktu yang lebih lama, karena kadar air yang dicapai 15%.



Gambar 8.5: Kadar air bawang selama pengeringan dengan bahan bakar sekam tanpa zeolite

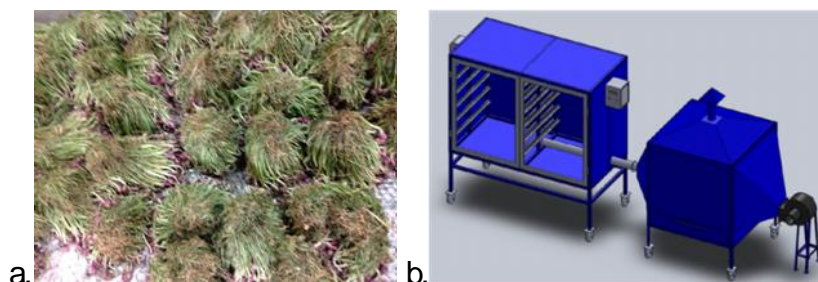


Gambar 8.6: Kadar air bawang selama pengeringan dengan bahan bakar sekam dengan zeolite

Efisiensi Energi

Evaluasi proses pengeringan telah dilakukan mulai dari kapasitas laboratorium sampai skala pilot. Hasil menunjukkan bahwa efisiensi proses pengeringan yang dirancang sangat positif walaupun belum dapat bersaing dengan sinar matahari. Sebagai contoh, untuk pengeringan 120 kg bawang basah diperlukan waktu 12 jam. Selama waktu 12 jam tersebut diperlukan sekam sebanyak 24 kg. Dengan panas pembakaran sekam 15 MJ/kg, maka energi yang tersedia sebesar 340 MJ. Dalam waktu 12 jam tersebut, pengering mampu menguapkan air dari 93% menjadi 75% (kurang lebih penurunan 18% basah). Artinya air yang menguap, sebesar 86,4 kg air menguap. Dengan panas penguapan air 2,5 MJ, maka energi yang diperlukan untuk menguapkan air sebesar 216 MJ. Efisiensi yang dicapai adalah $100\% \times (216/340)$, yaitu kurang lebih 60%. Efisiensi ini belum memperhitungkan energi untuk blower, serta memasukkan sekam ke furnace, serta membersihkan furnace, dan energi lainnya, seperti regenerasi zeolite.

Perbaikan sistem perlu dilakukan, antara lain dengan aliran udara yang lebih banyak ke pengering. Hal ini dapat dilakukan dengan memperbesar pipa yang masuk pengering. Dengan kecepatan udara minimal 2 meter/detik, proses penguapan air dari daun akan lebih cepat. Selain itu, suhu furnace yang tinggi dapat dimanfaatkan untuk meregenarasi zeolite, sehingga tidak diperlukan panas tambahan. Gambar 8.7 dan 8.8 adalah rangkaian alat yang telah berhasil didesain dan dikonstruksi. Alat ini telah diujicoba untuk bawang dari Brebes.



Gambar 8.7: Bahan Baku Bawang (a) dan Rancangan desain (b)



Gambar 8.8: Alat terpasang dengan kapasitas maksimum 200 kg/batch (a) yang dilengkapi furnace dengan bahan bakar sekam (b)

8.5. Kesimpulan

Dari skala penelitian laboratorium dengan memvariasi suhu dan laju alir udara pengeringan, kemudian percobaan di scale up dengan kapasitas yang lebih besar. Untuk pengeringan 120 kg bawang basah diperlukan waktu 12 jam. Dalam waktu 12 jam tersebut, pengering mampu menguapkan air dari 93% menjadi 75% (kurang lebih penurunan 18% basah). Artinya air yang menguap, sebesar 86,4 kg air menguap. Efisiensi yang dicapai adalah $100\% \times (216/340)$, yaitu kurang lebih 60%. Efisiensi ini belum memperhitungkan energi untuk blower, serta memasukkan sekam ke furnace, serta membersihkan furnace, dan energi lainnya, seperti regenerasi zeolite. Perbaikan sistem perlu dilakukan, antara lain dengan aliran udara yang lebih banyak ke pengering. Hal ini dapat dilakukan dengan memperbesar pipa yang masuk pengering. Selain itu, suhu furnace yang tinggi dapat dimanfaatkan untuk meregenerasi zeolite, sehingga tidak diperlukan panas tambahan. Dengan system ini, diharapkan proses akan berjalan dengan lebih efisien.

***Merupakan hasil penelitian KKP3SL 2014 kerjasama dengan BPTP Jawa Tengah
(atas nama Agus Susanto, Mohamad Djaeni, Ana Nurhasanah, Silvia Dewi Anom Sari)**

DAFTAR PUSTAKA

- Abasi, S.; M. Mousavi, S.M; M. Mohebi, M.; Kiani, S. (2009). Effect of Time and Temperature on Moisture Content, Shrinkage, and Rehydration of Dried Onion. *Iranian Journal of Chemical Engineering* 6(3), 57 – 70
- Abdel-Galil, H.S; Mourad, R.I.A, (2009). A Solar Dryer Performance of Onion Slices Under Fayoum Climatic Conditions. *Misr J. Ag. Eng.*, 26(2), 953- 976 6.
- Alikhan, Z; Raghavan, G.S.V.; Mujumdar, A.S. (1992). Adsorption drying of corn in zeolite granules using a rotary drum. *Drying Technology* , vol. 10 issue 3; 783-797
- Anonim, (2013). Proses Pengeringan dan Penyimpanan Bawang Merah. (<http://tutorialbudidaya.blogspot.com/> diakses tanggal 25 Januari 2013)
- Apriyanto, C; Hermi, S; Sulistiawati, S. (2013). Kebijakan Pemerintah Daerah Kabupaten Brebes Dalam Pemberdayaan Petani Bawang Merah. Universitas Diponegoro (<http://undip.ac.id/> diakses tanggal 20 Januari 2013)
- Astuti, S.M. (2008). Teknik Pengeringan Bawang Merah Dengan Cara Perlakuan Suhu dan Tekanan Vakum. *Buletin Teknik Pertanian* 13(2), 79 – 82
- Boss, E.A; Costa, N.A.; Rubens, M.F.; Eduardo, C.V.D. (2004). Freeze drying process: Mathematical model and simulation. *Proceedings of the 14th International Drying Symposium (IDS 2004)*, Sao Paulo, Brazil, 22-25 August; vol. A, 477-484
- Djaeni, M.; Bartels P.V.; Sanders J.P.M.; van Straten, G.; van Boxtel, A.J.B. (2009). Energy Efficiency of Low Temperature Multistage Adsorption Drying. *Journal of Drying Technology* 27(4)
- Gabel, M.M; Pan, Z, Amaratunga, K.S.P; Harris, L.J.; Thompson, J.F. (2006). Catalytic Infrared Dehydration of Onions. *Journal of Food Science* 71(9), E351 – E357
- Kemendag (2013). Informasi Harga Kebutuhan Pokok. (www.ews.kemendag.go.id, diakses tanggal 25 Januari 2013).
- Kiranoudis C.T.; Maroulis Z.B.; Marinou-Kouris D. (1996). Drying of solids: Selection of some continuous operation dryer types. *Computer & Chem. Eng.*; Vol. 20, Supplement 1, S177-182
- Opara, L.U.; Mejia, D, 2003. Onions: Post-Harvest Operation. Massey University, New Zealand
- 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*, vol. 24, issue 8, 1033-1038
- Triyono; Rosyadi, I; Ahyani, F. (2010). Efisiensi Pengelolaan Pasar Bawang Merah di Kabupaten Brebes. *Dinamika Sosial dan Ekonomi* 6(1), 1 – 15
- Van Boxtel, A.J.B., Bartels, P.V., Djaeni, M., Sanders, J.P.M., Van Straten, G. (2008). Assembly and Method for Drying a Product. *Internationale octrooiaanvraag PCT/NL2007/ 050578*, 133issue133ational number WO 2008/063059, 29 May 2008.

***Merupakan hasil penelitian KKP3SL 2014 kerjasama dengan BPTP Jawa Tengah
(atas nama Agus Susanto, Mohamad Djaeni, Ana Nurhasanah, Silvia Dewi Anom Sari)**

PENUTUP

Hasil berbagai literatur dan eksperimen yang telah dilakukan penulis, menunjukkan bahwa pengeringan dengan zeolite cukup prospektif dikembangkan. Walaupun demikian masih perlu dikaji terus secara intensif agar dapat diketahui betul kendala-kendala yang timbul dalam aplikasinya nanti. Sampai saat ini baru sedikit sekali aplikasi pengeringan yang menggunakan sistem adsorpsi ini, rata-rata dikarenakan regenerasi zeolitenya memerlukan suhu yang tinggi. Penelitian lanjutan perlu dilakukan berapa energi real yang digunakan untuk regenerasi, dan berapa energi yang dapat dimanfaatkan secara langsung untuk penguapan air pada proses pengeringan.

Perhitungan-perhitungan matematis telah dilakukan pada beberapa artikel dan buku yang ditulis oleh peneliti, namun demikian verifikasi lanjutan dalam praktek nyata perlu dilakukan terutama untuk mendesain demonstrasi unit yang dapat digunakan untuk percontohan industri dan UKM. Unit ini nantinya dapat digunakan untuk pembelajaran maupun pelatihan pihak-pihak yang memerlukan sekaligus sebagai promosi kemampuan peneliti UNDIP di bidang teknologi pengeringan.

Secara umum dapat dikatakan bahwa ide penggunaan zeolite ini telah memberikan inspirasi bagi pengembangan baru di dunia teknologi pengeringan. Dampaknya juga cukup signifikan karena hal ini juga akan merangsang modifikasi zeolite terutama dari alam Indonesia agar dapat sesuai digunakan dalam proses ini. Belum lagi perluasan aplikasi pada produk pertanian pangan dan tanaman obat, peternakan, dan perikanan, serta produk-produk yang sensitive terhadap panas menjadikan hasanah ilmu di dunia pengeringan berkembang.

Biodata Penulis Utama



Prof. (Asc). Dr. Mohamad Djaeni

Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Jl Prof. H. Soedarto, SH, Tembalang, Semarang, Indonesia

Email: m.djaeni@undip.ac.id

Terlahir di Kebumen, Jawa Tengah pada tanggal 7 Februari 1971, Mohamad Djaeni meniti karir sebagai dosen pada almamaterya yaitu Universitas Diponegoro setelah meraih gelar S1 bidang Teknik Kimia tahun 1995. Lima tahun kemudian, dia memperoleh gelar Master of Engineering dari UTM Malaysia. Pada tahun 2008, dia memperoleh gelar Doktor dari Wageningen University, Belanda untuk bidang Food Science, Processing and Drying. Sejak itulah kehidupan mulai berubah, dengan menekuni dunia teknologi pengolahan pangan dan pasca panen. Latar belakangnya di bidang Teknik Kimia sangat mempengaruhi ide dan gagasannya di bidang pangan terutama teknologi pengeringan. Ilmu-ilmu Teknik Kimia, yang terdiri dari fenomena perpindahan, adsorpsi, desorpsi, kinetika reaksi, proses dan produk desain, berhasil ditransformasikan untuk melakukan inovasi pengolahan pangan. Muncullah, multistage adsorption drying, mixed adsorption drying, dan air dehumidification untuk menurunkan kelembaban udara, sehingga proses pengeringan dapat berlangsung pada suhu yang lebih rendah, secara cepat dan efisien. Dengan suhu yang lebih rendah, tekstur, kandungan bahan aktif dan nutrisi pangan, menjadi lebih terlindungi selama pengeringan. Gagasannya telah diaplikasikan untuk pengeringan jagung, padi, ekstrak kayu secang, ekstrak bunga rosela, rumput laut dan karaginan. Dalam kurun waktu 7 tahun (sejak 2008), karayanya telah dipublikasikan dalam 11 papers Jurnal bereputasi internasional, 4 Jurnal Terakreditasi Nasional, dan 4 Buku Monograf (termasuk buku ini dan *book chapter*), Paten Internasional WIPO, serta lebih dari 30 makalah seminar nasional dan internasional (baik sebagai presenter, pembicara kunci atau undangan). Tahun 2009, dia mendapat penghargaan Dosen Teladan I UNDIP, dan Finalis Dosen Berprestasi Nasional. Pada tahun 2012, memperoleh penghargaan Award of Merit pada forum International Symposium on Processing and Drying of Foods, Vegetables and Fruits, Malaysia. Penghargaan terus berlanjut, yaitu memperoleh Silver Medal dari Perintis Malaysia, 2014. Karyanya juga telah didaftarkan Paten Indonesia, tahun 2014.

Biodata Penulis Utama



Prof. (Asc). Dr. Mohamad Djaeni

Dalam kurun waktu 7 tahun (sejak 2008), karayanya telah dipublikasikan dalam 11 papers Jurnal bereputasi internasional, 4 Jurnal Terakreditasi Nasional, dan 4 Buku Monograf (termasuk buku ini dan *book chapter*), Paten Internasional WIPO, serta lebih dari 30 makalah seminar nasional dan internasional (baik sebagai presenter, pembicara kunci atau undangan). Tahun 2009, dia mendapat penghargaan Dosen Teladan I UNDIP, dan Finalis Dosen Berprestasi Nasional. Pada tahun 2012, memperoleh penghargaan Award of Merrits pada forum International Symposium on Processing and Drying of Foods, Vegetables and Fruits, Malaysia. Penghargaan terus berlanjut, yaitu memperoleh Silver Medal dari Perintis Malaysia, 2014. Karyanya juga telah didaftarkan Paten Indonesia, tahun 2014. Penghargaan adalah penghargaan, yang penting bagaimana karyanya bisa diaplikasikan dan memberikan revolusi besar bagi perkembangan teknologi pangan industri.