



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

37929 / H / 10



MILIK PERPUSTAKAAN
ITS

RSK

664.4

Pam

S-1

2009

FINAL PROJECT - RK 1583

STUDY RATE OF DRYING SALT

GIGIH IMAN PAMUJI
NRP 2304 100 001

MOCH. FAUZI ANWAR
NRP 2304 100 124

Advisor
Ir. IGNATIUS GUNARDI, MT.

PERPUSTAKAAN
ITS

Tgl. Terima	20-8-2009
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	1460

Chemical Reaction Engineering Laboratory
CHEMICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty Of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute Of Technology
Surabaya 2009

LEMBAR PERSETUJUAN

Skripsi yang berjudul :

STUDI LAJU PENGERINGAN GARAM

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing

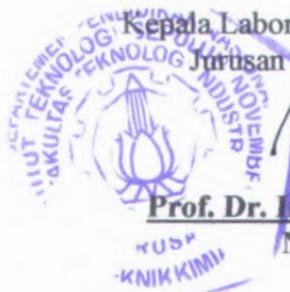


Ir. Ignatius Gunardi, M.T.

NIP. 131 409 100

Mengetahui,

Kepala Laboratorium Teknik Reaksi Kimia
Jurusan Teknik Kimia FTI – ITS



Prof. Dr. Ir. Achmad Roesyadi, DEA

NIP. 130 805 278

Penyusun,



Gigih Iman Pamuji

NRP. 2304 100 001



Moch. Fauzi Anwar

NRP. 2304 100 124

STUDI LAJU PENGERINGAN GARAM

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kimia
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

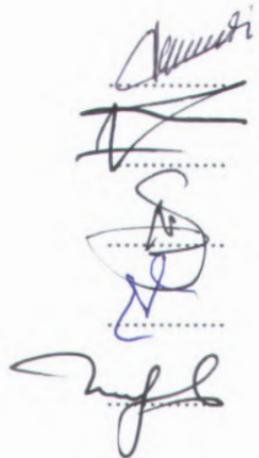
Oleh

Gigih Iman Pamuji
NRP.2304 100 001

Moch. Fauzi Anwar
NRP.2304 100 124

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir.

1. Ir. Ignatius Gunardi, M.T.
(Pembimbing I)
2. Prof. Dr. Ir. Ahmad Roesyadi DEA.
(Pembimbing II)
3. Ir. Farid Effendi, M.Eng
(Penguji I)
4. Ir. Rr. Pantjawarni Prihatini
(Penguji II)
5. Ir. Musfil AS, M.Eng.Sc.
(Penguji III)



SURABAYA
AGUSTUS, 2009

STUDI LAJU PENGERINGAN GARAM

Nama Mahasiswa : 1. Gigih Iman Pamuji
2. Moch. Fauzi Anwar
NRP : 1. 2304 100 001
2. 2304 100 124
Dosen Pembimbing : Ir. Ignatius Gunardi, MT.

ABSTRAK

Pengeringan pada garam dilakukan sebagai upaya akhir menentukan kualitas produk. Setelah sebelumnya dilakukan pencucian untuk menghilangkan pengotor-pengotor.

Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan karakteristik kurva pengeringan garam, menentukan pengaruh variabel penelitian terhadap rate pengeringan, dan mencari nilai koefisien transfer panas dalam penelitian.

Bahan yang digunakan adalah garam halus dengan ukuran 40-50 mesh, dan menggunakan tray dryer skala laboratorium. Pengeringan dilakukan pada tiga kondisi suhu udara pengering (70, 80, dan 90°C), tiga kondisi kecepatan udara (0.4, 0.7 dan 1 m/s) dan tiga kondisi ketebalan sampel (3, 5 dan 7 mm). Data yang diperoleh akan digrafikkan dengan berbagai acuan antara lain *drying rate*, *moisture content*, dan waktu.

Hasil yang didapatkan antara lain; pengaruh suhu sangat besar, rate pada suhu tertinggi 90°C (0,01792 gr/cm².jam) sampai dua kali nilai rate pada suhu terendah 70°C (0,08857 gr/cm².jam). Kecepatan udara pengering sedikit mempengaruhi kenaikan *rate* pengeringan, pada kecepatan 1 m/s (0,0108 gr/cm².jam) dibandingkan pada kecepatan terendah 0.4 m/s (0,0101 gr/cm².jam). Tebal sampel lebih berpengaruh pada waktu pengeringan, pada tebal 3 mm (540 menit), tebal 5 mm (760 menit) dan tebal 7 mm (870 menit)

Kata kunci : garam, pengering tray, *rate* pengeringan

STUDY RATE DRYING SALT

Name : 1. Gigih Iman Pamuji
2. Moch. Fauzi Anwar
Number : 1. 2304 100 001
2. 2304 100 124
Advisor : Ir. Ignatius Gunardi, MT.

ABSTRACT

Drying of salt was worked to determine the end quality of product. As before the salt was washed to eliminate impurities.

This research has goal to determine the curve characteristic of drying salt, determine an effect of research variable to drying rate, and looking for heat transfer coefficient.

Material that used (salt) has size 40-50 mesh, and drying at tray dryer of laboratory scale. There are some variables of drying conditions, three hot air temperature (70, 80, dan 90°C), three air speed (0.4, 0.7 dan 1 m/s), and three sample thickness (3, 5 dan 7 mm). Experiment data could be curved with some coordinate as drying rate, moisture content, and time.

Experiments result showing, temperature has crucial effect to drying rate, rate at highest temperature 90 °C (0,01792 gr/cm².jam) is twice than temperature 70 °C (0,08857 gr/cm².jam). Air speed take a little effect to raising the rate, at 1 m/s (0,0108 gr/cm².jam) than 0.4 m/s (0,0101 gr/cm².jam). Sample thickness has a great concern to determine drying time, not too much to drying rate, at 3 mm sample (540 minute), 5 mm (760 minute), and 7 mm (870 minute).

Keywords : salt, tray dryer, drying rate

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga kami dapat menyelesaikan skripsi kami dengan judul :

STUDI LAJU PENGERINGAN GARAM

Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar kesarjanaan di Jurusan Teknik kimia FTI-ITS. Pada kesempatan ini dengan kerendahan hati kami mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua dan keluarga kami yang telah memberikan segalanya yang tak mungkin tercantumkan dalam tulisan ini.
2. Bapak Prof.Dr.Ir. Ahmad Roesyadi, DEA. dan Bapak Ir. Kusnarjo, MT. selaku Dosen Wali kami
3. Bapak Ir. Ignatius Gunardi, MT. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir
4. Bapak Ir. Farid Effendi, M.Eng, Ibu Ir. Rr Pantjawarni Prihatini dan Bapak Ir. Musfil A.S.,M.Eng.Sc selaku Dosen Penguji
5. Bapak Prof. Dr. Ir. Ahmad Roesyadi, DEA. selaku Kepala Lab Teknik Reaksi Kimia
6. Bapak Dr. Ir. Kusno Budhikarjono, MT selaku Kasie Tugas Akhir Koordinator Tugas Akhir
7. Bapak Dr. Ir. Tri Widjaya M.Eng, selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia FTI - ITS
8. Seluruh Dosen dan Staff jurusan Teknik Kimia
9. Rekan-rekan "*TRK Crew*" yang senantiasa membantu selama penyelesaian skripsi ini
10. Rekan-rekan Lab Perpanmas tempat kami melakukan penelitian

11. “Partner” kami masing-masing (hunn lintang ‘n saudara ummatul) atas dukungannya selama ini
12. Pihak-pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu

Kami menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu, kami menerima saran dan kritik untuk perbaikan ke depan serta kami berharap penelitian dalam skripsi ini dapat bermanfaat. Amiin

Surabaya , Agustus 2009

Penyusun,

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	Hal
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
BAB I PENDAHULUAN	
I.1 Latar Belakang	I-1
I.2 Perumusan Masalah	I-3
I.3 Tujuan Penelitian	I-3
I.4 Manfaat Penelitian	I-3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
II.1 Garam dan Pengolahannya	II-1
II.1.1 Karakteristik Garam	II-1
II.1.2 Pengeringan Garam	II-2
II.2 Pengeringan	II-4
II.3 Metode Pengeringan	II-8
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
III.1 Variabel Penelitian	III-1
III.2 Persiapan Sampel	III-1
III.3 Peralatan Penelitian	III-1
III.4 Prosedur Percobaan	III-2
III.4.1 Tahap Persiapan	III-2
III.4.2 Tahap Pengamatan	III-2
III.5 Diagram Alir Penelitian	III-4
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
IV.4.1 Hasil Eksperimen	IV-1
IV.4.2 Pembahasan	IV-2
BAB V KESIMPULAN dan SARAN	
DAFTAR NOTASI	
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kelebihan dan Kekurangan Pengering <i>Tray Dryer</i> II-8	
Tabel 4.1 Kondisi pengeringan untuk sampel 3 mm	IV-1
Tabel 4.2 Kondisi pengeringan untuk sampel 5 mm	IV-1
Tabel 4.3 Kondisi pengeringan untuk sampel 7 mm	IV-2
Tabel 4.4.1 koefisien transfer panas sampel 3 mm	IV-21
Tabel 4.4.2 koefisien transfer panas sampel 5 mm	IV-23
Tabel 4.6 koefisien transfer panas sampel 7 mm	IV-25
TABEL B.1 Berat wadah percobaan	B-1
TABEL B.2 Kondisi Operasi Eksperimen Sampel 3 mm	B-1
TABEL B.3 Kondisi Operasi Eksperimen Sampel 5 mm	B-1
TABEL B.4 Kondisi Operasi Eksperimen Sampel 7 mm	B-2
TABEL B.5 Hasil Pengamatan Eksperimen Sampel 3 mm	B-3
TABEL B.6 Hasil Pengamatan Eksperimen Sampel 5 mm	B-6
TABEL B.7 Hasil Pengamatan Eksperimen Sampel 7 mm	B-9

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. proses pembuatan garam rakyat	II-3
Gambar 2.2. proses pembuatan garam didalam industri	II-3
Gambar 2.3. (a) karakteristik Pengeringan (b) laju pengeringan	II-6
Gambar 2.1 (a) kondisi wadah diam (b) arah aliran sejajar	II-8
Gambar 3.1 Skema Pengering <i>Tray</i> tunggal	III-3
Gambar 4.1 Drying rate v.s moist content, 7mm/ 70	IV-2
Gambar 4.2 Drying rate v.s time, 7mm/ 70	IV-3
Gambar 4.3. Drying rate v.s. moist content, 5mm/90	IV-4
Gambar 4.4. Drying rate v.s. time, 5mm/90	IV-5
Gambar 4.5. Drying rate v.s. moist content, 1m/s;80	IV-5
Gambar 4.6. Drying rate v.s. time, 1m/s;80	IV-6

BAB I PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Industri pengolahan garam tersebar merata di berbagai wilayah Indonesia, terutama daerah pesisir. Daerah yang terkenal dengan produksi garamnya adalah Jawa Timur, terutama Pulau Madura. Kebutuhan garam nasional setiap tahun cukup besar dan hampir 70% atau sekitar 1 juta hingga 1,2 juta ton setiap tahun disuplai dari Propinsi Jawa Timur.

Hasil produksi dan kebutuhan garam secara nasional, pada periode 1999 s.d. 2003 ditampilkan dalam tabel berikut :

NO	PROVINSI PROVINCE	LUAS AREAL (Ha) AREA	PRODUKSI - PRODUCTION				
			1999	2000	2001	2002	2003 ¹⁾
I PASOKAN DALAM NEGERI							
1	Nanggroe Aceh Darussalam	277	12 000	12 000	12 000	10 000	8 000
2	Jawa Barat	1 716	38 000	40 000	45 000	130 000	130 000
3	Jawa Tengah	3 248	50 000	55 000	63 000	220 000	220 000
4	Jawa Timur	14 613	271 700	275 000	292 000	570 000	615 000
	- PT Garam	4 900	136 700	120 000	92 000	238 000	265 000
	- Garam Rakyat	9 713	135 000	155 000	200 000	332 000	350 000
5	Bali	29	1 200	1 200	1 200	2 200	2 500
6	Nusa Tenggara Barat	1 052	44 700	47 000	40 000	61 000	61 500
7	Nusa Tenggara Timur	304	12 900	20 000	11 000	10 000	30 000
8	Sulawesi Selatan	1 290	45 000	50 000	50 000	70 000	70 000
9	Sulawesi Tengah	300	140	140	140	18 000	18 000
JUMLAH		22 799	475 640	500 340	514 340	1 091 200	1 155 000
II KEBUTUHAN							
1	Garam Konsumsi		895 000	920 000	940 000	970 000	1 025 000
2	Perminyakan		100 000	100 000	100 000	100 000	100 000
3	Lain-lain		92 000	92 000	96 000	96 000	100 000
4	Garam Industri (CAP)		951 000	991 000	1 091 000	1 051 000	1 101 000
JUMLAH			2 038 000	2 103 000	2 137 000	2 217 000	2 326 000
III IMPOR							
TOTAL IMPOR			1 852 509	1 438 336	1 587 359	1 552 658	1 426 340

(Sumber : statistik.dkp.go.id)

Apabila terjadi kekurangan pasokan, pemerintah mempunyai opsi untuk mengimpor garam, tetapi hanya dilakukan diluar musin panen. Sehingga dapat dikatakan bahwa potensi ekonomi dari garam sangat besar.

Proses produksi garam di Indonesia kebanyakan dilakukan secara tradisional, dengan memanfaatkan air laut dan

panas matahari. Air laut yang mempunyai kadar garam rata-rata 2,5 % berat, diuapkan secara berulang-ulang sampai kondisi jenuh dan mengkristal. Kualitas produk dari pembuatan secara tradisional ini tidak bisa dijaga dengan baik, hal ini disebabkan antara lain ; tingginya kadar pengotor (garam selain NaCl, dan ion-ion) karena tidak melalui tahap pengendapan pendahuluan.

Pengendapan pendahuluan adalah mengendapnya pengotor secara bertahap sesuai peningkatan kadar garam NaCl pada larutan. Garam NaCl dalam proses ini akan mengendap paling akhir, sehingga pengotor mudah dipisahkan dari larutannya. Salah satu contohnya adalah pengendapan gips pada petak penguapan hingga kadar garam mendekati 25 °Be. Baru larutan dimasukkan kedalam petak evaporasi untuk diendapkan garam dapurnya saja sampai kira-kira 29 °Be. Kualitas garam yang dihasilkan lebih baik sekitar 96% s.d. 98 %, dan sisa air garam (bittern) dicampurkan lagi ke petak penguapan untuk mempercepat pembesaran berat jenis atau "penuaan" air laut. Proses seperti ini dikenal dengan penguapan secara kontinyu.

Harga jual dari garam tradisional dari petani masih rendah, pada tahun 2009 berdasarkan ketetapan dari pemerintah pusat harga garam K1 (kualitas teratas) adalah Rp. 325/kg dan K2 dilepas Rp. 250/kg. Sedangkan untuk garam K3 tidak diberlakukan lagi karena pabrik tidak mau menerima garam kualitas rendah dari petani. Maka perlu dilakukan upaya-upaya untuk meningkatkan kesejahteraan petani garam, antara lain dengan memperbaiki proses pengolahan dan meningkatkan mutu produk dengan cara pencucian.

(Sumber : www.beritajatim.com, Sabtu, 6 Juni 2009)

Dibandingkan pengolahan secara tradisional, pada industri digunakan teknologi tinggi untuk memperoleh kualitas garam yang lebih baik. Untuk keperluan industri, garam dapur digunakan sebagai bahan baku pembuatan soda, sabun, dll. Akibat tuntutan ekologi ataupun lingkungan menyebabkan banyak industri soda merubah proses ke proses ramah lingkungan. Bila dulu banyak penggunaan "process cell mercury"

dengan bahan baku garam yang tak terlalu berkualitas tinggi tapi sekarang dengan penggunaan proses "cell diafragma" atau "cell membran" kualitas bahan baku garam yang dibutuhkan sangat tinggi. Dan mungkin hanya garam import saja yang masuk klarifikasi bahan baku proses ini

Pengotor pada garam pada umumnya ion-ion Ca^{2+} (0.35%), Mg^{2+} (0.3%), dll. Yang merupakan komposisi alami dari air laut. Sedangkan kadar air pada garam petani sekitar 10%, padahal persyaratan pada industri berkisar pada batas maksimal 0.5%.

(Sumber : data produksi PT Garam)

Seperti telah disebutkan diatas, salah satu tindakan untuk meningkatkan kualitas garam adalah dengan pencucian. Sebagai hasilnya, diperoleh garam yang sudah bersih tetapi basah. Oleh karena itu diperlukan proses pengeringan dengan memanfaatkan panas matahari atau alat pengering.

Pada proses pengeringan dengan alat, diperlukan desain alat pengering yang tepat dan efisien ditinjau dari kebutuhan energinya. Desain alat pengering ini memerlukan data karakteristik pengeringan garam yang masih basah tersebut. Untuk tujuan itulah, diperlukan suatu studi pendahuluan tentang karakteristik pengeringan garam.

I.2 Perumusan Masalah

Dalam hal meningkatkan mutu garam tradisional (rakyat), masalah yang timbul adalah mendesain alat pengering, dan menentukan kondisi operasi yang tepat sehingga dapat meminimalkan pemakaian energi. Untuk memenuhi hal tersebut, perlu diteliti data-data teknis yang berhubungan dengan pengeringan garam seperti rate pengeringan dan hubungannya dengan variabel lain, seperti: kecepatan udara, suhu udara, dan ketebalan sampel.

I.3 Tujuan Penelitian

- Tujuan dari penelitian ini adalah :
1. Menentukan karakteristik kurva pengeringan garam
 2. Menentukan pengaruh variabel penelitian terhadap rate pengeringan
 3. Menentukan pengaruh humidity dan mencari nilai koefisien transfer panas dalam penelitian

I.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan efektivitas proses pengeringan garam di skala industri dengan memberikan informasi mengenai suhu terbaik dan variabel lain dengan mengacu pada peralatan tray dryer.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Garam dan Pengolahannya

II.1.1 Karakteristik Garam

Dalam definisi kimia, garam adalah senyawa netral yang terdiri dari ion-ion. Garam (NaCl) biasa diperoleh dari pengkristalan air laut, walaupun di beberapa negara lain seperti Australia dan USA garam yang diproduksi lebih banyak bersumber dari penambangan garam. Batuan garam bisa ditambang secara biasa seperti batu bara atau dengan menginjeksi air sehingga didapatkan larutan jenuh garam.

Garam secara umum biasa digunakan pada bumbu atau pengawet makanan. Selain itu banyak digunakan di berbagai aplikasi, misalnya pada pabrik pulp dan kertas, dalam pengaturan dyes tekstil dan kain, pada proses produksi sabun, deterjen, dan produk untuk kamar mandi lainnya. Garam juga merupakan sumber utama industri klor dan sodium hidroksida.

Garam (NaCl) kadang digunakan sebagai desiccant yang murah dan aman karena mempunyai sifat higroskopis. Bahan ini cukup efektif dalam pengawetan makanan, meskipun ada beberapa macam desiccant yang lebih efektif, hanya sedikit yang aman bagi manusia.

Penggolongan garam untuk berbagai penggunaan dibedakan berdasar kandungannya, yang juga menunjukkan kualitasnya. Sebagai gambaran, untuk garam p.a dan garam farmasi, mempunyai kandungan NaCl > 99%, sedangkan untuk garam konsumsi mempunyai kandungan NaCl > 94 % dan garam untuk pengawetan memiliki kandungan NaCl > 90 %. Semakin besar kandungan NaCl, akan semakin kompleks dan rumit proses produksi dan pemurniannya, serta semakin tinggi nilai ekonominya.

Sifat-sifat dan komposisi garam sebagai berikut :

Sifat fisika :

- Berat molekul : 58,45 gr/mol
- Titik didih : 1413 °C
- Titik leleh : 800,4 °C
- Spesifik gravity : 2,163
- Larut dalam air (pada 0 °C): 35,79/100 gram
- (pada 100 °C) : 39,8 gram

(Perry, R H, "Chemical Engineer's Handbook: 3-20)

Sifat kimia :

- Tidak berwarna atau putih
- Berbentuk kristal kubik higroskopik
- Larut dalam glycerol
- Sangat larut dalam alkohol
- Memiliki pH 6,7– 7,3

(Lewis, Richard.J,"Hawley's Condensed Chemical
Dictionnary": 1012)

Komposisi garam secara umum dari petani adalah sebagai berikut:

- Kadar air : 10 %
- Ca^{2+} : 0.35 %
- Mg^{2+} : 0.30 %
- SO_4^{2-} : 1 %
- Insoluble : 0.90 %
- NaCl : 87 – 90 %

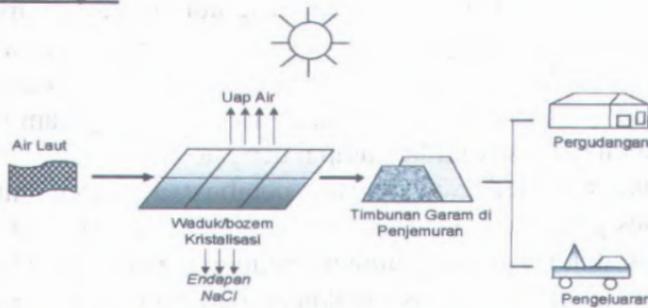
II.1.2 Pengeringan Garam

Salah satu usaha untuk meningkatkan kualitas garam adalah dengan pencucian, karena akan melarutkan pengotor-pengotor berupa ion-ion dan garam selain NaCl. Selanjutnya garam basah ini perlu dikeringkan untuk memudahkan pengemasan dan meningkatkan kadarnya. Pengeringan garam umumnya memanfaatkan panas matahari, tetapi hal ini sangat bergantung pada musim. Oleh karena itu produksi garam

mencapai puncaknya pada musim kemarau, yang secara normal jatuh pada bulan April sampai dengan Oktober.

Proses pengeringan dalam industri tidak hanya bergantung pada panas matahari, tetapi dapat menggunakan pemanas lain. Sehingga bisa diperoleh produk akhir dengan kadar air yang lebih rendah. Pembuatan garam dari air laut digambarkan oleh skema dibawah ini, dan dibedakan menjadi 2 jenis yaitu secara tradisional dan industri.

Garam rakyat

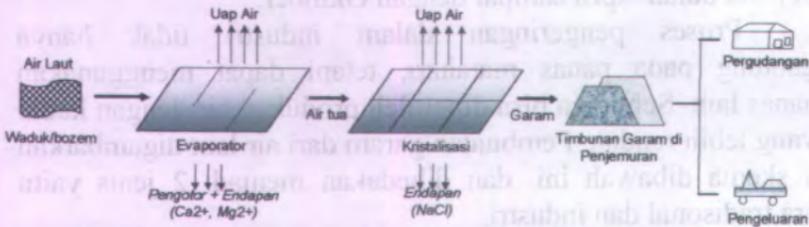


Gambar 2.1. proses pembuatan garam rakyat

Air laut diuapkan dalam kolam-kolam penguapan oleh panas matahari hingga didapatkan kristal yang mengendap. Ketinggian dalam kolam dijaga dengan menambahkan air laut melalui pompa-pompa agar jumlah garam yang terbentuk bisa maksimal. Pada metode paling sederhana ini, garam yang dihasilkan tidak mengalami proses pencucian dan langsung disetor kepada pengumpul. Hal ini menyebabkan kadar air dan pengotor yang masih tinggi, karena pengotor juga bisa berasal dari lingkungan sekitar.

Kadar NaCl dalam garam biasanya sekitar 88 sampai dengan 90%. Proses produksi inilah yang menyebabkan garam rakyat sulit memenuhi standar kualitas untuk pembelian stok nasional.

Garam industri



Gambar 2.2. proses pembuatan garam didalam industri

Penguapan air laut dilakukan di petak-petak yang sangat luas, dimana sebagian garam-garam pengotor terutama gipsum sudah diendapkan sampai mendekati 25°C , kemudian dimasukkan kedalam petak-petak evaporasi untuk diendapkan garam dapurnya saja sampai kira-kira 29°C . Kualitas garam yang dihasilkan lebih baik sekitar 96 sampai dengan 98 %.

Yang membedakan dengan pembuatan garam rakyat adalah proses penguapan/kristalisasi yang lebih baik, dan adanya pencucian produk untuk mengurangi kandungan pengotor. Dalam proses ini penguapan/evaporasi dilakukan bertahap pada berbagai kadar, karena setiap pengotor (ion dan garam selain NaCl) mengendap pada kadar garam yang berbeda-beda atau bisa juga disebut sebagai pengendapan pendahuluan..

II.2 Pengeringan

Secara umum, pengeringan adalah penghilangan sejumlah kadar air atau jenis liquid lain dari material padat. Pengurangan ini dilakukan untuk mencapai kadar tertentu yang diinginkan, dan biasanya produk yang telah dikeringkan siap untuk pengemasan akhir. Pengeringan yang dilakukan dengan mengontakkan solid secara langsung dengan udara panas disebut *adiabatic* atau *direct dryers*, dalam hal ini termasuk tray dryer yang digunakan dalam penelitian ini.

Pengeringan menggunakan medium/perantara eksternal disebut *nonadiabatic* atau *indirect dryers*, hal ini termasuk pemanas elektrik, radiasi, atau energi microwave. Untuk sistem

lain yang menggabungkan pengeringan adiabatik dan non-adiabatik dikenal dengan *direct-indirect dryers*.

Pada pengeringan adiabatik, solid dikontakkan dengan gas melalui berbagai cara :

1. Gas dialirkan searah dengan permukaan bed atau solid, proses ini dinamakan *cross-circulation drying*.
2. Gas dialirkan melewati bed atau butiran solid yang ditahan pada screen. Proses ini disebut dengan *through-circulation drying* . Seperti pada proses nomor 1, kecepatan gas dijaga rendah agar tidak ada partikel padatan yang terbuang.
3. Solid ditebarkan kebawah melewati gas yang mengalir pelan, alat yang digunakan antara lain rotary dryer.
4. Gas ditiupkan ke bed solid dengan kecepatan cukup tinggi hingga terjadi fluidisasi. Kekurangan dari metode ini adalah hilangnya partikel-partikel halus.
5. Solid dialirkan pada gas berkecepatan tinggi dan dipindahkan secara pneumatikal dari peralatan pencampur menuju separator mekanis.

Metode pengeringan yang lain bisa dilakukan secara mekanis menggunakan pengepresan atau sentrifugasi, tetapi hal ini jarang dilakukan karena biaya operasi yang tinggi. Produk yang telah dikeringkan secara maksimal disebut *bone-dry* sehingga tidak mengandung air lagi, padahal umumnya produk yang ada tetap mengandung sedikit air. Garam bisa mengandung 0.5% air, batu bara sekitar 4% air, dan kasein kering sekitar 8%.

Bahan yang dikeringkan bisa berwujud macam-macam, seperti *flakes* (serpihan), *granule* (butiran), kristal, bubuk, lembaran, dengan sifat masing-masing yang berbeda-beda. Pengaruh dari karakter bahan antara lain, air yang diuapkan bisa berada di permukaan solid seperti pada kristal garam, bisa juga pada didalam solid seperti pada pengeringan lembaran polimer, atau kombinasi dari keduanya yakni sebagian didalam dan sebagian dipermukaan solid tersebut.

Teori pengeringan tidak bisa dianggap sama untuk semua bahan, misalnya pengeringan bahan organik berbeda dengan

pengeringan bahan anorganik. Hal ini harus memperhatikan pula pengaruh panas terhadap material yang bersangkutan.

Suhu yang digunakan dalam pengeringan dibatasi oleh hal-hal berikut : sifat dan jumlah liquid dalam bahan, suhu medium pemanas, waktu pengeringan, dan suhu akhir produk yang diijinkan. Dalam hal liquid yang terkandung dalam solid, dibedakan menjadi dua yaitu *bound* dan *unbound water*.

Bound water adalah jumlah air minimal pada bahan yang berkeseimbangan dengan udara saturated, jadi jumlah air ini dipengaruhi oleh kejenuhan udara disekitar bahan. Hal ini dipengaruhi pula sifatnya yang mempunyai tekanan uap lebih rendah daripada air murni pada suhu yang sama. Bahan yang mengandung *bound water* bisa disebut sebagai higroskopis. Sedangkan *Unbound water* adalah air yang masih bisa teruapkan hingga diperoleh keseimbangan dengan uap air pada udara disekitar.

Penelitian tentang pengeringan pada kondisi luar konstan menjelaskan bahwa periode pengeringan biasanya dapat dibagi dua :

- (1) Periode laju konstan, dimana laju pengeringan ditentukan oleh kondisi luar (suhu, humiditas, kecepatan udara, dsb)
- (2) Periode laju menurun, dimana laju pengeringan diatur oleh laju internal cairan dan atau uap sebagai respon terhadap kondisi luar.

Konsep laju konstan diikuti dengan atau banyak periode laju menurun dalam bentuk diskontinu setelah *moisture content* kritis, banyak terdapat dalam literatur, dan hal ini bisa dikategorikan sebagai teori klasik pengeringan

(Datta, 2006)

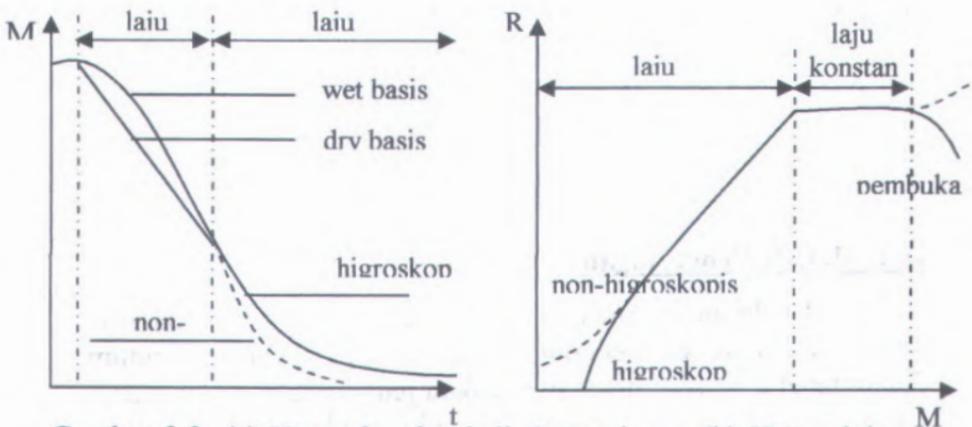
Periode laju konstan tidak akan terjadi apabila *moisture konten* bahan lebih kecil daripada batas minimumnya. Sifat periode ini bahwa laju pengeringan independen terhadap *moisture konten*. Pada periode ini solid masih sangat basah atau ditandai adanya lapisan film air di permukaan solid, sehingga sifat solid dalam pengeringan seolah-olah tidak ada. Apabila solid tidak

berpori, sejumlah air yang hilang pada periode ini adalah sangat dominan. Pada solid yang berpori, sebagian besar air yang teruapkan disuplai dari interiornya (pori-pori). Mekanisme evaporasi pada bahan berpori seperti halnya pada termometer wet-bulb, dan pada termometer ini adalah contoh penting periode laju konstan.

Ketika moisture konten mulai menurun, periode laju konstan telah berakhir. Pada titik ini disebut titik kritis, yang berarti air atau liquid pada permukaan solid tidak dapat membentuk lapisan film lagi. Pada solid tidak berpori, titik kritis ini terjadi ketika liquid di permukaan solid telah teruapkan sebagian besar. Sedangkan pada bahan berpori, titik kritis terjadi ketika jumlah liquid yang teruapkan tidak lagi sama dengan yang mengalir ke permukaan.

Kurva pengeringan

Pada analisis pengeringan, karakteristik proses biasanya didalami lewat kurva karakteristik pengeringan dan kurva laju pengeringan (gambar 2.3)



Gambar 2.3. (a) Kurva karakteristik Pengeringan (b) Kurva laju pengeringan (Perry,1999 ;Thai,1974)

Moisture Content

Moisture content adalah kandungan air bahan yang dapat dinyatakan dalam nilai % berat. Persamaan yang digunakan adalah :

$$\%M = \frac{w_w}{w_s} \times 100\% \quad (2.1)$$

Drying Rate (R)

Laju pengeringan dapat dinyatakan dengan :

$$R = \frac{w_i - w_{i+dt}}{A \cdot dt} \quad (2.2)$$

(Badger, 1955)

Hasil dari penelitian yang dilakukan bisa didapatkan koefisien transfer panas, untuk udara yang mengalir searah permukaan solid. Persamaannya sebagai berikut :

$$h_y = aG^b \quad (2.3)$$

Pada drying rate konstan :

$$R_c = \frac{h_y(T - T_i)}{\lambda_i} \quad (2.4)$$

II. 3 Metode Pengeringan

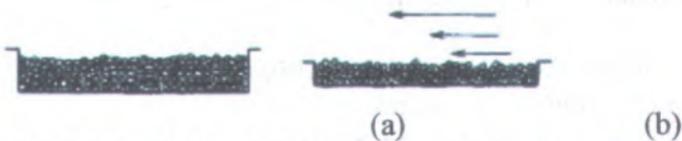
Penelitian ini menggunakan alat pengering berupa *tray dryer*. Kelebihan dan kekurangan alat ini seperti yang tercantum dalam tabel 2.1. Tray dryer merupakan jenis pengering langsung, batch, dan konveksi. Bahan memiliki wadah dan disangga. Ukuran bahan tetap selama pengeringan. Kondisi wadah adalah diam seperti terlihat pada gambar 2.1 (a), sedangkan cara berkontak gas adalah dengan aliran sejajar seperti pada gambar

2.1 (b) sehingga memungkinkan masuknya aliran gas ke dalam ruangan antara padatan yang dekat permukaan.

(Perry, 1999; Geankoplis, 1993; ITB, 2007)

Tabel 2.1 Kelebihan dan Kekurangan Pengering Tray Dryer

Kelebihan	Kekurangan
<ul style="list-style-type: none"> - Jumlah bahan sedikit - Untuk segala macam bahan - Cocok penelitian Laboratorim - Moisture kontent akhir lebih rendah 	<ul style="list-style-type: none"> - Loading dan off loading dikerjakan manual - Konsumsi energi lebih besar - Lama (4 - 48 jam)



Gambar 2.1 (a) kondisi wadah diam (b) arah aliran sejajar

Pengeringan pada berbagai bahan

Garam yang digunakan dalam percobaan ini dihaluskan hingga ukuran 40-50 mesh. Dengan ukuran tersebut, hal yang juga mempengaruhi pengeringan adalah porositas, yang berarti adalah ruang di dalam padatan yang bisa diisi oleh gas atau cairan. Konsep pori sangat luas dari skala makro sampai nano pori (misalnya membran biologi). Contoh bahan berpori adalah batuan, tanah, jaringan tumbuhan dan hewan, kertas, biji-bijian, sereal, sayuran, keramik dsb. Proses perpindahan massa dan panasnya lebih cepat daripada melalui matriks padatan (Datta, 2006).

Ukuran pori kapiler untuk contoh diatas adalah $< 10^{-7}$ m. Aliran fluidanya terjadi melalui bagian dalam padatan.

Kebanyakan bahan makanan ditinjau sebagai bahan berpori kapiler dan higroskopis. Perpindahan airnya lebih rumit daripada bahan tidak berpori. Selain difusi molekuler, dapat juga disebabkan difusi Knudsen (jalur bebasnya relatif lebih panjang daripada ukuran porinya), aliran permukaan, aliran kapiler, dan murni aliran hidrodinamik (Datta, 2006)

Bahan higroskopis secara fisik lebih banyak mengandung air terikat dan sering mengalami penyusutan selama pemanasan. Bahan ini saat *moisture*nya belum jenuh, tekanan uap internalnya merupakan fungsi beda *moisture* dan suhu yang lebih rendah daripada suhu tekanan air murni. Saat *moisture*nya telah jenuh, tekanan uapnya hanya fungsi suhu (mengikuti persamaan Clapeyron), bisa dikatakan berperilaku seperti bahan non higroskopis. Setelah air permukaan habis, air terikat diambil paksa dengan penguapan hingga tersisa sedikit, lalu penguapan melewati matriks padatan dengan difusi dan tekanan dikendalikan perpindahan uap air melalui padatan (Datta, 2006)

Mekanisme pengeringan yang terjadi

Pengeringan adalah proses *thermophysical* dan *physiochemical* yang rumit meliputi termodinamika dari *moisture* gas dan *moisture* padatan, yaitu :

- a.) Perpindahan massa dan panas antara permukaan bahan dan media pengering
- b.) Perpindahan panas dan massa di dalam bahan itu sendiri

Pengertian ini melibatkan dua proses dasar terkait pengeringan :

- 1) Perpindahan massa sebagai cairan dan atau uap di dalam padatan,
- 2) Panas yang dipindahkan untuk menguapkan *moisture* permukaan

Beberapa mekanisme dikembangkan untuk menjelaskan pergerakan *moisture* dalam bahan, yaitu:

- (a) Pergerakan cairan karena gaya permukaan (aliran kapiler)

- (b) Pergerakan cairan karena beda konsentrasi *moisture* (difusi cairan)
- (c) Pergerakan cairan karena difusi *moisture* di atas permukaan berpori (difusi permukaan)
- (d) Pergerakan uap karena beda konsentrasi *moisture* (difusi uap)
- (e) Pergerakan uap karena beda suhu (difusi termal)
- (f) Pergerakan air dan uap karena beda tekanan total (aliran hidrodinamik)



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan adalah :

1. Suhu udara pengering yaitu : 70, 80, dan 90 °C
2. Kecepatan udara pengering yaitu : 0,4 ; 0,7 ; dan 1 m/s
3. Tebal sampel yaitu : 3, 5, dan 7 mm

III.2 Persiapan Sampel

Sampel merupakan garam rakyat / tradisional yang masih berbentuk kasar dan diperoleh dari penjual pasar. Sampel berwarna putih kecoklatan, dan sebelum penelitian, sampel diukur kadar air totalnya memakai oven menurut langkah-langkah berikut :

1. Menyiapkan 3 wadah dengan luas 15 x 15 cm² serta ketebalan 3, 5, dan 7 mm
2. Menimbang massa masing-masing wadah dengan timbangan digital
3. Memasukkan sampel ke dalam masing-masing wadah
4. Menyalakan oven dan mengatur suhunya di 100 °C selama 12 jam
5. Memasukkan 3 sampel ke oven selama 12 jam
6. Mengeluarkan sampel setelah 12 jam dan menaruhnya ke desikator agar dingin
7. Mengeluarkan wadah berisi sampel dari desikator dan menimbang beratnya masing-masing
8. Menentukan kandungan air total sampel dengan cara menghitung selisih massa wadah berisi sampel dikurangi massa sampel kosong

III.3 Peralatan Penelitian

Dalam percobaan akan digunakan pengering skala laboratorium jenis *tray* tunggal yang terdapat di Laboratorium Perpindahan Massa dan Panas, Jurusan Teknik Kimia ITS, Surabaya.

Skemanya diperlihatkan gambar 3.1 dan spesifikasi komponen penyusunnya terdapat pada tabel 3.1.

III.4 Prosedur Percobaan

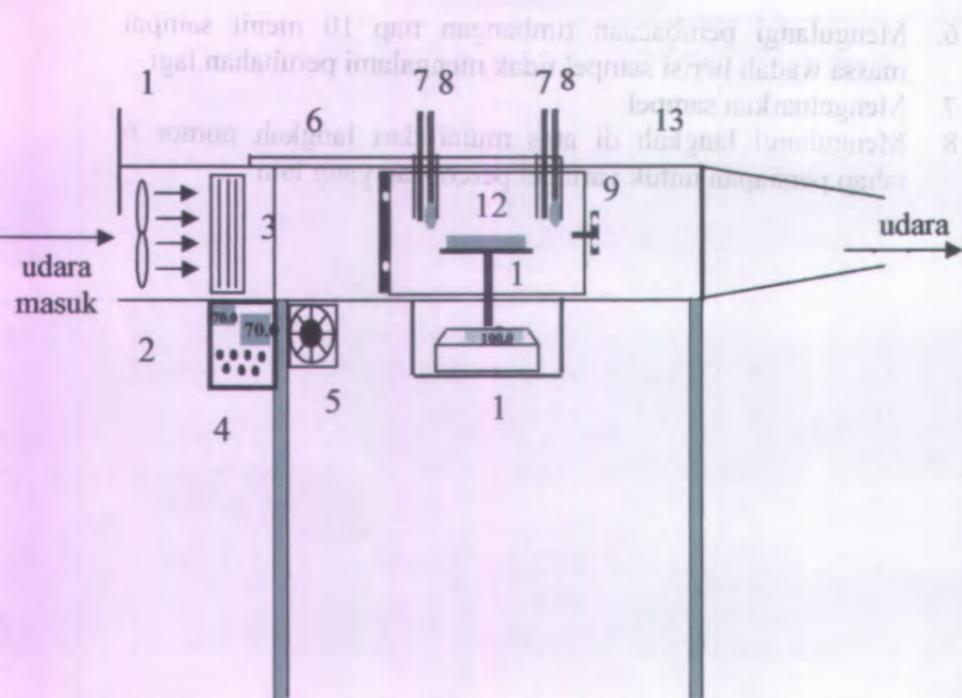
III.4.1 Tahap Persiapan

1. Kalibrasi bukaan *duct* dengan bantuan anemometer untuk laju alir udara pengering
2. Kalibrasi titik bawah termometer dengan es mencair dan titik atas termometer dengan air mendidih untuk pembacaan suhu udara pengering
3. Menyiapkan wadah sampel dengan rincian : 1 buah wadah tebalnya 3 mm, 1 buah wadah tebalnya 5 mm, dan 1 buah wadah tebalnya 7 mm. masing-masing memiliki luas permukaan $15 \times 15 \text{ cm}^2$. Wadah hanya terbuka bagian atasnya
4. Menimbang massa masing-masing wadah sampel
5. Memasukkan sampel ke dalam masing- masing wadah
6. Menyalakan pemanas sesuai suhu percobaan
7. Menyalakan kipas angin dengan kecepatan udara sesuai percobaan
8. Membiarkan selama ± 30 menit sampai kondisi *steady state* tercapai

III.4.2 Tahap Pengamatan

1. Menghidupkan timbangan digital dan mengatur posisi pembacaan pada 0 gram
2. Memasukkan sampel dan menaruh di atas *tray* lalu menutup pintu kaca
3. Mencatat massa awal wadah berisi sampel
4. Menghidupkan stopwatch dan membiarkan proses pengeringan berjalan
5. Setelah 10 menit melihat pembacaan timbangan dan mencatat massanya

6. Mengulangi pembacaan timbangan tiap 10 menit sampai massa wadah berisi sampel tidak mengalami perubahan lagi
7. Mengeluarkan sampel
8. Mengulangi langkah di atas mulai dari langkah nomor 6 tahap persiapan untuk variabel percobaan yang lain



Gambar 3.1 Skema Pengering Tray tunggal

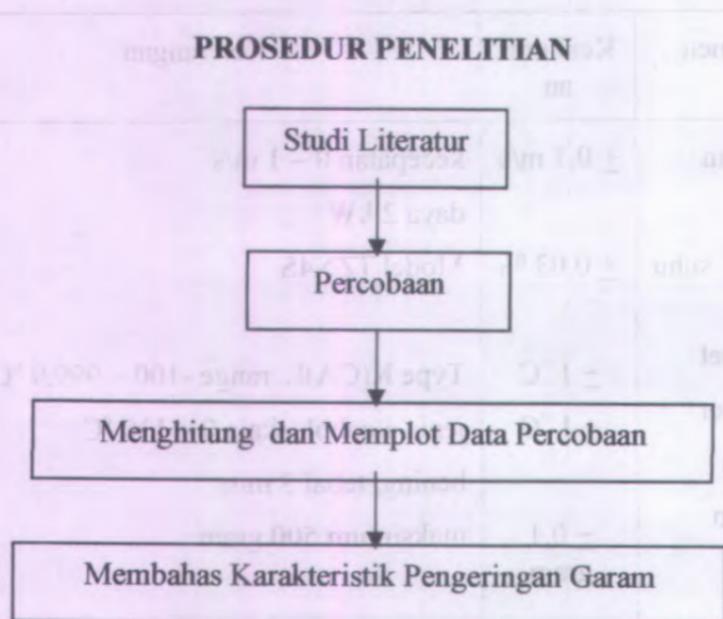
Keterangan gambar :

- | | |
|---------------------------|------------------------|
| 1. Bukaan ruang pengering | 8. Termometer wet bulb |
| 2. Kipas angin | 9. Pintu kaca |
| 3. Pemanas | 10. Timbangan digital |
| 4. Pengontrol suhu PID | 11. Tray |
| 5. Pengatur termokopel | 12. Wadah sampel |
| 6. Termokopel | 13. Ruang Pengering |
| 7. Termometer dry bulb | |

Tabel 3.1 Komponen penyusun pengering *tray* tunggal skala laboratorium

Komponen	Keakuratan	Keterangan
Kipas angin	$\pm 0,1$ m/s	kecepatan 0 – 1 m/s
Pemanas		daya 2 kW
Kontrol suhu PID	$\pm 0,03$ %	Model TZN4S
Termokopel	± 1 °C	Type K(CA)L, range -100 – 999,9 °C
Termometer	± 1 °C	jenis alcohol, skala 0 – 110 °C
Pintu kaca		bening, tebal 3 mm
Timbangan digital	$\pm 0,1$ gram	maksimum 500 gram
Tray (rak)		aluminium , ukuran 15 x 15 cm ²
Wadah		aluminium foil, luas 15 x 15 cm ² , tebal 3, 5, dan 7 mm
Ruang pengering		Dindingnya dari pelat besi , panjang 2 m, luas bagian masuk 30 x 30 cm ² , luas bagian keluar 20 x 20 cm ²

III. 5 Diagram Alir Penelitian



TAHAP PERSIAPAN SAMPEL

Menyiapkan 3 wadah sampel untuk 3 ketebalan (3, 5, 7 mm)

Menimbang masing-masing wadah sampel

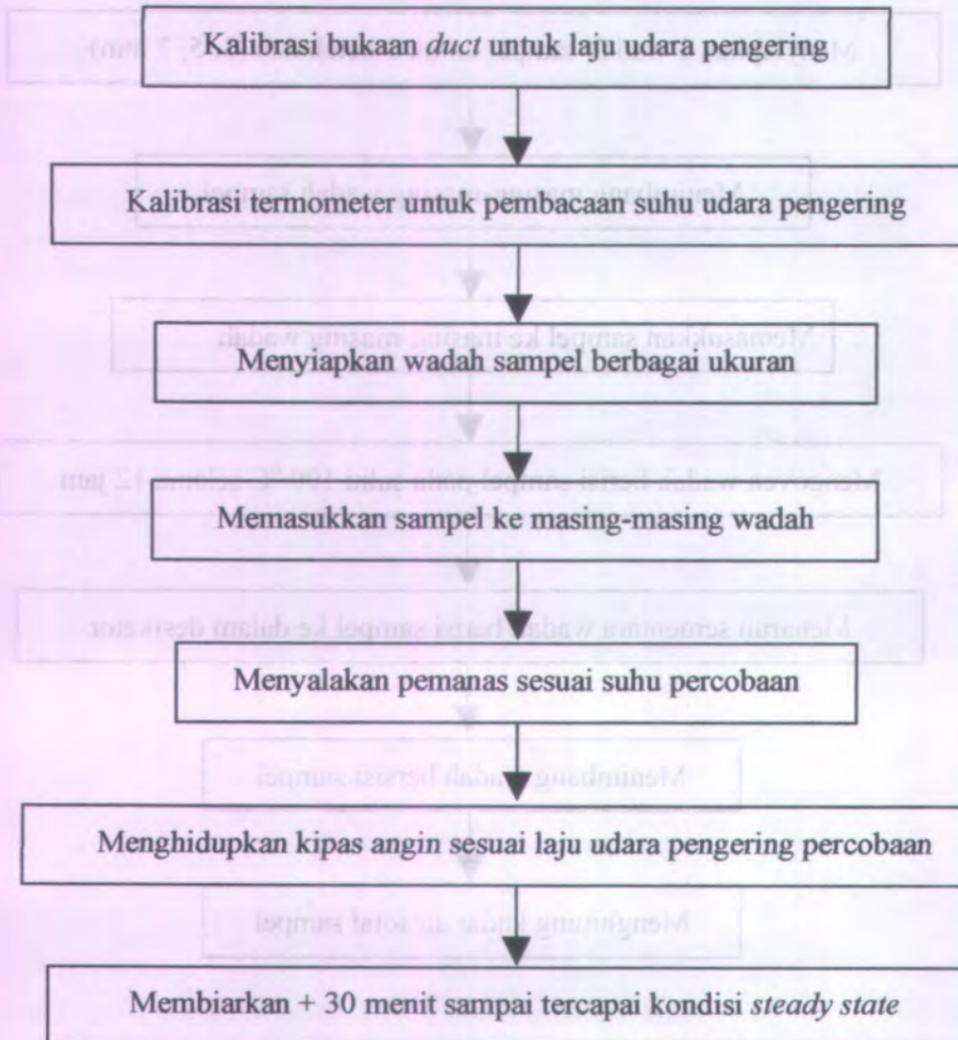
Memasukkan sampel ke masing-masing wadah

Mengoven wadah berisi sampel pada suhu 100 °C selama 12 jam

Menaruh sementara wadah berisi sampel ke dalam desikator

Menimbang wadah bersisi sampel

Menghitung kadar air total sampel

TAHAP PERSIAPAN PERCOBAAN

TAHAP PENGAMATAN PERCOBAAN

Menghidupkan timbangan digital pada posisi pembacaan 0 gram

Menaruh wadah berisi sampel ke atas *tray*

Mencatat massa awal wadah berisi sampel

Menghidupkan stopwatch

Mencatat pembacaan timbangan digital setiap 10 menit

Menghentikan percobaan setelah pembacaan tidak berubah

Mengulangi percobaan untuk variabel lain

TAPAK PEZAMATAN PERUBAHAN

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Mengidentifikasi perubahan lingkungan digital pada proses pembelajaran di masa

Mengidentifikasi perubahan pada proses belajar ke masa ini

Mengidentifikasi perubahan pada proses belajar

Mengidentifikasi perubahan

Mengidentifikasi perubahan lingkungan digital setiap 10 menit

Mengidentifikasi perubahan sistem pembelajaran yang berbeda

Mengidentifikasi perubahan pada proses belajar

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian laju pengeringan garam dilakukan pada tiga suhu (70, 80 dan 90 °C), tiga laju alir udara pengering (0,4 ; 0,7; dan 1 m/s), serta tiga ketebalan sampel (3, 5, dan 7 mm). Hasil penelitian direkap dalam tiga tabel dibawah ini untuk tiga macam ketebalan sampel.

➤ Tabel 4.1 Kondisi pengeringan untuk sampel 3 mm

Suhu udara pengering (°C)	Kec. Udara (m/s)	RH (%)	waktu (menit)
70	0.4	4.1760	580
	0.7	4.1760	870
	1	3.1062	690
80	0.4	4.3940	570
	0.7	3.8899	800
	1	3.8899	540
90	0.4	4.1760	1140
	0.7	3.7011	920
	1	4.1760	950

➤ Tabel 4.2 Kondisi pengeringan untuk sampel 5 mm

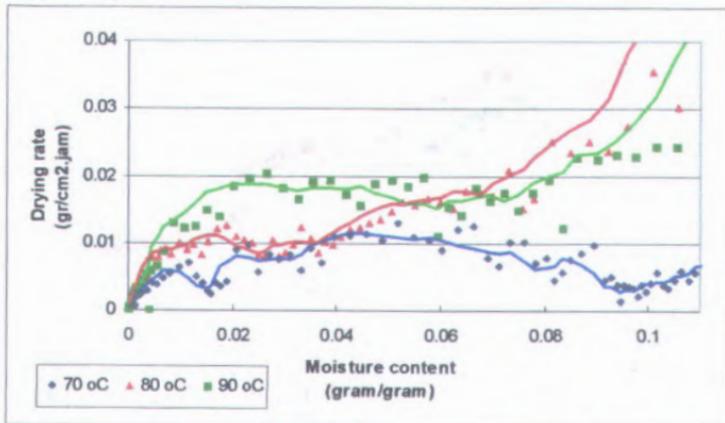
Suhu udara pengering (°C)	Kec. Udara (m/s)	RH (%)	waktu (menit)
70	0.4	4.1760	970
	0.7	3.5125	510
	1	3.7011	530
80	0.4	4.3940	1270
	0.7	3.7011	370
	1	4.0670	760
90	0.4	4.1760	660
	0.7	3.7956	590
	1	4.0670	630

➤ Tabel 4.3 Kondisi pengeringan untuk sampel 7 mm

Suhu udara pengering (°C)	Kec. Udara (m/s)	RH (%)	waktu (menit)
70	0.4	3.8899	670
	0.7	4.1760	650
	1	3.8899	910
80	0.4	4.1760	1030
	0.7	4.3940	610
	1	3.8899	870
90	0.4	3.8899	770
	0.7	4.1760	560
	1	4.1760	680

IV.1. Pengaruh Suhu Udara Pengering

Gambar. 4.1 menunjukkan kurva drying rate lawan moisture content. Kurva tersebut memperlihatkan pengaruh suhu udara pengering terhadap karakteristik pengeringan garam, dimana tebal sampel dan kecepatan udara dibuat sama (tebal 7 mm dan kecepatan 0,7 m/s). Dari gambar dibawah, terlihat pengeringan dapat dibagi menjadi 3 tahap. Pertama, drying rate cukup tinggi kemudian menurun tajam menjadi hampir konstan. Kemudian yang kedua adalah fase konstan, dimana penurunan rate disertai berkurangnya moisture content menjadi semakin kecil. Dan yang terakhir adalah fase menurun, dimulai dengan titik kritis dimana drying rate menurun tajam sebelum akhirnya berhenti. Pada suhu 70, 80, 90 °C menghasilkan drying rate konstan rata-rata adalah 0,08857; 0,01326; 0,01792 gr/cm².jam.

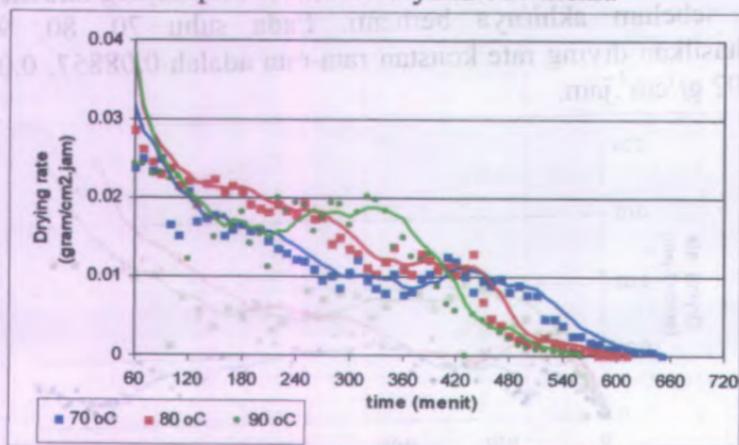


Gambar 4.1. drying rate v.s moist content, 7mm dan 0.7 m/s.

Terjadinya tiga tahap pengeringan dikarenakan laju penguapan air yang berbeda-beda. Diawal pengeringan, rate (laju) penguapan sangat tinggi karena solid masih sangat basah/air di permukaan solid masih banyak. Kemudian rate akan menurun dan menjadi konstan yang dikarenakan penguapan sebanding dengan air yang naik ke permukaan (kapilaritas). Sedangkan titik kritis yang menandai berakhirnya fase konstan terjadi karena air yang naik ke permukaan lebih kecil daripada laju penguapannya.

Hasil dari pengeringan dengan udara panas adalah berat equilibrium, yaitu solid yang masih mengandung sedikit air. Air didalam solid tidak bisa teruapkan lagi karena mencapai kesetimbangan dengan komposisi udara pengeringnya.

Selisih rate antara dua suhu yang berbeda cukup lebar, menunjukkan pengaruh suhu cukup signifikan. Seperti hasil *drying rate* diatas, pengaruh pada suhu 90 °C terlihat tinggi. Hal ini sangat logis karena pengeringan dipengaruhi oleh suhu. Dari (gambar 4.2) juga terlihat waktu tercepat untuk mencapai berat equilibrium terjadi pada suhu udara 90 °C, yaitu 560 menit. Dibandingkan pada suhu 70 °C yaitu 650 menit dan pada suhu 80 °C yaitu 610 menit.



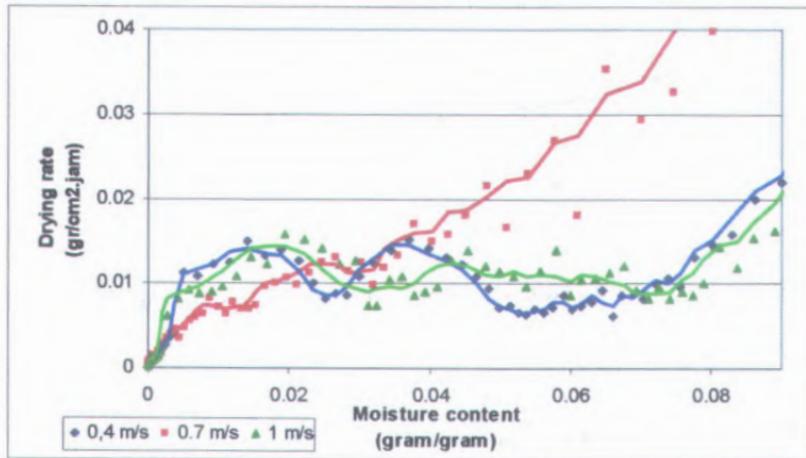
Gambar 4.2 drying rate v.s time ,7mm dan kecepatan 0.7m/s

IV.2. Pengaruh Kecepatan Udara Pengering

Pengaruh variasi kecepatan udara pada pengeringan garam dapat dilihat pada Gambar 4.3. Sampel yang digunakan mempunyai tebal dan suhu udara pengering konstan (5 mm dan 90 °C). Pada kurva drying rate lawan waktu didapatkan pengaruh kenaikan kecepatan udara sedikit mempersingkat waktu pengeringan, yaitu 0.4 m/s (660 menit); 0.7 m/s (590 menit); dan 1 m/s (630 menit).

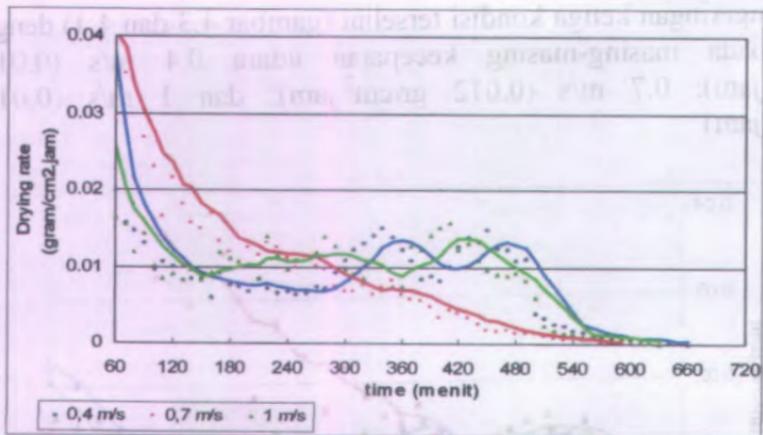
Pada sampel pengeringan, didapatkan laju pengeringan sebanding dengan peningkatan kecepatan udaranya. Tetapi pengaruh yang diberikan tidak cukup signifikan, terlihat dari berdekatnya

laju pengeringan ketiga kondisi tersebut (gambar 4.3 dan 4.4) dengan nilai pada masing-masing kecepatan udara 0.4 m/s (0,0101 gr/cm².jam); 0.7 m/s (0,012 gr/cm².jam); dan 1 m/s (0,0108 gr/cm².jam).



Gambar.4.3. drying rate v.s moist content ,5 mm dan 90 °C

Perbedaan waktu pengeringan ditunjukkan pada gambar dibawah ini dimana waktu terlama pada kecepatan udara 0.4 m/s dan waktu pengeringan tercepat justru pada kecepatan udara 0.7 m/s. Hal ini kurang sesuai karena seharusnya semakin cepat udara pengering, waktu yang dibutuhkan juga semakin singkat. Dari sampel ini dapat ditarik kesimpulan sementara bahwa kecepatan udara pengering sedikit mempengaruhi peningkatan rate pengeringan. Serta pengaruh kecepatan udara pengering masih kurang dibandingkan suhu udara pengering

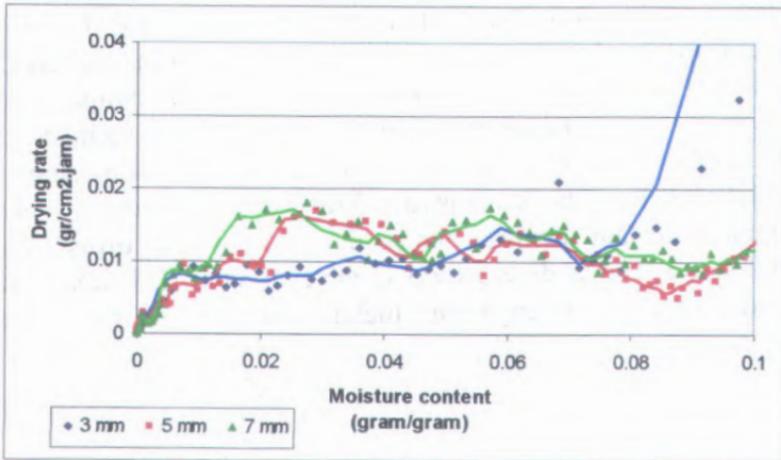


Gambar.4.4. drying rate v.s time 5mm, suhu pengering 90 °C

IV.2. Pengaruh Ketebalan Sampel

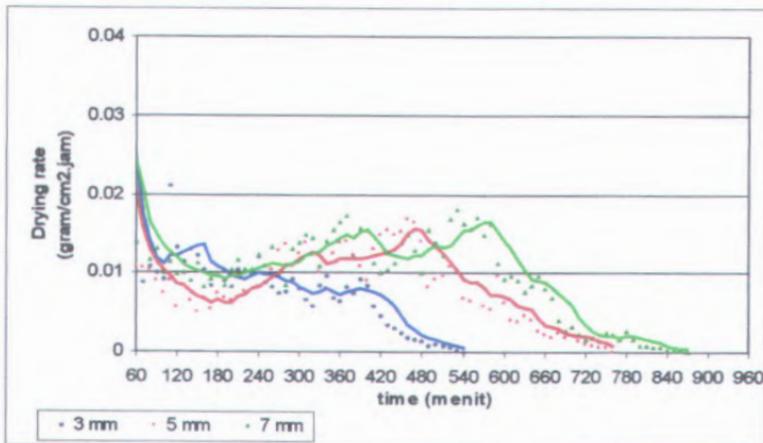
Pada sampel dengan suhu dan kecepatan udara konstan (80 °C dan 1 m/s), tebal hanya berpengaruh pada waktu pengeringan. Semakin tebal sampel semakin lama waktu pengeringan yang dibutuhkan, (gambar .4.5), tetapi perbedaan drying ratenya sedikit. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai berat equilibrium pada sampel ini adalah: 3 mm (540 menit), 5 mm (760 menit), dan 7 mm (870 menit).

Nilai drying rate konstan rata-rata yang diperoleh pada sampel ini seperti tercantum dalam gambar 4.5: untuk ketebalan sampel 3, 5; 7 mm menghasilkan 0,01035; 0,01623; 0,01751 gr/cm².jam.



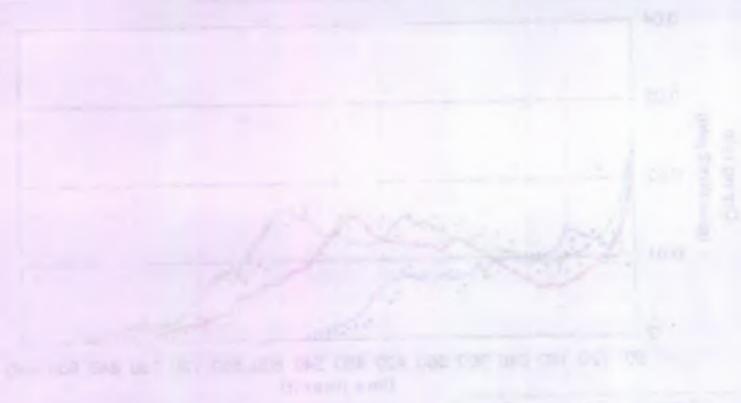
Gambar.4.5 drying rate v.s moist content, 1 m/s dan suhu 80 °C

Meskipun nilai drying rate konstan berbeda, waktu pengeringan menunjukkan kesesuaian karena peningkatan rate juga disertai peningkatan ketebalan sampel. Jadi air yang harus diuapkan semakin banyak.



Gambar.4.6 drying rate v.s time 1 m/s dan suhu pengering 80 °C

Pada gambar 4.6, banyaknya air pada tebal sampel 7 mm dikarenakan *unbound water* atau air permukaan berlebih. Ini terjadi saat kondisi bahan masih sangat basah. Pengaruh tebal sampel pada laju pengeringan tidak memberi karakteristik yang pasti (gambar 4.5 dan 4.6). Kurva laju pengeringan seperti ini menunjukkan adanya mekanisme kapiler di dalamnya. Menurut Geankoplis, jika pengeringan pada laju menurun hanya dipengaruhi oleh difusi, laju pengeringan seharusnya dipengaruhi oleh tebal sampel. Karena itu, garam tidak hanya dipengaruhi mekanisme difusi, tapi juga mekanisme kapiler.



IV.3 Koefisien Transfer Panas Berbagai Sampel

Koefisien transfer panas dan nilai konstanta untuk berbagai ketebalan sampel 3 mm dicantumkan dalam tabel berikut ini :

Tabel 4.4 koefisien transfer panas sampel 3 mm

Suhu udara pengering (oC)	Kec. Udara		Rc (lb/ft ² .hr)	Ti (oF)	λ (Btu/lb)
	(m/s)	(ft/hr)			
70	0.4	4724.35	0.01104	89.6	1043
	0.7	8267.62	0.01381	96.8	1038.973
	1	11810.88	0.01346	93.2	1041.108
80	0.4	4724.35	0.00884	100.4	1037.6
	0.7	8267.62	0.00778	98.6	1038.004
	1	11810.88	0.01963	102.2	1035.88
90	0.4	4724.35	0.00671	102.2	1035.88
	0.7	8267.62	0.00289	102.2	1035.88
	1	11810.88	0.00736	102.2	1035.88

h y (Btu/ft ² .F.hr)	a	b	RH (%)	G (lbm/ft ² .hr)
0.16832	0.02334	0.33239	4.1760	381.3072
0.2345	0.02845	0.32432	4.1760	667.2876
0.21619	0.02375	0.32197	3.1062	953.2679
0.12139	0.01672	0.3335	4.3940	381.3072
0.10433	0.01246	0.32678	3.8899	667.2876
0.27554	0.03045	0.32108	3.8899	953.2679
0.07571	0.01036	0.33457	4.1760	381.3072
0.03265	0.00387	0.32808	3.7011	667.2876
0.08309	0.00899	0.32412	4.1760	953.2679

IV-10

Keterangan :

- Rc ; rate pada fase konstan (lb/ft².hr)
- h_y ; koefisien transfer panas (Btu/ft².°F.hr)
- a, b ; konstanta
- G ; mass velocity (lbm/ft².hr)
- λ ; latent heat (Btu/lb)

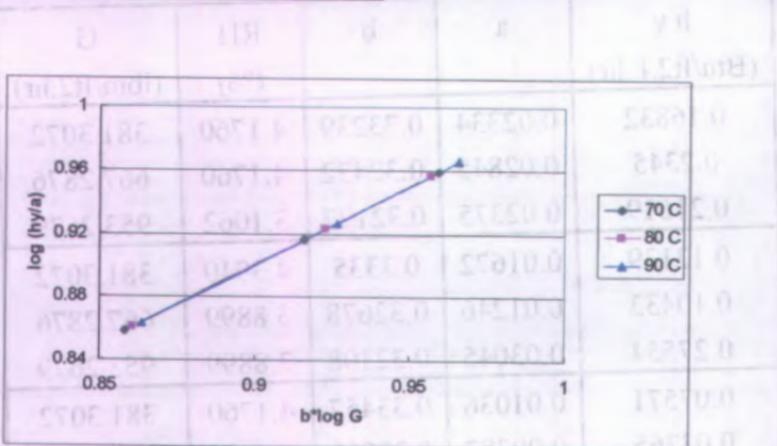
Hubungan koefisien transfer panas dengan mass velocity :

Suhu (oC)	log (h _y /a)	b*log G
70	0.8580	0.8580
	0.9161	0.9160
	0.9592	0.9592
80	0.8609	0.8609
	0.9229	0.9229
	0.9566	0.9566
90	0.8638	0.8636
	0.9262	0.9266
	0.9658	0.9656

Dari persamaan

$$: h_y = aG^b$$

Untuk hubungan logaritmik didapatkan hasil seperti yang tercantum dalam tabel di samping ini



Gambar 4.7 hubungan logaritmik koefisien transfer panas sampel 3

mm

- Koefisien transfer panas dan nilai konstanta untuk berbagai ketebalan sampel 5 mm dicantumkan dalam tabel berikut ini :

Tabel 4.5 koefisien transfer panas sampel 5 mm

Suhu udara pengering (oC)	Kec. Udara		Rc (lb/ft ² .hr)	Ti (oF)	λ (Btu/lb)
	(m/s)	(ft/hr)			
70	0.4	4724.35	0.00804	98.6	1038.004
	0.7	8267.62	0.02133	96.8	1038.973
	1	11810.88	0.03439	93.2	1041.108
80	0.4	4724.35	0.00322	100.4	1037.6
	0.7	8267.62	0.03222	96.8	1038.973
	1	11810.88	0.02079	98.6	1038.004
90	0.4	4724.35	0.02048	100.4	1037.6
	0.7	8267.62	0.02473	100.4	1037.6
	1	11810.88	0.02223	104	1034.88

h y (Btu/ft ² .F.hr)	a	b	RH (%)	G (lbm/ft ² .hr)
0.14042	0.01940	0.33305	4.1760	381.3072
0.36208	0.04465	0.32184	3.5125	667.2876
0.55256	0.06309	0.31633	3.7011	953.2679
0.04424	0.00603	0.33529	4.3940	381.3072
0.42273	0.05254	0.32063	3.7011	667.2876
0.27877	0.03082	0.32106	4.0670	953.2679
0.22705	0.03175	0.33098	4.1760	381.3072
0.27411	0.03343	0.32356	3.7956	667.2876
0.25566	0.02821	0.32132	4.0670	953.2679

Keterangan :

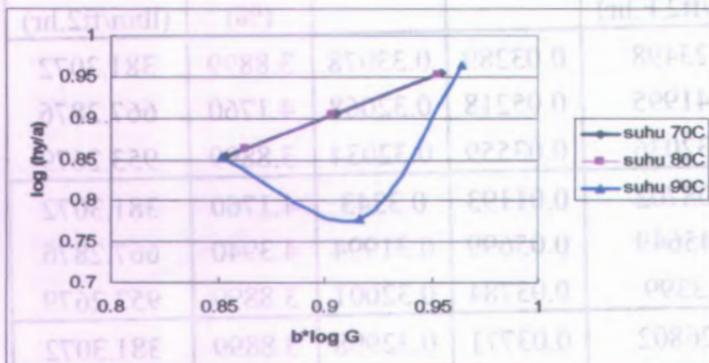
- Rc ; rate pada fase konstan (lb/ft².hr)
- h_y ; koefisien transfer panas (Btu/ft².°F.hr)
- a, b ; konstanta
- G ; mass velocity (lbm/ft².hr)
- λ ; latent heat (Btu/lb)

Hubungan koefisien transfer panas dengan mass velocity :

Suhu (oC)	log (h _y /a)	b*log G
70	0.8540	0.8538
	0.9057	0.9057
	0.9543	0.9544
80	0.8630	0.8629
	0.9036	0.9036
	0.9534	0.9534
90	0.8517	0.8518
	0.7790	0.9167
	0.9641	0.9642

Dari persamaan : $h_y = aG^b$

Untuk hubungan logaritmik didapatkan hasil seperti yang tercantum dalam tabel di samping ini



Gambar 4.9 hubungan logaritmik koefisien transfer panas sampel 7

mm

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada percobaan ini dapat disimpulkan

1. Kenaikan suhu udara pengering menyebabkan kenaikan laju pengeringan garam rakyat hingga dua kali dibandingkan suhu terendah. Pada sampel dengan tebal 7 mm dan kecepatan udara 0.7 m/s, rate pengeringan konstan suhu 90 °C (0,01792 gr/cm².jam) dan rate pengeringan konstan suhu 70 °C (0,08857 gr/cm².jam).
2. Kenaikan kecepatan udara pengering hanya sedikit menyebabkan kenaikan laju pengeringan garam atau nilainya hampir sama. Pada sampel ketebalan 5 mm dan suhu pengering 90 °C, rate konstan rata-rata pada kecepatan 1 m/s (0,0108 gr/cm².jam) dan pada kecepatan 0.4 m/s (0,0101 gr/cm².jam)
3. Tebal sampel tidak banyak berpengaruh pada laju pengeringan garam, tetapi lebih kepada waktu pengeringan untuk mencapai berat equilibrium. Pada sampel dengan suhu pengering 80 °C dan kecepatan udara 1 m/s, waktu untuk tebal 3 mm (540 menit), tebal 5 mm (760 menit) dan tebal 7 mm (870 menit)

Saran untuk penelitian ke depan adalah :

1. Melakukan pengeringan pada kondisi lingkungan yang sama, dan tidak berubah karena pengaruh cuaca.
2. Melakukan treatment udara pengering dengan merecycle udara panas keluaran
3. Melakukan percobaan pada suhu yang lebih tinggi.

DAFTAR NOTASI

A	Luas perpindahan massa dan panas (m^2)
M	Moisture content sembarang waktu, $kg H_2O/kg$
padatan kering	
MR	Perbandingan antara selisih moisture content sembarang waktu dan moisture content kesetimbangan dengan moisture content awal dan moisture kesetimbangan, tidak berdimensi
MR _{av}	Moisture rasio rata-rata, tidak berdimensi
R	Laju pengeringan ($kg H_2O / jam m^2$)
RH	Relatif Humiditi (%)
t	Waktu (jam)
T	Suhu ($^{\circ}C$)
v	Kecepatan udara pengering (m / s)
w	Massa sampel sembarang waktu (gram)
w _o	Massa sampel awal (gram)
w _e	Massa sampel saat kesetimbangan (gram)
x	Tebal sampel (mm)

Subscript

e	kesetimbangan
o	awal
t	sembarang waktu

DAFTAR PUSTAKA

- Badger, W.L. dan Banchemo , J.T.; 1955, *Introduction to Chemical Engineering*, , McGraw-Hill Book Company, New York, USA, 493-495
- Harianto, Dedi dan Khoir, Miftahul : “*Studi Karakteristik Pengeringan Limbah Padat Industri Tapioka*”, Skripsi Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS, Surabaya (2009)
- Geankoplis, C.J., 1993 *Transport Processes and Unit Operations*, 3th ed., Prentice Hall Inc, New Jersey, USA, 539 – 540
- Perry, R.H., dan Green, D., 1999, Solids Drying, *Perry's Chemical Engineers' Handbook*, 7th, McGraw-Hill Book Company, Englewood Cliffs, USA, 12-25 – 12-26
- Zimmerman, OT ; 1955, *Chemical Engineering Laboratory Equipment*, Industrial Research Service, New Hampshire
- , Modul Pengeringan. Panduan Pelaksanaan Laboratorium Instruksional I/II Departemen Teknik Kimia ITB, 2 Juli 2007
- , <http://statistik.dkp.go.id>

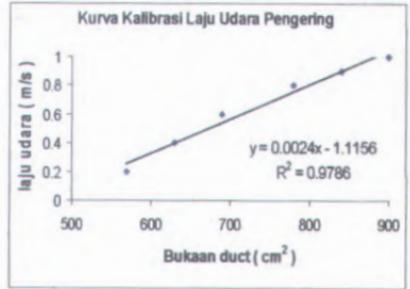
LAMPIRAN A

Contoh Perhitungan

1. Perhitungan laju alir udara pengering

Bukaan *duct* 700 cm² dari kurva kalibrasi udara

Dengan kalibrasi didapatkan kecepatan udara pengering
 $= 0.0024 (700) - 1.1156 = 0.5644 \text{ m/s}$



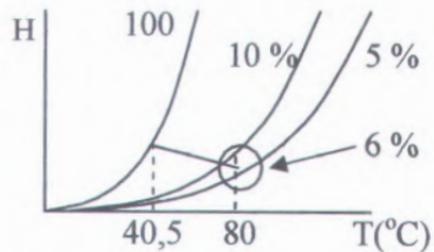
2. Penentuan Relatif Humiditi (%) percobaan

Relatif humiditi ditentukan memakai bantuan kurva humiditi (geankoplis hal 529)

Dari percobaan 1 didapat $T_d = 80 \text{ }^\circ\text{C}$ dan

$$T_w = 40,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

Dari kurva didapatkan RH = 6 %



3. Mencari Massa Sampel

$$\text{massa}_{\text{sampel} + \text{tray}} = 137 \text{ gram}$$

$$\text{massa}_{\text{tray}} = 9.2 \text{ gram}$$

$$\text{massa}_{\text{sampel}} = \text{massa}_{\text{sampel} + \text{tray}} - \text{massa}_{\text{tray}} = 137 - 9.2 = 127.8 \text{ gram}$$

4. Mencari Kadar Air Total

pengeringan di lakukan dalam oven.

massa sampel basah = 197.95 gram

massa sampel kering = 165.129 gram

$$\text{Kadar air total} = \frac{(197.95 - 165.129)}{197.95} = 0.1658 = 16.58 \%$$

5. Mencari Moisture Content

Metode perhitungan mirip dengan no 4

Data pada eksperimen sampel 5 mm, 70 °C, 0.7 m/s

Massa kering tanpa kandungan air sama sekali sampel 5 mm = 206.80gram

Massa basah sampel pada menit ke 20 = 230.37 gram

$$\begin{aligned} \text{Perhitungan wet basis} &= \frac{(\text{massa basah} - \text{massa kering})}{\text{massa basah}} \times 100 \% \\ &= \frac{230.37 - 206.80}{234.06 - 206.80} \times 100 \% = 79.1 \% \end{aligned}$$

6. Mencari Moisture Content Kesetimbangan

Untuk perhitungan *wet basis* metodenya sama dengan nomor 5 dengan mengganti massa basah dengan massa kesetimbangan.

pada eksperimen no. 5 massa kesetimbangan = 209.09 gram

$$\begin{aligned} \text{perhitungan dry basis} &= \frac{(\text{massa basah} - \text{massa kering})}{\text{massa kering}} \times 100 \% \\ &= \frac{230.37 - 209.09}{209.09 - 10.44} \times 100 \% = 10.71 \% \end{aligned}$$

7. Mencari Moisture Rasio (MR)

Data pada eksperimen 5 mm menit ke 20

w_0 = massa sampel awal = 234.06 gram

w_e = massa sampel saat kesetimbangan = 209.09 gram

w = massa sampel pada menit ke 20 = 230.37 gram

$$MR = \frac{w - w_e}{w_0 - w_e} = \frac{230.37 - 209.09}{234.06 - 209.09} = 0.852 (\text{tidak berdimensi})$$

8. Mencari Moisture Rasio Rata-Rata (MR_{av})

Data eksperimen 1 menit ke 0 dan 20. ini adalah nilai rata-rata MR pada selang waktu 20 menit pertama

$$MR_{\text{menit ke 0}} = 1$$

$$MR_{\text{menit ke 20}} = 0.8906$$

$$MR_{av} = \frac{1 + 0.8906}{2} = 0.9453$$

9. Mencari Laju Pengeringan (R) (Badger, hal 493 – 495)

Data eksperimen pada menit ke 0 dan 20. ini adalah nilai laju pengeringan rata-rata selang waktu 20 menit pertama

$$t_0 = 0 \text{ menit} \quad \rightarrow \quad w_0 = 127,8 \text{ gram}$$

$$t_{20} = 20 \text{ menit} \quad \rightarrow \quad w_{20} = 117,8 \text{ gram}$$

$$A = \text{luas permukaan perpindahan} = 225 \text{ cm}^2 = 0.0225 \text{ m}^2$$

$$R = \frac{w_{20} - w_0}{A(t_{20} - t_0)} = \frac{127,8 - 117,8}{225(20 - 0)} \text{ gram H}_2\text{O} / \text{menit cm}^2$$

$$= \frac{127,8 - 117,8}{225(20 - 0)} \times 30 \text{ kg H}_2\text{O} / \text{jam m}^2 = 1,3333 \text{ kg H}_2\text{O} / \text{jam m}^2$$

10. Mencari koefisien transfer panas (h_y)

persamaan dengan drying rate konstan : $R_c = \frac{h_y(T - T_i)}{\lambda_i}$

R_c ; drying rate konstan, diketahui dari grafik dengan mengambil nilai rata-rata

$$(\text{lbm}/\text{ft}^2 \cdot \text{hr})$$

λ ; panas laten uap air (Btu/lb)

h_y ; koefisien transfer panas (Btu/ft² · °F · hr)

➤ misalkan pada sampel 3 mm, 80 °C, dan kecepatan udara 0.4 m/s =

diketahui $R_c = 0.00884 \text{ lbm/ft}^2 \cdot \text{hr}$

$$\lambda = 1037.6 \text{ Btu/lb}$$

$$(T-T_i) = 75.6$$

maka nilai $h_y = 0.12139 \text{ Btu/ft}^2 \cdot \text{°F} \cdot \text{hr}$

11. Mencari konstanta koefisien transfer panas

persamaan ; $h_y = aG^b$

dari perhitungan nomor 10 diatas (sampel 3 mm, 80 °C),
didapatkan

$$h_y = 0.12139 \text{ Btu/ft}^2 \cdot \text{°F} \cdot \text{hr}$$

nilai $G = v \cdot \rho$, pada $v = 0.4 \text{ m/s}$

$$= 381.3072 \text{ lb/ft}^2 \cdot \text{hr}$$

nilai konstanta awal :

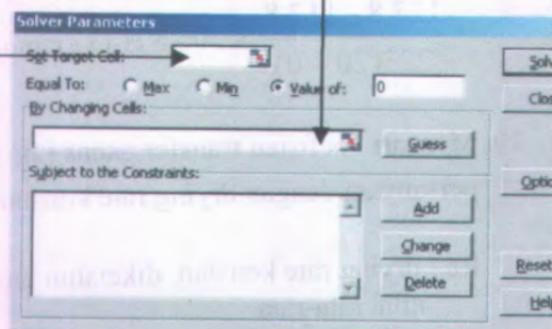
a	1
b	1

memasukkan kedalam persamaan dan mencari selisihnya dari
nilai h_y
selisih h_y dengan G

381.139

nilai konstanta baru :

a	0.01672
b	0.3335



LAMPIRAN B

TABEL B.1 Berat wadah percobaan

No	Tebal (mm)	Berat (gr)
1	3	10.04
2	5	10.44
3	7	10.71

TABEL B.2 Kondisi Operasi Eksperimen Sampel 3 mm

Suhu (oC)	Td in (oC)	Tw in (oC)	Td out (oC)	Tw out (oC)	v (m/s)	RH (%)
70	64	32	61	32	0.4	4.1760
	71	38	68	36	0.7	4.1760
	68	36	64	34	1	3.1062
80	80	41	75	38	0.4	4.3940
	78	39	71	37	0.7	3.8899
	83	41	72	39	1	3.8899
90	87	42	82	39	0.4	4.1760
	87	41	80	39	0.7	3.7011
	89	41	80	39	1	4.1760

TABEL B.3 Kondisi Operasi Eksperimen Sampel 5 mm

Suhu (oC)	Td in (oC)	Tw in (oC)	Td out (oC)	Tw out (oC)	v (m/s)	RH (%)
70	72	38	70	37	0.4	4.1760
	70	37	65	36	0.7	3.5125
	69	38	63	34	1	3.7011
80	79	40	47	38	0.4	4.3940
	76	39	67	36	0.7	3.7011
	77	41	70	37	1	4.0670
90	83	41	73	38	0.4	4.1760
	83	41	73	38	0.7	3.7956
	88	39	72	40	1	4.0670

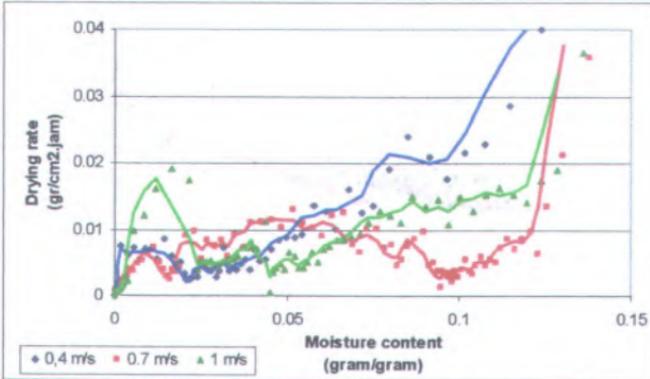
TABEL B.4 Kondisi Operasi Eksperimen Sampel 7 mm

Suhu (oC)	Td in (oC)	Tw in (oC)	Td out (oC)	Tw out (oC)	v (m/s)	RH (%)
70	72	38	70	37	0.4	3.8899
	71	38	66	37	0.7	4.1760
	69	38	66	37	1	3.8899
80	81	42	76	39	0.4	4.1760
	76	39	67	37	0.7	4.3940
	75	40	67	37	1	3.8899
90	84	41	75	38	0.4	3.8899
	89	43	80	39	0.7	4.1760
	82	42	75	38	1	4.1760

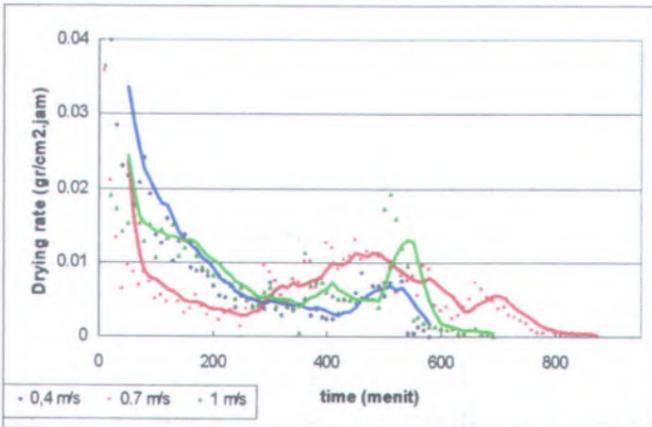
Hasil Penelitian untuk Berbagai Sampel

I. Tebal sampel 3 mm

➤ Suhu udara pengering 70°C , kecepatan udara 0.4 m/s, 0.7 m/s, dan 1 m/s



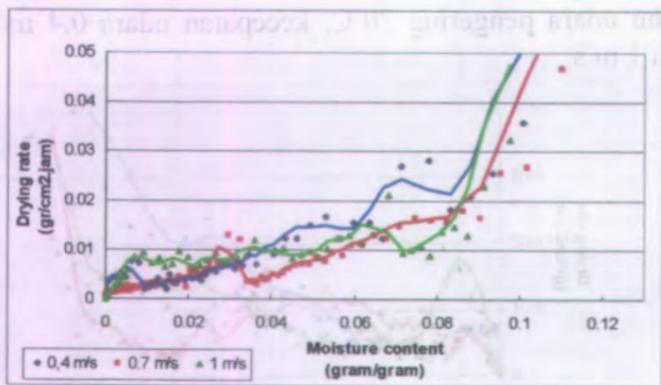
Gambar drying rate v.s moisture content



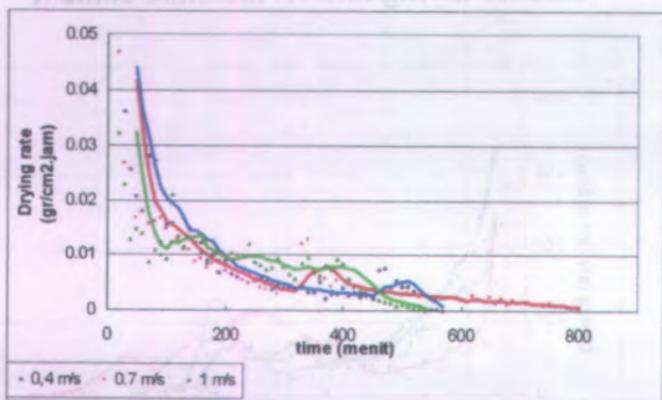
Gambar drying rate v.s time

Nilai rate pengeringan hampir sama untuk setiap kecepatan udara pengeringan.

➤ Suhu udara pengering 80°C , kecepatan udara 0.4 m/s, 0.7 m/s, dan 1 m/s



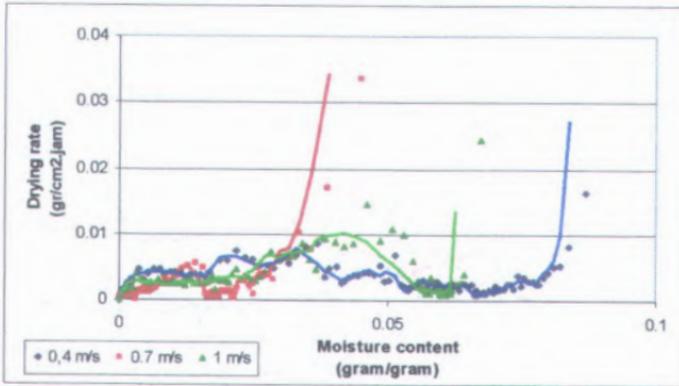
Gambar drying rate v.s moisture content



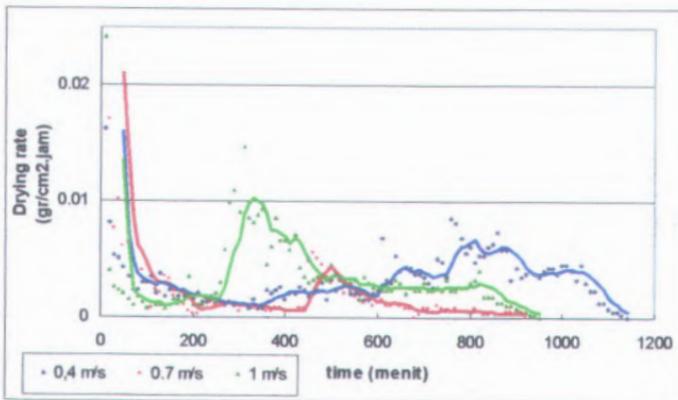
Gambar drying rate v.s time

Trendline untuk masing-masing kecepatan udara terlihat sama.

➤ Suhu udara pengering 90°C , kecepatan udara 0.4 m/s , 0.7 m/s , dan 1 m/s



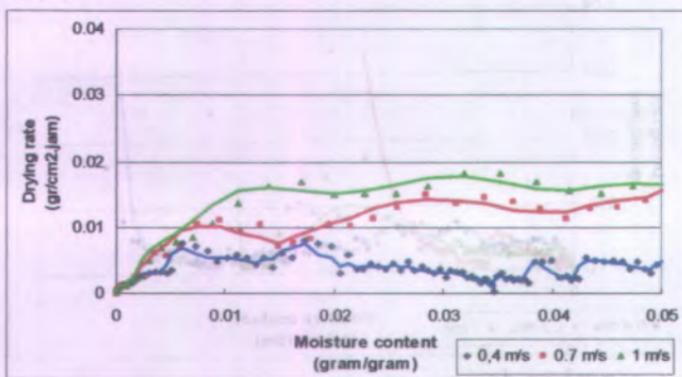
Gambar drying rate v.s moisture content



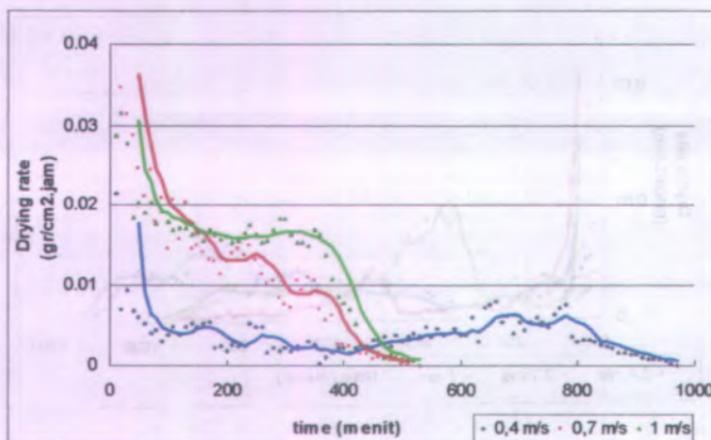
Gambar drying rate v.s time

II. Tebal sampel 5 mm

- Suhu udara pengering 70°C, kecepatan udara 0.4 m/s, 0.7 m/s, dan 1 m/s

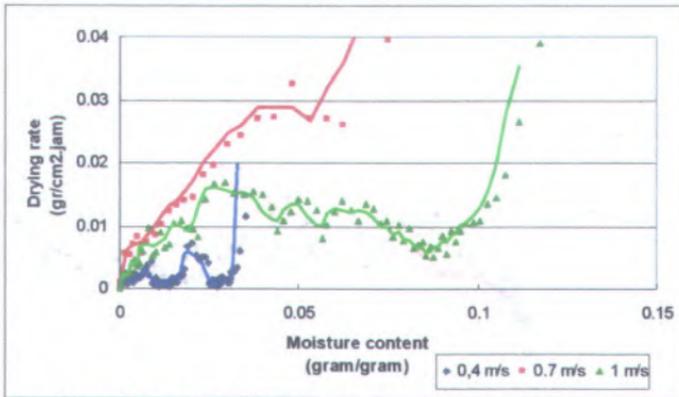


Gambar drying rate v.s moisture content

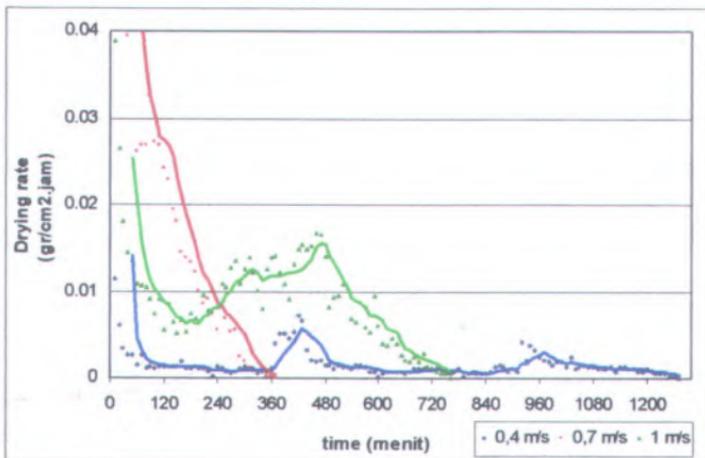


Gambar drying rate v.s time

➤ Suhu udara pengering 80°C , kecepatan udara 0.4 m/s , 0.7 m/s , dan 1 m/s



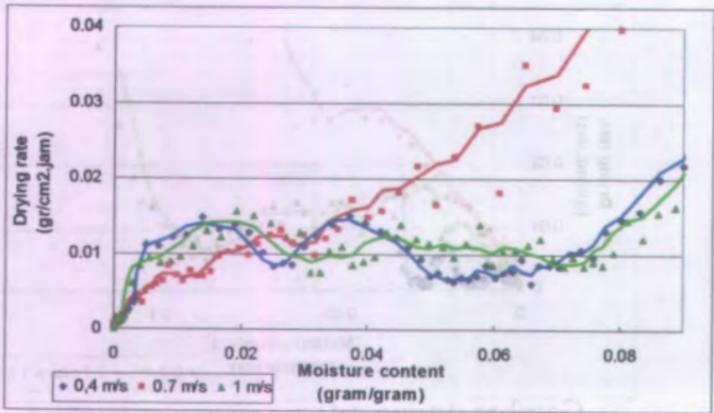
Gambar drying rate v.s moisture content



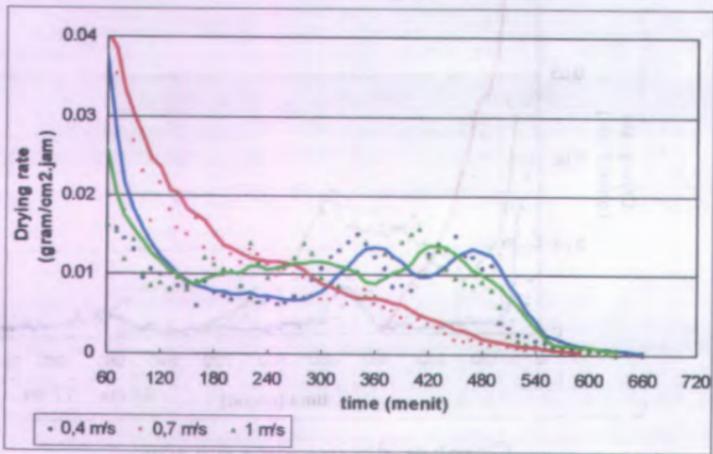
Gambar drying rate v.s time



➤ Suhu udara pengering 90°C , kecepatan udara 0.4 m/s , 0.7 m/s , dan 1 m/s



Gambar drying rate v.s moisture content

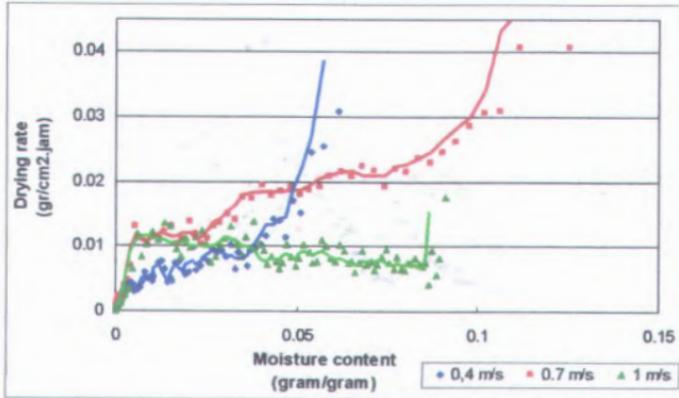


Gambar drying rate v.s time

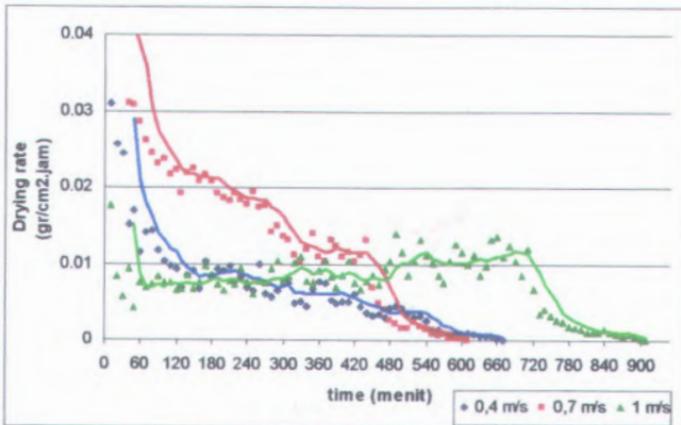


III. Tebal sampel 7 mm

➤ Suhu udara pengering 70°C , kecepatan udara 0.4 m/s, 0.7 m/s, dan 1 m/s

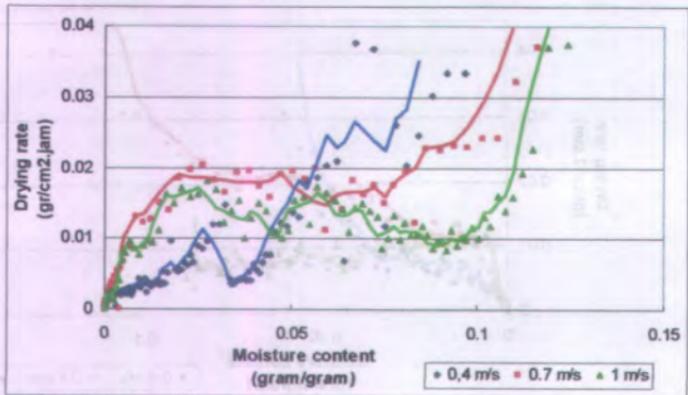


Gambar drying rate v.s moisture content

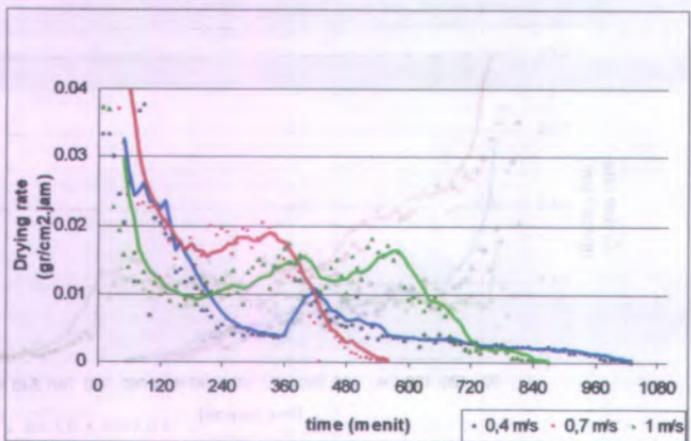


Gambar drying rate v.s time

➤ Suhu udara pengering 80°C , kecepatan udara 0.4 m/s , 0.7 m/s , dan 1 m/s

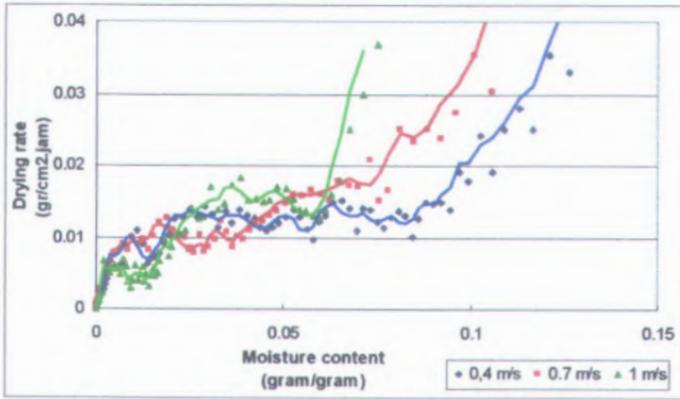


Gambar drying rate v.s moisture content

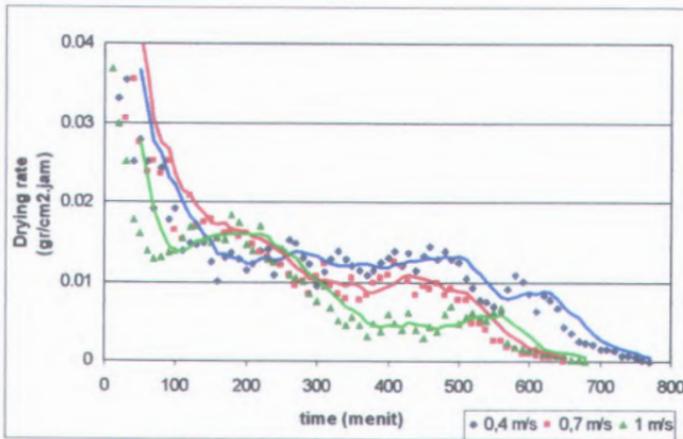


Gambar drying rate v.s time

- Suhu udara pengering 90°C , kecepatan udara 0.4 m/s , 0.7 m/s , dan 1 m/s



Gambar drying rate v.s moisture content



Gambar drying rate v.s time

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Gigih Iman Pamuji, dan biasanya dipanggil gigih atau iman. Dilahirkan di RS dikota Cirebon pada tanggal 29 July 1986, yang merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Sejak dari TK penulis sudah sering pindah sekolah dikarenakan dinas kantor ayahanda penulis, berawal dari TK Cirebon, TK Ujung Pandang (makasar), TK Jakarta Selatan, SDN 011, kelas 6 SRIT (jepang) hingga kelas 1 SMP tetapi sempat juga sekolah negeri jepang

bernama Aburamen Shogako, kelas 2 SMP YKPP DUMAI, kelas 3 SMPN 85 Jakarta Selatan, SMA Islam Dian Ilmu (sekarang bernama Labs School Cinere), dan terakhir kuliah di jurusan Teknik Kimia kampus ITS surabaya. Dilihat dari riwayat sekolahnya, penulis orang yang cukup mudah bergaul dengan kondisi teman-temannya yang berubah-ubah. Penulis pernah kerja praktek di PT. Chandra Asri, Cilegon. Ketika kuliah penulis mengerjakan TA di Laboratorium Teknik Reaksi Kimia, dengan judul "studi laju pengeringan garam" dan judul pra desain pabriknya "Natrium Bikarbonat dengan proses solvey". Penulis mempunyai beberapa kegemaran, yaitu bermain sepak bola, bilyard, game, membaca buku yang sejenis pengembangan diri, suka mengamati keadaan sekitar hingga politik walaupun tidak ada cita-cita menjadi pilitikus, jalan bersama teman ketika senggang, dan aktif di beberapa kegiatan sosial. Motto penulis adalah "Selalu berusaha dan berdoa".

Email : iman_tekkim@yahoo.com



BIODATA PENULIS

Penulis bernama lengkap Moch. Fauzi Anwar, lahir di Kediri, 25 Januari 1987. Adalah anak pertama dari dua bersaudara, dari pasangan Bapak Ahmadi dan Ibu Siti Kalimah.

Mahasiswa Teknik Kimia anggota keluarga besar K-44, dengan NRP 2304 100 124. Dalam dua semester ini menyelesaikan tugas akhir di Laboratorium Teknik Reaksi Kimia. Judul pra-desain pabrik adalah "Pabrik Natrium Bikarbonat dengan Proses Solvay".

Penulis mempunyai hobi olahraga, terutama jogging, dan membaca novel. Menyukai hal-hal baru yang memberi tantangan (tentunya yang tidak terlalu ekstrim), juga suka melakukan hal yang sedikit "gila" termasuk memanfaatkan peralatan lab untuk kepentingan pribadi 😊

Selama kuliah penulis (sedikit) aktif dalam keorganisasian, terutama dalam KINI. Bukan tipe yang menarik untuk diajak dalam rapat (karena selalu "menghilang" bila tidak dipaksa), tetapi tetap bisa diandalkan dalam mengerjakan sesuatu.

Motto pribadi penulis, "kemampuan manusia yang terbatas, tetapi hanya usaha keras yang tidak ada batasnya".

Email : fauzi_k44@yahoo.co.id