

Studi isoterm sorpsi lembab dan fraksi air terikat pada tepung galek



Oleh
Dyah Purnomosari
H0604019

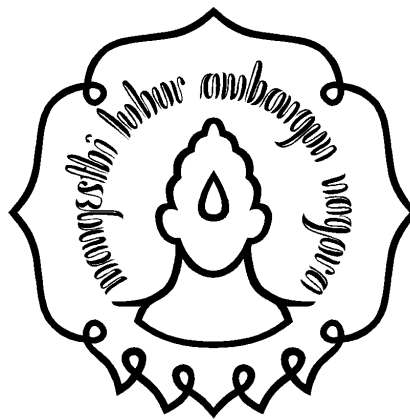
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA
2008

**STUDI ISOTERM SORPSI LEMBAB DAN FRAKSI AIR TERIKAT
PADA TEPUNG GAPLEK**

Skripsi

**Untuk memenuhi sebagian persyaratan
guna memperoleh derajat Sarjana Teknologi Pertanian
di Fakultas Pertanian
Universitas Sebelas Maret**

Jurusan/Progam Studi Teknologi Hasil Pertanian



Oleh

Dyah Purnomosari

H0604019

**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA**

2008

**STUDI ISOTERM SORPSI LEMBAB DAN FRAKSI AIR TERIKAT
PADA TEPUNG GAPLEK**

yang dipersiapkan dan disusun oleh
Dyah Purnomosari
H0604019

telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
pada tanggal : 23 September 2008
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Susunan Tim Penguji

Ketua

Anggota I

Anggota II

R. Baskara K. A, STP, MP
NIP. 132 318 019

Ir. Basito, MSi
NIP 131 285 883

Ir. Bambang S. A., MSi
NIP 131 955 591

Surakarta, Oktober 2008

Mengetahui
Universitas Sebelas Maret
Fakultas Pertanian
Dekan

Prof. Dr. Ir. H. Suntoro, MS
NIP 131 124 609

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga pada akhirnya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “ Studi Isoterm Sorpsi Lembab dan Fraksi Air Terikat pada Tepung Gaplek”.

Skripsi ini disusun dalam rangka untuk melengkapi persyaratan guna memperoleh gelar Sarjana Teknologi Pertanian pada Program Studi Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Dalam penyusunan skripsi ini penulis telah banyak mendapat bantuan, bimbingan, dan dorongan dari berbagai pihak. Sehubungan dengan hal tersebut, maka penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Suntoro, MS. selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret Surakarta.
2. Bapak Ir. Kawiji, MP. selaku Ketua Program Studi Teknologi Hasil Pertanian
3. Bapak R. Baskara K. A, STP, MP. selaku Pembimbing Utama sekaligus Penguji yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan bimbingan, petunjuk, serta dorongan yang sangat berarti bagi penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Ir. Basito, MSi. selaku Pembimbing Pendamping sekaligus Penguji yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan bimbingan, petunjuk, serta dorongan yang sangat berarti bagi penyusunan skripsi ini.
5. Bapak Ir. Bambang Sigit Amanto MSi. selaku Penguji yang telah memberikan bimbingan dan masukan yang sangat berarti bagi penyusunan skripsi ini.
6. Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknologi Hasil Pertanian yang telah mendidik dan membimbing penulis selama menempuh kuliah di Program Studi Teknologi Hasil Pertanian.
7. Semua Teknisi Laboratorium dan Staf Administrasi Program Studi Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Sebelas Maret Surakarta.

8. Keluarga tercinta, Bapak, Ibu, Nana, dan Arum yang merupakan sumber inspirasi sekaligus pemberi dorongan dan motivasi atas terselesainya skripsi ini.
9. Mas Anto...untuk semua bantuan, pengorbanan dan motivasinya selama ini dan untuk selamanya.
10. Temen senasib dan seperjuanganku dalam melakukan penelitian hingga menulis skripsi 'Allice' atas kesetiakawanan, bantuan dan kerjasamanya selama ini.
11. Anik, Era, Devi, Rosty, Punk, Lia, Danik atas kesetiakawanan bantuan dan kerja samanya selama di bangku kuliah.
12. Teman-temanku semua di Teknologi Hasil Pertanian 2004 atas waktu, kerjasama selama di bangku kuliah serta semua kenangan bersama kalian semoga akan selalu abadi.
13. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu atas bantuannya baik moril maupun materiil sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Dalam penulisan skripsi ini, penulis menyadari masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak untuk lebih menyempurnakan isi dari skripsi ini sehingga dapat lebih berguna dan membantu bagi pihak-pihak yang memerlukannya.

Surakarta, Oktober 2008

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL.....	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN.....	vii
RINGKASAN.....	viii
SUMMARY	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Perumusan Masalah	5
C. Batasan Masalah	6
D. Tujuan Penelitian	6
E. Manfaat Penelitian	6
BAB II LANDASAN TEORI	7
A. Tinjauan Pustaka	7
1. Ubikayu, Gaplek, dan Tepung Gaplek	7
2. Kadar Air dan Aktivitas Air (a_w)	9
3. Air Terikat	12
4. Isoterm Sorpsi Lembab (ISL)	14
B. Kerangka Berpikir.....	22
BAB III METODE PENELITIAN	23
A. Tempat dan Waktu Penelitian.....	23
B. Bahan dan Alat	23
1. Bahan	23
2. Alat.....	23
C. Tahap Penelitian.....	23
1. Penentuan Kadar Air Seimbang (<i>Equilibrium Moisture content</i>)	23

2. Penentuan Kurva Isoterm Sorpsi Lembab (ISL)....	26
3. Penentuan Batas Fraksi Air Terikat Primer	26
4. Penentuan Batas Fraksi Air Terikat Sekunder	26
5. Penentuan Batas Fraksi Air Terikat Tersier	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	28
A. Kurva Isoterm Sorpsi Lembab	28
B. Fraksi Air Terikat	30
1. Batas Fraksi Air Terikat Primer	30
2. Batas Fraksi Air Terikat Sekunder	32
3. Batas Fraksi Air Terikat Tersier.....	34
C. Pengeringan dan Stabilitas Tepung Gaplek Selama Penyimpanan dan Distribusi.....	34
1. Pengeringan Tepung Gaplek	34
2. Stabilitas Tepung Gaplek Selama Penyimpanan dan Distribusi.....	34
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	39
A. Kesimpulan	39
B. Saran	39
DAFTAR PUSTAKA	40
LAMPIRAN	44

DAFTAR TABEL

Nomor	Judul	Halaman
1.	Kandungan Gizi dalam Tiap 100 gr Ubikayu dan Berbagai Produk Olahannya.....	7
2.	Standard Mutu Gaplek *(Departemen Perdagangan RI).....	8
3.	Aktivitas Air (a_w) Beberapa Larutan Garam Jenuh pada Suhu 28 °C.	24
4.	Data Kadar Air Seimbang Tepung Gaplek dalam Berbagai Tingkat a_w pada 28 °C.....	28
5.	Hubungan Antara a_w dengan [$a_w(1-a_w)m$] Tepung Gaplek pada 28 °C	31
6.	Hubungan Antara Kadar Air Seimbang dengan Log (1- a_w) Tepung Gaplek pada 28 °C.....	32

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Judul	Halaman
1.	Tipe-tipe Kurva Isoterm Sorpsi Lembab	16
2.	Gambar Isoterm Sorpsi Air Bahan Pangan dengan Kadar Air Rendah	17
3.	Kurva Isoterm Sorpsi Lembab (Adsorpsi) Flake Pisang Cavendish Suhu 25 °C Berdasarkan Persamaan Polinomial Pangkat Tiga	19
4.	Kurva Isoterm Sorpsi Lembab (Desorpsi) Flake Pisang Cavendish Suhu 25 °C Berdasarkan Persamaan Polinomial Pangkat Tiga	20
5.	Susunan Alat untuk Analisa Kadar Air Seimbang	24
6.	Kurva Isoterm Sorpsi Lembab Tepung Gaplek pada 28 °C	29
7.	Kurva Hubungan Antara a_w dengan $[a_w(1-a_w)m]$ Tepung Gaplek pada 28 °C.....	31
8.	Kurva Hubungan Antara Kadar Air Seimbang dengan Log (1- a_w) Tepung Gaplek pada 28 °C.....	33
9.	Kurva Isoterm Sorpsi Lembab dan Fraksi Air Terikat Tepung Gaplek pada Suhu 28 °C.....	36

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Judul	Halaman
1.	Analisa Kadar Air.....	44
2.	Analisis Kadar Air Awal Tepung Gaplek.....	45
3.	Persamaan Regresi Pengaruh Suhu terhadap a_w Larutan Garam Jenuh	46
4.	Data Penimbangan Sampel Tiap Hari.....	48
5.	Data Analisa Kadar Air Tepung Gaplek pada Berbagai Aktivitas Air (a_w).....	49
6.	Perhitungan Kadar Air Tepung Gaplek pada Berbagai Aktivitas Air (a_w).....	50
7.	Perhitungan Batas Fraksi Air Terikat Primer, Sekunder dan Tersier.....	54
8.	Dokumentasi Kegiatan Penelitian.....	56

STUDI ISOTERM SORPSI LEMBAB DAN FRAKSI AIR TERIKAT PADA TEPUNG GAPLEK

DYAH PURNOMOSARI
H0604019

RINGKASAN

Gaplek merupakan salah satu bentuk pengolahan ubikayu yang paling sederhana. Gaplek dapat diolah lebih lanjut menjadi tepung gaplek. Mengingat nilai ekonomis ubikayu di Indonesia masih sangat rendah sehingga proses pengeringan dalam pembuatan tepung gaplek masih kurang diperhatikan. Pengeringan tepung gaplek yang baik diharapkan mencapai atau mendekati kadar air terikat primernya untuk menghindari kerusakan mikrobiologis, kimia maupun enzimatis. Tepung gaplek merupakan produk yang bersifat higroskopis sehingga mudah menyerap uap air. Akibatnya, kadar air dan aktivitas air tepung gaplek meningkat selama penyimpanan maupun distribusi. Peningkatan kadar air dan aktivitas air tepung gaplek tersebut juga menyebabkan tepung gaplek menjadi rentan terhadap kerusakan. Oleh sebab itu, pemahaman terhadap pola penyerapan uap air tepung gaplek perlu diketahui. Untuk mengetahui pola penyerapan air tepung gaplek dapat digunakan kurva isoterm sorpsi lembab (ISL).

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pola penyerapan air, fraksi air terikat (primer, sekunder dan tersier), pengeringan yang baik dan stabilitas tepung gaplek selama penyimpanan maupun distribusi berdasarkan kurva ISL. Kurva ISL tepung gaplek ditentukan dengan cara mengkondisikan tepung gaplek pada berbagai tingkat aktivitas air (a_w) menggunakan larutan garam jenuh pada suhu 28 °C. Selanjutnya data kadar air seimbang dan aktivitas air yang diperoleh diplotkan ke dalam bentuk grafik menggunakan model matematis polinomial pangkat tiga. Batas fraksi air terikat primer ditentukan dengan menggunakan persamaan BET (Braunauer-Emmet-Teller), batas fraksi air terikat sekunder ditentukan dengan mem-plot log (1- a_w) terhadap kadar air seimbang, dan batas fraksi air terikat tersier ditentukan pada saat $a_w = 1$.

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa kurva ISL tepung gaplek pada suhu 28 °C memiliki bentuk sigmoid (seperti huruf S) dengan persamaan kurva $y = 220,92x^3 - 224,68x^2 + 77,267x - 0,0188$. Batas fraksi air terikat primer tepung gaplek pada kadar air 5,9242 % db ($a_w = 0,1064$), batas fraksi air terikat sekunder pada kadar air 21,9280 % db ($a_w = 0,7217$), dan batas fraksi air terikat tersier pada kadar air 73,4882 % db ($a_w = 1$). Pada pembuatan tepung gaplek, pengeringan yang baik dilakukan hingga mencapai atau mendekati kadar air terikat primernya yaitu kadar air 5,9242 % db. Dengan pengeringan mencapai atau mendekati kadar air terikat primernya tersebut diharapkan dapat mempertahankan stabilitas tepung gaplek selama penyimpanan maupun distribusi.

Kata kunci : isoterm sorpsi lembab, fraksi air terikat, tepung gaplek.

STUDY ON MOISTURE SORPTION ISOTHERM AND BOUND WATER FRACTION OF *GAPLEK* FLOUR

DYAH PURNOMOSARI
H0604019

SUMMARY

The simplest processing of cassava is sun drying, yielding a product locally known as *gaplek*, which may further be processed later into *gaplek* flour. As in Indonesia the economic value of cassava is considerably low, no serious attention is given on drying the flour. Good quality *gaplek* flour has moisture close to its primary bound water content to prevent microbial, chemical, or enzymatic degradation. *Gaplek* flour is hygroscopic, easily absorbs moisture from the surroundings while in transport or during storage leading to increasing water content and water activity and eventually product damage. Knowledge of moisture sorption pattern of *gaplek* flour is of considerable importance. The pattern can be deduced from moisture sorption curve.

Objectives of the study were to obtain *gaplek* flour adsorption pattern toward air moisture, bound water fraction (primary, secondary, and tertiary), proper drying process, and flour stability during transportation and storage based on moisture sorption isotherm curve. The curve was determined by conditioning *gaplek* flour at varying water activities (a_w) using saturated salt solution at 28 °C. Data on water content at equilibrium were then plotted against water activity, and a polynomial of order three was estimated. Limit of primary bound water was determined using BET (Braunauer-Emmet-Teller) equation. That of secondary one was determined by plotting $\log(1-a_w)$ against water content at equilibrium, and that of tertiary one realized when $a_w = 1$.

It can be concluded that moisture sorption isotherm curve of *gaplek* flour at 28 °C resembled a sigmoid one (look like S) having estimated equation $y = 220,92 x^3 - 224,68 x^2 + 77,267 x - 0,0188$. Limits of primary, secondary, and tertiary bound water content were respectively 5,9242 % db (a_w 0,1064), 5,9242 % db – 21,928 % db (a_w 0,1064 – 0,7217), and 21,928 % db - 73.4882 % db (a_w 0,7217 - 1). In *gaplek* flour production process, drying must be done until moisture content close its primary bound water content i.e. 5,9242 %db. With this figure, the products were stable during transportation and in storage.

Keywords: moisture sorption isotherm, bound water fraction, *gaplek* flour.

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Ubikayu (*Manihot esculentta Crantz*) telah dikenal di Indonesia sejak awal abad ke-19 dan sering disebut singkong atau ketela pohon (Affandi, 1986 cit. Setyono, et al., 1990). Singkong atau ubikayu berasal dari Brazil, Amerika Selatan, yang menyebar ke Asia pada awal abad ke-17 dibawa oleh pedagang Spanyol dari Mexico ke Philipina. Kemudian menyebar ke Asia Tenggara, termasuk Indonesia (Anonim, 2007).

Dalam sistematika (taksonomi) tumbuhan, kedudukan tanaman ubikayu diklasifikasikan sebagai berikut :

Kingdom : Plantae (tumbuh-tumbuhan)
Divisi : Spermatophyta (tumbuhan berbiji)
Subdivisi : Angiospermae (berbiji tertutup)
Kelas : Dicotyledonae (biji berkeping dua)
Ordo : Euphorbiales
Famili : Euphorbiaceae
Genus : *Manihot*
Spesies : *Manihot esculentta* Crantz sin *M. Utilissima* Pohl
(Rukmana, 1997).

Ubikayu merupakan tanaman yang mudah dibudidayakan. Tanaman ubikayu dapat tumbuh dengan baik pada ketinggian tempat 10–700 m dpl, sedangkan toleransinya antara 10–1.500 m dpl. Di samping itu, syarat pertumbuhan tanaman ubikayu yang lain yaitu curah hujan mencapai 1500-2500 mm/tahun, suhu udara minimal sekitar 10 °C, kelembaban udara optimal antara 60-65 % dan sinar matahari yang dibutuhkan sekitar 10 jam/hari terutama untuk kesuburan daun dan perkembangan umbinya. Tanah yang paling sesuai untuk tanaman ubikayu adalah tanah yang gembur, tidak terlalu liat dan tidak terlalu poros serta kaya bahan organik. Derajat

keasaman (pH) tanah yang baik berkisar antara 4,5-8,0 dengan pH ideal 5,8 (Anonim, 2008).

Indonesia merupakan salah satu dari empat produsen ubikayu terbesar di dunia, setelah Nigeria, Brazil dan Thailand (Nadie, 2007). Berdasarkan data Direktorat Jenderal Tanaman Pangan Departemen Pertanian, produksi ubikayu di Indonesia pada tahun 2007 sebanyak 18,9 juta ton dengan luas panen 1,14 juta ha (Anonim^a, 2008). Menurut Khudori (2003), ditinjau dari segi hasil, produksi ubi kayu lebih tinggi dibandingkan beras. Ubikayu mampu menghasilkan 30-60 ton/ha sedangkan beras hanya 4-6 ton/ha.

Ubikayu dapat dimanfaatkan mulai dari daun sampai umbi segarnya. Di Indonesia ubikayu digunakan sebagai bahan makanan manusia, bahan makanan ternak, dan bahan industri. Sebagai bahan makanan manusia, ubikayu dapat diolah menjadi berbagai jenis makanan, seperti keripik, enyek-enyek dan opak yang diproduksi dalam skala industri rumah tangga. Di samping itu, ubikayu dapat diolah menjadi produk antara (*intermediate product*), seperti gaplek, tepung gaplek, tepung tapioka, dan gaplek chips. Di negara-negara maju, ubikayu dijadikan bahan baku industri tepung tapioka, pembuatan alkohol, etanol, gasohol, tepung gaplek, dan lain-lain. Tepung tapioka dibutuhkan dalam industri lem, tekstil serta industri kimia (Rukmana, 1997). Ubikayu juga dimanfaatkan sebagai bahan dalam industri gum, dextrin, maltosa, sirup fruktosa, asam sitrat, asam laktat, dan *modified starch*. Taksiran penggunaan total produksi ubikayu di Indonesia yaitu : 60 % sebagai bahan makanan, 10 % untuk bahan baku makanan ternak, 15,5 % diekspor dan sisanya untuk bahan baku industri (Suharja, 2008).

Salah satu bentuk pengolahan ubikayu yang paling sederhana adalah gaplek. Gaplek dalam pengertian umum adalah hasil pengeringan umbi ubikayu dalam bentuk utuh, gelondongan, potongan atau irisan yang telah dikupas kulitnya. Dengan dibuat gaplek, ubikayu akan memiliki umur simpan lebih lama. Ubikayu segar hanya memiliki umur simpan 2-3 hari, namun dengan dibuat gaplek ubikayu dapat tahan selama 1-2 bulan.

Pada daerah-daerah lahan kering di Indonesia, penduduk memanfaatkan gaplek sebagai bahan makanan utama. Gaplek diolah menjadi tepung gaplek yang biasanya dimanfaatkan sebagai bahan pembuat tiwul. Selain itu, tepung gaplek juga mempunyai potensi untuk dimanfaatkan sebagai tepung campuran (tepung komposit) yaitu tepung gaplek dicampur dengan tepung lainnya seperti tepung terigu, tepung beras, dan tepung kacang hijau. Tepung campuran tersebut bisa digunakan dalam pembuatan roti, mie, kue, atau produk-produk makanan ringan lainnya. Bahkan menurut Khudori (2003), tepung campuran dengan substitusi rendah (10 %) bisa digunakan untuk pembuatan roti dan kue-kue kering dengan mutu, rasa, tekstur, dan kenampakan yang setara dengan roti dan kue-kue kering dari tepung terigu murni. Hal ini mengindikasikan bahwa tepung gaplek dapat diorientasikan untuk substitusi tepung terigu. Bagi negara Indonesia yang bukan negara penghasil gandum sehingga harus mengimpor gandum dari luar, adanya substitusi tepung terigu dengan tepung gaplek tentunya dapat menghemat devisa. Selain itu, tepung gaplek juga dapat digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan bioetanol.

Tepung gaplek diperoleh dengan cara menggiling atau menumbuk gaplek menjadi partikel yang kecil (lembut) dan setelah itu dilakukan pengayakan sesuai kebutuhan (maksimal 100 mesh). Kandungan gizi dari tepung gaplek dalam 100 gram bahan antara lain kalori 363 kal, protein 1,1 g, lemak 0,5 g, karbohidrat 88,2 g, kalsium 84 mg, phosphor 125 mg, Fe 1,0 mg, vitamin A nol, vitamin B₁ 0,04 mg, vitamin C nol, dan air 9,1 g (Depkes RI, 1981).

Dalam pembuatan tepung gaplek, proses pengeringan penting untuk diperhatikan. Proses pengeringan bertujuan untuk menurunkan kadar air umbi ubikayu sampai tingkat tertentu. Kadar air ubikayu sebesar 62,5 % dan tepung gaplek sebesar 9,1 % (Depkes RI, 1981). Mengingat nilai ekonomis ubikayu di Indonesia sampai saat ini masih sangat rendah menyebabkan proses pengeringan masih kurang diperhatikan. Metode pengeringan dalam pembuatan gaplek itu sendiri sampai saat ini masih banyak dilakukan dengan

cara menjemur di tanah tanpa alas tikar, tanpa pembalikan, dan tanpa pengaturan aerasi sehingga memungkinkan kadar air gaplek masih tinggi. Pengerinan yang kurang sempurna tersebut akan mempengaruhi kualitas tepung gaplek yang dihasilkan yaitu tepung gaplek akan rentan terhadap kerusakan. Tepung gaplek yang telah rusak biasanya ditandai dengan tumbuhnya jamur, terbentuknya gumpalan, terjadi perubahan warna dan *off flavor* pada tepung gaplek.

Berdasarkan derajat keterikatan air dalam bahan pangan, air terikat dapat dikategorikan menjadi tiga yaitu air terikat primer, air terikat sekunder, dan air terikat tersier. Air terikat primer merupakan molekul air yang terikat sangat kuat pada molekul-molekul lain dalam bahan pangan seperti karbohidrat atau protein. Air terikat primer tidak dapat berperan dalam kerusakan bahan pangan seperti kerusakan mikrobiologis (pertumbuhan mikrobia), enzimatis, kimia kecuali oksidasi lemak. Oleh sebab itu, proses pengerinan dalam pembuatan tepung gaplek diharapkan hingga mencapai atau mendekati kadar air terikat primernya.

Berbeda dengan air terikat primer, air terikat sekunder dan air terikat tersier adalah molekul air yang mempunyai ikatan air yang lemah dengan molekul air lain sehingga dapat membantu proses kerusakan pada bahan pangan baik itu kerusakan mikrobiologis, kimiawi, maupun enzimatis. Winarno (2002) menyebutkan bahwa kerusakan mikrobiologis dapat terjadi karena adanya pertumbuhan mikrobia sedangkan kerusakan kimiawi dapat terjadi karena adanya reaksi-reaksi kimia yang merusak bahan pangan seperti reaksi browning, hidrolisis atau oksidasi lemak. Menurut Buckle, et al (1987), kerusakan enzimatis dalam bahan pangan seperti browning dapat menyebabkan perubahan warna yang tidak dikehendaki.

Selain pengerinan, penyimpanan tepung gaplek yang baik juga berkontribusi dalam menentukan kualitas tepung gaplek. Sebagai bahan makanan kering, tepung gaplek memiliki sifat higroskopis. Tepung gaplek akan menyerap uap air dari lingkungannya baik selama penyimpanan maupun distribusi. Akibatnya, kadar air dan aktivitas air tepung gaplek meningkat.

Perubahan sifat tepung galek tersebut tidak dapat diterima oleh pasar karena dapat memacu kerusakan tepung galek. Oleh sebab itu, pemahaman terhadap perubahan sifat tepung galek selama penyimpanan dan distribusi terutama yang berhubungan dengan pola penyerapan uap air tepung galek perlu diketahui. Untuk mengetahui pola penyerapan air tepung galek dapat digunakan kurva isoterm sorpsi lembab (ISL). Kurva isoterm sorpsi lembab (ISL) adalah kurva yang menggambarkan pola penyerapan uap air pada suatu bahan dimana kurva tersebut menghubungkan data kadar air seimbang dengan aktivitas air (a_w) pada suatu bahan pada suhu tertentu.

Isoterm sorpsi lembab dan fraksi air terikat pada tepung galek sangat penting dalam merancang proses pengeringan, terutama menentukan titik akhir pengeringan serta menentukan stabilitas tepung galek selama penyimpanan maupun distribusi. Oleh karena itu, penelitian terhadap isoterm sorpsi lembab dan fraksi air terikat dalam suatu tepung galek perlu untuk dilakukan.

B. Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas, maka dapat dirumuskan beberapa masalah dalam penelitian ini, antara lain :

1. Bagaimana pola penyerapan uap air tepung galek berdasarkan kurva isoterm sorpsi lembab (ISL)?
2. Dimana batas fraksi air terikat (kadar air) tepung galek baik fraksi primer, sekunder, dan tersier berdasarkan kurva isoterm sorpsi lembab (ISL)?
3. Bagaimana batas kadar air akhir untuk pengeringan tepung galek yang baik dan stabilitas tepung galek selama penyimpanan maupun distribusi berdasarkan kurva isoterm sorpsi lembab (ISL)?

C. Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi pada hal-hal sebagai berikut :

1. Pembahasan dibatasi pada penentuan kurva isoterm sorpsi lembab (ISL) dan fraksi air terikat (kadar air) pada tepung gaplek baik fraksi air terikat primer, sekunder, maupun tersier.
2. Aplikasi singkat dari hasil kurva isoterm sorpsi lembab (ISL) dan fraksi air terikat pada proses pengeringan dan stabilitas tepung gaplek selama penyimpanan maupun distribusi.

D. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini antara lain :

1. Mengetahui pola penyerapan uap air tepung gaplek berdasarkan kurva isoterm sorpsi lembab (ISL).
2. Mengetahui batas fraksi air terikat (kadar air) tepung gaplek baik fraksi primer, sekunder, dan tersier berdasarkan kurva isoterm sorpsi lembab (ISL).
3. Mengetahui batas kadar air akhir untuk pengeringan tepung gaplek yang baik dan stabilitas tepung gaplek selama penyimpanan maupun distribusi berdasarkan kurva isoterm sorpsi lembab (ISL).

E. Manfaat Penelitian

Penelitian ini dapat memberikan informasi pencegahan kerusakan tepung gaplek oleh adanya penyerapan uap air sehingga dapat memperpanjang umur simpan tepung gaplek.

BAB II LANDASAN TEORI

A. Tinjauan Pustaka

1. Ubikayu, Gaplek dan Tepung Gaplek

Ubikayu dapat digunakan sebagai bahan makanan manusia, bahan makanan ternak, dan bahan industri. Berikut ini disajikan kandungan gizi dalam tiap 100 gr Ubikayu dan berbagai produk olahannya.

Tabel 2.1 Kandungan Gizi dalam Tiap 100 gr Ubikayu dan Berbagai Produk Olahannya.

Kandungan	Ubikayu biasa	Ubikayu kuning	Gaplek	Tapioka	Tepung gaplek
Kalori (kal)	146	157	338	362	363
Protein (g)	1,2	0,8	1,5	0,5	1,10
Lemak (g)	0,3	0,3	0,7	0,3	0,5
Karbohidrat (g)	34,7	37,9	81,3	86,9	88,20
Kalsium (mg)	33	33	80	0	84
Fosfor (mg)	40	40	60	0	125
Zat besi (mg)	0,7	0,7	1,9	0	1
Vitamin A (SI)	0	385	0	0	0
Vitamin B1 (mg)	0,06	0,06	0,04	0	0,04
Vitamin C (mg)	30	30	0	0	0
Air (g)	62,5	60	14,5	12	9,1
Bagian yang dapat dimakan (%)	75	75	100	100	100

Sumber: Depkes RI, 1981.

Gaplek adalah salah satu produk usaha pengawetan untuk memperpanjang masa simpan ubikayu. Ubikayu segar biasanya hanya mempunyai masa simpan selama 2 sampai 3 hari saja. Gaplek pada pengertian umum ialah hasil pengeringan daripada umbi ubikayu yang telah dikupas kulitnya dan dicuci. Biasanya pengeringan tersebut dilakukan dengan cara penjemuran di bawah sinar matahari. Gaplek yang dihasilkan biasanya berwarna putih sampai putih kekuning-kuningan, berbau agak asam, dan mempunyai kadar air 10 sampai 12 % (Yulineri dkk., 1997).

Gaplek merupakan cara pengolahan ubikayu yang paling sederhana dijadikan gaplek atau *chips*. Dengan dibuat gaplek, kadar kelembaban ubikayu dapat ditekan menjadi 12-13 % sehingga bahan lebih mudah diangkut dan dipindahkan ke tempat lain dengan biaya yang lebih murah, serta lebih tahan disimpan lama (Tjokroadikoesoemo, 1985). Menurut

Damardjati dan Widowati (1993), gaplek yang dibuat secara tradisional mempunyai mutu yang rendah (berwarna coklat kehitaman), cepat diserang serangga, dan hanya mempunyai masa simpan selama 1-2 bulan.

Proses yang paling singkat dalam penundaan pemakaian singkong lepas panen adalah pembuatan gaplek. Pembuatan dan alur kerjanya yang sederhana memberikan konsekuensi logis hasilnya kurang baik. Aktivitas kerja yang dilakukan hanya sebatas pengupasan, pembelahan, dan pengeringan langsung yang diletakkan di atas tanah, tikar bambu dan pinggir-pinggir jalan. Meskipun ada yang melakukan pencucian setelah singkong terkelupas, namun sebagian besar tidak dilakukan proses pencucian (Ainuri, 1992).

Penelitian untuk memperbaiki teknik pengawetan dan pengeringan ubikayu secara sederhana dan dapat dilakukan oleh petani untuk meningkatkan mutu dan daya simpan produk ubikayu masih diperlukan. Dari hasil penelitian pengawetan dan pengeringan ubikayu dengan perendaman larutan Na-bisulfit 0,4 % selama 10-15 menit kemudian dikeringkan sampai kadar air 14 % dapat diperoleh gaplek yang berwarna putih dan lebih tahan disimpan (mencapai 8 bulan) (Damardjati dan Widowati, 1993).

Tabel 2.2 Standard Mutu Gaplek *(Departemen Perdagangan RI)

Komponen	Tingkat I	Tingkat II	Tingkat III
Kadar air (%maks)	14,0	14,0	15,0
Kadar tepung (%maks)	70,0	68,0	65,0
Serat (% maks)	4,0	5,0	6,0
Kotoran (% maks)	4,0	5,0	7,0

- Gaplek gelondong, kripek, tepung, dan pelet.

(Makfoeld, 1982).

Tepung gaplek berasal dari bahan dasar gaplek yang merupakan hasil olahan ubikayu yang diperoleh dengan cara mengupas dan mengeringkan ubikayu sampai kadar air tertentu. Gaplek atau chips kering diolah menjadi tepung gaplek dengan cara melakukan penggilingan lalu diayak (Widodo dkk., 2003). Dalam Suismono dan Wibowo (1991)

disebutkan bahwa tingkat kerusakan dalam penyimpanan pada bentuk tepung relatif lebih kecil dibandingkan bentuk gaplek glondong karena hama gudang cenderung menggerek dengan membuat lubang pori.

2. Kadar Air dan Aktivitas Air (a_w)

a. Kadar Air

Kadar air adalah persentase kandungan air suatu bahan, yang dapat dinyatakan berdasarkan berat basah (*wet basis*) atau berdasarkan berat kering (*dry basis*). Kadar air berat basah mempunyai batas maksimum teoritis sebesar 100 persen, sedangkan kadar air berdasarkan berat kering dapat lebih dari 100 persen (Syarief dan Hariyadi, 1993).

Kadar air dalam bahan makanan senantiasa akan berubah-ubah tergantung dari lingkungannya. Perubahan kadar air dalam bahan makanan terhadap lingkungannya dapat terjadi secara desorpsi maupun adsorpsi. Hal ini dipengaruhi oleh aktivitas molekul airnya (Suyitno, 1995).

Air dalam suatu bahan makanan terdapat dalam tiga bentuk, yaitu:

1. Air bebas, terdapat dalam ruang antar sel dan inter granular dan pori – pori yang terdapat dalam bahan.
2. Air yang terikat secara lemah karena terserap (teradsorpsi) pada permukaan koloid makromolekuler seperti protein, pektin, pati, selulosa. Selain itu air juga terdispersi diantara koloid tersebut dan merupakan pelarut zat-zat yang ada dalam sel. Air yang ada dalam bentuk ini masih tetap mempunyai sifat air bebas dan dapat dikristalkan pada proses pembekuan.
3. Air dalam keadaan terikat kuat, yaitu membentuk hidrat. Ikatannya bersifat *ionic* sehingga relatif sukar dihilangkan atau diuapkan. Air ini tidak membeku meskipun pada 0 °F.

Air yang terdapat dalam bentuk bebas dapat membantu terjadinya proses kerusakan bahan makanan, misalnya proses mikrobiologis, kimiawi, enzimatik, bahkan aktivitas serangga perusak. Sedangkan air yang terikat kuat tidak dapat membantu proses kerusakan bahan makanan. Oleh karenanya, kadar air bahan merupakan parameter absolut untuk dipakai meramalkan kecepatan terjadinya kerusakan bahan makanan. Dalam hal ini dapat digunakan pengertian a_w (aktivitas air) untuk menentukan kemampuan air dalam proses-proses kerusakan bahan makanan (Sudarmadji dkk., 1989).

Fenomena pengikatan dan pelepasan uap air oleh bahan makanan disebut sorpsi lembab. Adsorpsi (penyerapan) terjadi apabila kadar air udara lebih tinggi daripada kadar air bahan makanan sedangkan desorpsi (pelepasan) terjadi apabila kadar air makanan lebih tinggi daripada kadar air lingkungannya. Proses adsorpsi dan desorpsi pada bahan makanan akan menciptakan keseimbangan antara kadar air bahan makanan dengan kelembaban udara sekitarnya. Bahan dinyatakan dalam keadaan seimbang dengan udara sekelilingnya apabila bahan tersebut melepaskan molekul air dari udara (Hall, 1971 cit. Sukmono, 1998). Kadar air pada keadaan ini sering disebut sebagai kadar air seimbang atau *Equilibrium Moisture Content* (EMC).

b. **Aktivitas Air (a_w)**

Aktivitas air atau *water activity* (a_w) adalah jumlah air bebas yang dapat digunakan oleh mikrobia untuk pertumbuhannya. Sebagaimana diketahui, bahwa kandungan air suatu bahan tidak dapat digunakan sebagai indikator nyata dalam menentukan ketahanan simpan. Istilah aktivitas air digunakan untuk menjabarkan air yang tidak terikat atau bebas dalam suatu sistem yang dapat menunjang reaksi biologis dan kimiawi. Air yang terkandung dalam bahan pangan, apabila terikat kuat dengan komponen bukan air lebih sukar digunakan baik untuk aktivitas mikrobiologis maupun aktivitas kimia hidrolitik. (Syarif dan Hariyadi, 1993).

Aktivitas air (a_w) adalah potensi kimia relatif dari air. Pemakaian kata relatif dimasukkan untuk memudahkan penjelasan bahwa air murni atau air bebas a_w –nya ditetapkan sebesar satu. Air yang terikat oleh atau dalam bahan makanan memiliki a_w kurang dari satu. Oleh sebab itu nilai a_w nir satuan atau tidak bersatuan. Besarnya a_w bahan makanan berbeda-beda menurut sifat relatifnya terhadap air murni, dan hal ini sangat dipengaruhi oleh sifat produk serta kondisi lingkungannya (Suyitno, 1995).

Aktivitas air dinyatakan sebagai perbandingan antara tekanan uap bahan (P) dengan tekanan uap air murni (P_o) pada suhu yang sama. Perbandingan ini juga menggambarkan kelembaban relatif seimbang atau Equilibrium Relative Humidity (ERH) udara sekitar bahan terhadap kadar air bahan. Oleh karena itu, dalam keadaan seimbang, besarnya a_w sama dengan ERH dibagi 100 (Adnan, 1982).

Pengendalian dan pengukuran a_w didasari pada pengendalian kelembaban nisbi udara. Cara yang paling banyak dilakukan untuk mengendalikan RH udara adalah menggunakan berbagai jenis larutan garam jenuh atau asam sulfat. Larutan garam atau asam sulfat ditempatkan dalam suatu wadah yang tertutup rapat, misalnya desikator. Wadah yang berisi larutan garam atau asam sulfat tersebut ditempatkan dalam suatu ruangan yang suhunya diatur tetap. Keuntungan pemakaian garam jenuh adalah adanya penyerapan atau penguapan air pada sampel selama ekuilibrase tidak berpengaruh terhadap a_w . Sedangkan kelemahannya yaitu larutan harus sering diaduk untuk mempertahankan homogenitas dan tidak selalu ada jenis garam yang sesuai dengan a_w yang dikehendaki. Keuntungan dari penggunaan asam sulfat adalah konsentrasinya dapat diatur sehingga dapat memperoleh a_w seperti yang dikehendaki. Sedangkan kelemahannya adalah harga RH atau a_w yang diperoleh sangat sensitif terhadap penyerapan atau pelepasan air pada sampel (Suyitno, 1995).

3. Air Terikat

a. Definisi dan Sifat-Sifat Air Terikat

Di dalam bahan pangan air terdapat dalam bentuk air bebas dan air terikat. Air bebas mudah dihilangkan dengan cara penguapan atau pengeringan, sedangkan air terikat sangat sukar dihilangkan dari bahan pangan tersebut meskipun dengan cara pengeringan (Winarno dkk., 1980).

Ikatan hidrogen adalah ikatan antara dua molekul yang menyertakan dua gugus fungsional, satu molekul berperan sebagai donor proton (bermuatan positif) dan yang lain sebagai asepton proton (bermuatan negatif). Satu molekul air dapat diikat oleh bahan lain melalui ikatan jembatan hidrogen. Molekul air juga bisa diikat oleh molekul air lain yang sudah terikat pada suatu bahan. Mekanisme pengikatan menghasilkan perbedaan posisi air terikat dan energi pengikatannya (Meyer, 1973 cit. Sukandar 1999).

Air terikat mempunyai sifat-sifat yang berbeda dengan air kamba atau air bebas (*free water*) maupun air beku. Diantara sifat-sifat tersebut adalah tidak membeku pada suhu rendah, tidak dapat berperan sebagai pelarut dan pereaksi, tidak dapat berperan dalam reaksi enzimatik dan pertumbuhan jasad renik, memiliki tekanan uap yang rendah serta memiliki kapasitas panas dan berat jenis yang tinggi (Soekarto, 1978 cit. Chandra, 1998).

Air terikat adalah sejumlah molekul air yang berinteraksi secara kuat dengan solut yang bersifat hidrofilik. Air dalam bahan pangan terikat secara kuat pada sisi-sisi kimia komponen bahan pangan misalnya dengan grup hidroksil dari polisakarida, grup karbonil dan amino dari protein dan sisi polar lain yang dapat mengikat air melalui ikatan hidrogen, ikatan ion-dipole atau ikatan kimia lainnya (Marsili, 1993).

b. Pembagian Wilayah Air Terikat

Watt (1983) cit. Sukandar (1999) mengelompokkan air terikat menjadi tiga kelompok sesuai dengan kekuatan ikatannya. Pertama adalah air yang terikat dengan energi yang paling besar yakni yang terikat dengan jembatan hydrogen oleh gugus aktif seperti hidroksil. Kelompok kedua adalah air yang terikat dengan jembatan hidrogen oleh molekul air lain yang sudah terikat pada molekul makro sehingga kekuatannya lebih lemah. Sedangkan kelompok yang ketiga adalah air yang terikat secara lemah sehingga aktivitasnya mendekati air bebas.

Troller dan Christian (1978) cit. Sukandar (1999) menyatakan bahwa air yang benar-benar terikat adalah kelompok pertama dan kedua yang disebut sebagai air terikat primer dan sekunder. Kelompok ketiga adalah air bebas yang terdapat pori-pori kapiler dan di dalam sel sebagai pelarut senyawa lain seperti gula, garam, dan asam. Kelompok ketiga ini disebut sebagai air terikat tersier.

Menurut Suyitno (1995), air yang terikat pada bahan makanan berdasarkan posisi molekulnya dengan gugus aktif bahan makanan dapat dikategorikan menjadi tiga, sebagai berikut :

- Daerah IL-1 ($a_w < 0,25$), dimana air terdapat dalam bentuk lapis tunggal yaitu molekul air terikat sangat kuat sehingga sulit diuapkan. Pada daerah ini walaupun kerusakan-kerusakan lainnya dapat dihambat, namun oksidasi lemak akan meningkat dengan menurunnya nilai a_w . Karena air tidak lagi sebagai *barier* sehingga O_2 dapat lebih mudah mengadakan kontak dengan lemak.
- Daerah IL-2 (a_w antara 0,25-0,75), air terikat kurang kuat dimana kerusakan mikrobiologis dapat dicegah namun pada bagian atas dari daerah ini kerusakan kimiawi maupun enzimatik dapat berjalan cepat. Sedangkan pada bagian bawah IL-2 dapat dikatakan sebagai daerah yang paling stabil dimana kecepatan ketiga kerusakan tersebut paling kecil.
- Daerah IL-3 (a_w diatas 0,75), air dalam keadaan bebas atau disebut sebagai kondensasi kapiler sehingga laju kerusakan

bahan makanan secara mikrobiologi, kimiawi maupun enzimatik berlangsung dengan cepat.

Bahan makanan mempunyai sejumlah gugus aktif yang dapat berikatan dengan air melalui ikatan hidrogen maupun ikatan ionik dipol. Air yang terikat langsung oleh gugus aktif bahan makanan disebut air terikat primer. Sedangkan air yang terikat oleh air terikat primer disebut air terikat sekunder dan air yang terikat oleh air terikat sekunder disebut air terikat tersier. Air terikat tersier merupakan air yang terikat sangat lemah sehingga sifatnya seperti air kondensasi atau air bebas (Labuza, 1968 ; Soewarno, 1978; Van den Berg, 1981; Watt, 1983 cit Suyitno, 1995).

Stabilitas bahan makanan yang memiliki kadar air diatas kadar air lapis tunggal akan mulai menurun. Hal ini disebabkan mobilitas zat-zat terlarut didalam bahan semakin tinggi. Oleh sebab itu, reaksi-reaksi kimia mulai dapat berlangsung meskipun dengan kecepatan yang sangat terbatas (Adnan, 1982).

4. Isoterm Sorpsi Lembab (ISL)

a. Pola Isoterm Sorpsi Lembab (ISL)

Bila suatu bahan melepaskan molekul air ke atmosfer dengan kecepatan sama dengan kecepatan penyerapan molekul air oleh suatu bahan dari udara maka bahan tersebut dinyatakan dalam keadaan seimbang dengan udara di sekelilingnya. Kadar air bahan pada keadaan ini disebut sebagai kadar air seimbang atau *Equilibrium Moisture Content* (EMC).

Setiap kelembaban relative atau relative humidity (RH) tertentu akan menghasilkan kadar air seimbang (EMC) tertentu yang biasanya dipengaruhi oleh suhu (Adnan, 1982). Pada kadar air yang sama, semakin tinggi suhunya maka nilai aktivitas air (a_w) juga semakin besar. Dengan demikian dapat dibuat kurva hubungan antara RH dengan EMC yang pada hakekatnya juga merupakan hubungan antara

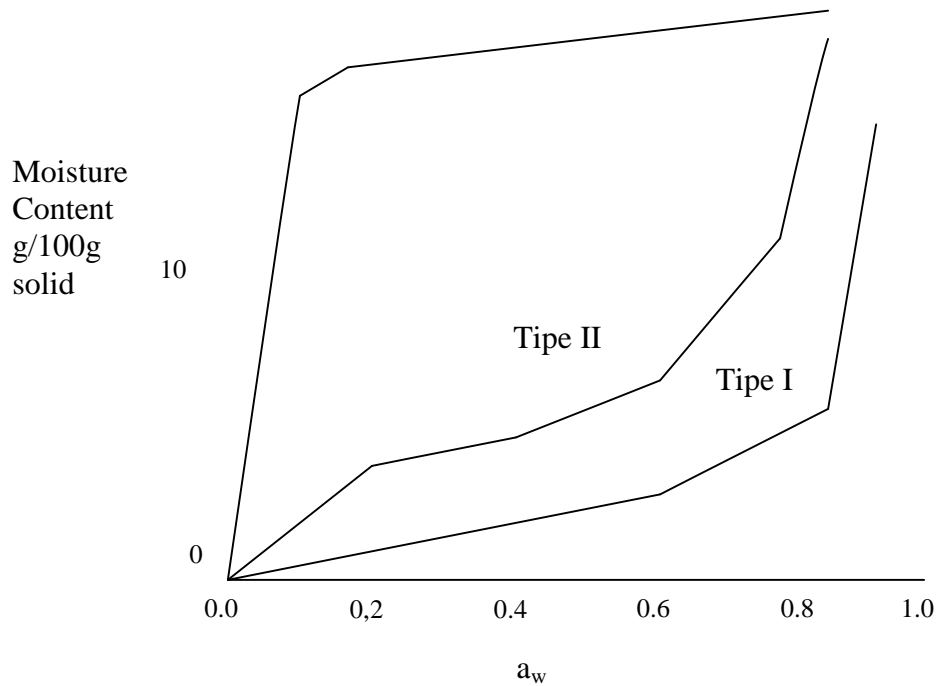
a_w dan EMC. Kurva yang menghubungkan antara RH dan EMC disebut sebagai kurva isoterm sorpsi lembab (ISL). Dikatakan isoterm karena suhunya konstan.

Isoterm sorpsi lembab dari bahan makanan mempunyai arti yang sangat penting bagi pengolahan dan penyimpanan. Kegunaan tersebut antara lain untuk meramalkan perubahan-perubahan yang mungkin terjadi terhadap bahan makanan selama bahan tersebut disimpan.

Setiap bahan memiliki kurva ISL yang berbeda dengan bahan lain. Pada kurva tersebut dapat diketahui bahwa kadar air yang sama belum tentu memberikan a_w yang sama, tergantung pada macam bahan. Pada kadar air yang tinggi, belum tentu memberikan a_w yang tinggi bila bahannya berbeda (Labuza, 1984).

Menurut labuza (1984), secara umum ada tiga klasifikasi kurva isoterm sorpsi lembab (gambar 2.1). Kurva isoterm sorpsi lembab tipe 1 adalah suatu isotherm adsorpsi untuk bahan berbentuk kristal, misalnya gula murni. Bahan tersebut hanya sedikit menyerap air sampai a_w -nya mencapai sekitar 0,7-0,8. Hal ini karena pengikatan air melalui ikatan hidrogen hanya terjadi pada gugus hidroksil bebas yang terdapat pada permukaan kristal.

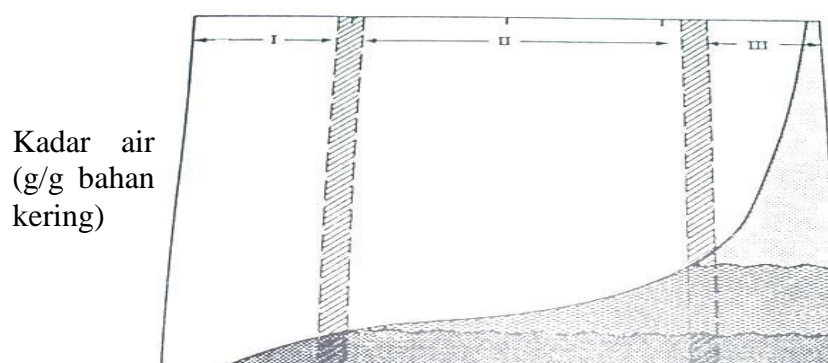
Pada sebagian besar makanan, seperti sereal dan bahan makanan kering mengikuti pola sigmoid yang tampak pada kurva isoterm tipe II. Penyerapan air bahan jenis ini dipengaruhi secara kumulatif oleh efek-efek fisika-kimiawi sehingga tampak dua lengkungan, yaitu pada a_w sekitar 0,2-0,4 dan a_w 0,6-0,7. Sedangkan kurva isotherm tipe III merupakan bentuk khas dari kelompok senyawa anti kempal (misal Ca-silikat) yang mampu menyerap banyak air. Pada tipe ini biasanya terjadi perubahan kadar air yang cukup besar pada perubahan nilai a_w yang cukup kecil.



Gambar 2.1. Tipe-tipe Kurva Isoterm Sorpsi Lembab (Labuza, 1984).

Labuza (1984) juga membagi kurva isotermis sorpsi air bahan pangan menjadi tiga wilayah. Wilayah pertama berada pada selang a_w 0,00 sampai a_w 0,20 yang disebut sebagai daerah adsorpsi monolayer. Ikatan air pada gugus ini lebih bersifat ionik sehingga memiliki ikatan yang erat sekali terhadap air. Wilayah kedua (a_w 0,20 sampai a_w 0,60) merupakan lapisan air yang terletak di atas lapisan monolayer dan disebut lapisan air multilayer. Pada wilayah ketiga dari kurva sorpsi, air dianggap mengalami kondensasi air pada pori-pori bahan.

Secara umum bentuk kurva isoterm sorpsi air bahan pangan dengan kadar air rendah dapat dilihat pada gambar 2.2 sebagai berikut :



a_w

Gambar 2.2 Kurva Isoterm Sorpsi Air Bahan Pangan dengan Kadar Air Rendah (Fennema, 1996).

b. Persamaan Matematis untuk Isoterm Sorpsi Lembab (ISL)

Berbagai teori sorpsi lembab yang ada umumnya berkaitan dengan penyerapan uap air oleh bahan biologis. Teori sorpsi yang baik harus mampu menjelaskan mekanisme penyerapan dan pelepasan uap air atau hubungan antara kadar air dengan ERH (a_w), serta pengaruh suhu terhadap proses tersebut (Suyitno, 1995).

Untuk menggambarkan kurva ISL ada beberapa persamaan yang dapat digunakan, antara lain persamaan Henderson, Gungenheim-Anderson-de Boer (GAB), dan polinomial pangkat tiga. Persamaan untuk analisis kurva sorpsi isotermis yaitu polinomial pangkat tiga, dapat dijelaskan sebagai berikut :

$$M = A + B a_w + C a_w^2 + D a_w^3$$

Dimana A, B, C dan D adalah konstanta persamaan.

Pada beberapa kasus persamaan polinomial pangkat tiga memiliki ketepatan yang cukup baik walaupun persamaan ini sepenuhnya merupakan persamaan empiris dan konstanta yang dimiliki tidak memiliki makna fisika apapun (Van den Berg dan Bruin, 1981 cit. Suyitno, 1995).

c. Penggunaan Kurva Isoterm Sorpsi Lembab (ISL)

1. Perhitungan Kadar Air Lapis Tunggal BET

Kadar air lapis tunggal suatu produk pangan dapat diketahui dengan mengikuti konsep BET yaitu teori tentang

adsorpsi molekul gas oleh benda padat. Kadar air lapis tunggal BET dapat diperhitungkan dari isoterm sorpsi lembabnya.

Menurut Labuza (1984), persamaan umum BET adalah sebagai berikut :

$$\frac{a_w}{(1-a_w)m} = \frac{1}{m_o.c} + \frac{c-1}{m_o.c} a_w$$

Keterangan: a_w = Aktivitas air pada suhu T
 m = Kadar air (db) pada a dan T (%)
 c = Konstanta
 m_o = Kadar air lapis tunggal (%)

Persamaan BET tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\frac{a_w}{(1-a_w)m} = I + S.a_w$$

dengan I = Intersep pada kurva (titik potong dengan ordinat) dan S = Slope (kemiringan garis) pada kurva

Jadi hubungan antara $a_w/(1-a_w)m$ vs a_w , merupakan sebuah garis lurus (linear). Dengan diketahuinya nilai S dan I dari grafik yang dibuat persamaan umum BET tersebut, maka kadar air lapis tunggal BET dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$m_o = \frac{1}{I + S}$$

2. Contoh Kurva Isoterm Sorpsi Lembab pada Bahan Pangan

Contoh kurva isoterm sorpsi lembab (ISL) berdasarkan persamaan polinomial pangkat tiga pada produk pangan dapat dilihat pada gambar 2.3 dan 2.4. Gambar 2.3 menunjukkan kurva isoterm sorpsi lembab (Adsorpsi) flake pisang cavendish pada suhu 25 °C. Kurva ISL adsorpsi flake pisang cavendish pada suhu 25 °C

tersebut memiliki persamaan polinomial pangkat tiga sebagai berikut :

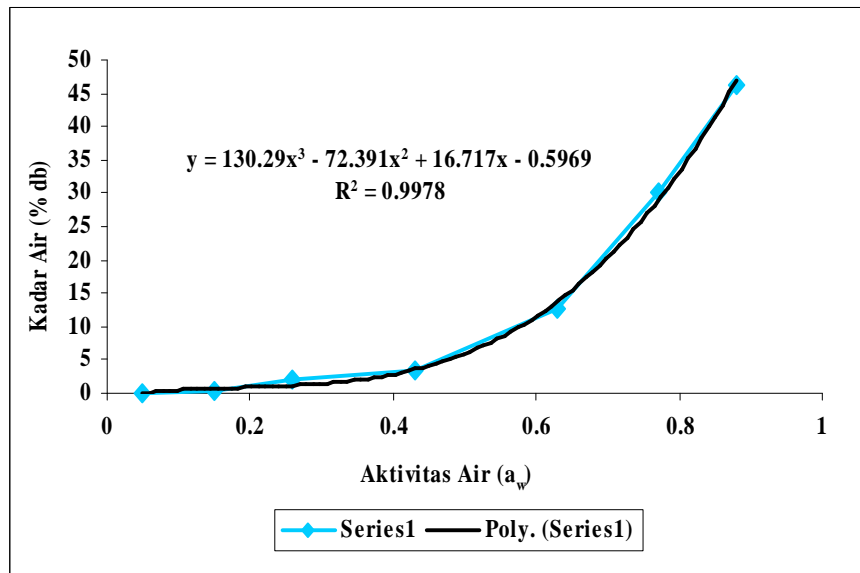
$$y = 130,29 x^3 - 72,391 x^2 + 16,717 x - 0,5969$$

Nilai A = 130,29, B = - 72,391, C = 16,717, dan D = - 0,5969.

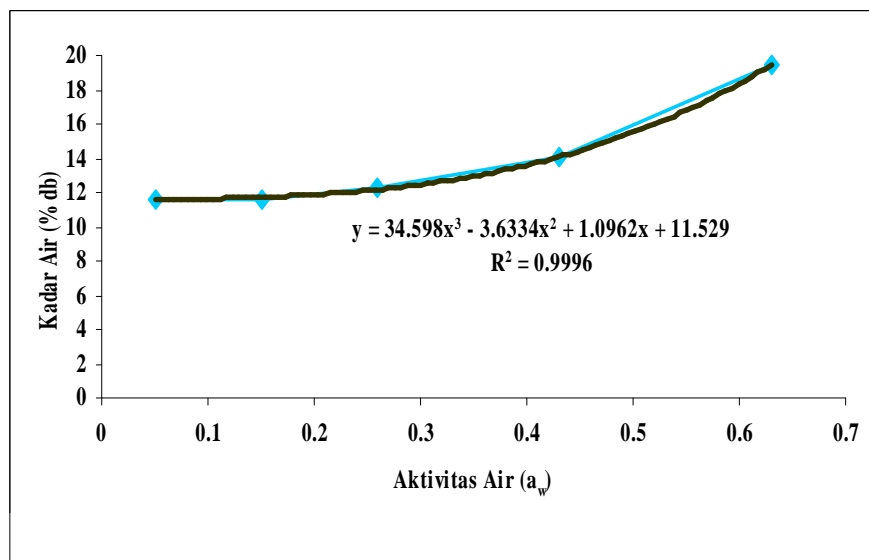
Sedangkan gambar 2.4 menunjukkan kurva isoterm sorpsi lembab (desorpsi) flake pisang cavendish pada suhu 25 °C. Kurva ISL desorpsi flake pisang cavendish pada suhu 25 °C tersebut memiliki persamaan polinomial pangkat tiga sebagai berikut :

$$y = 34,598 x^3 - 3,6334 x^2 + 1,0962 x + 11,529$$

Nilai A = 34,598, B = - 3,6334, C = 1,0962, dan D = 11,529.



Gambar 2.3. Kurva Isoterm Sorpsi Lembab (Adsorpsi) Flake Pisang Cavendish pada Suhu 25 °C Berdasarkan Persamaan Polinomial Pangkat Tiga (Sukandar, 1999).



Gambar 2.4. Kurva Isoterm Sorpsi Lembab (Desorpsi) Flake Pisang Cavendish pada Suhu 25 °C Berdasarkan Persamaan Polinomial Pangkat Tiga (Sukandar, 1999).

3. Pertumbuhan Mikroorganisme

Isoterm sorpsi lembab (ISL) dapat dimanfaatkan untuk memperkirakan kadar air kritis (*critical moisture content / cmc*) atau a_w kritis bahan makanan. Kadar air kritis atau a_w kritis merupakan kadar air atau a_w terendah dimana bahan tersebut sudah mulai tidak disukai oleh konsumen karena sudah menunjukkan sifat yang tidak dikehendaki. Kadar air kritis tersebut dapat ditentukan, antara lain dari potensi terjadinya pertumbuhan mikroorganisme.

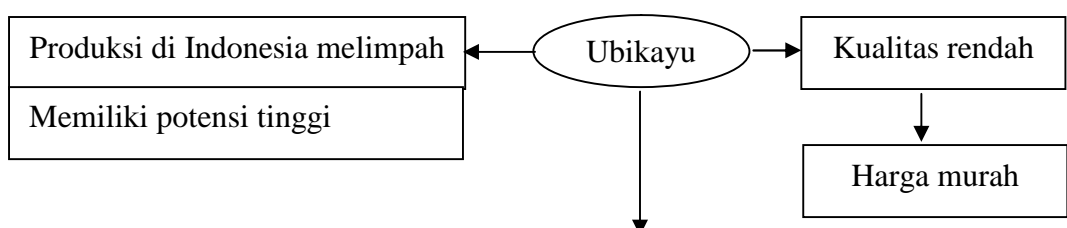
Bagi sebagian besar bahan makanan, a_w kritis ini berkisar antara 0,6- 0,7. Oleh karena itu, dengan data tentang kurva isoterm sorpsi lembab dapat diperkirakan jumlah air maksimum yang masih dapat diserap oleh bahan makanan yang bersangkutan sampai batas aman selama penyimpanan (Labuza, 1984).

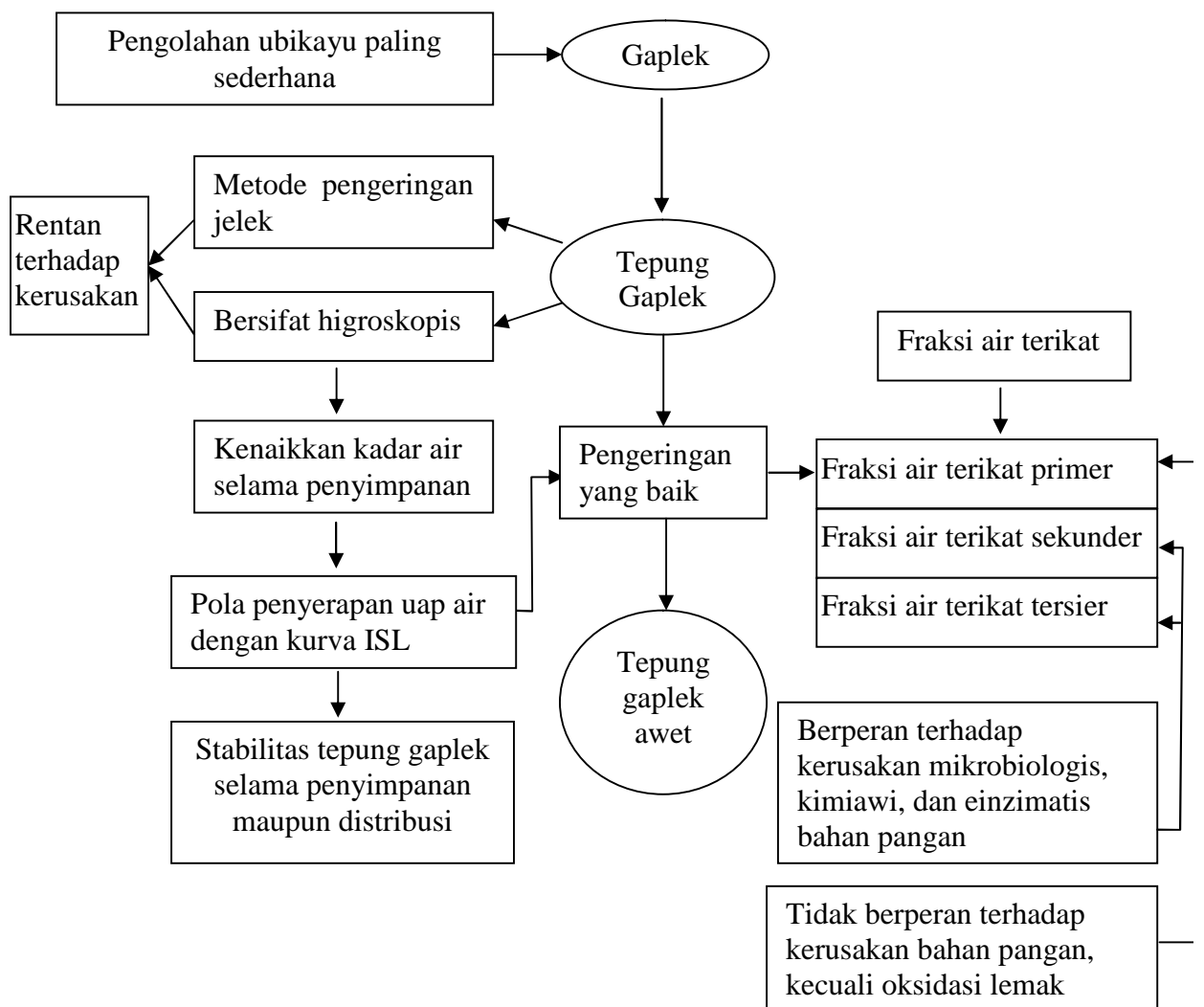
Faktor lingkungan sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan mikroorganisme. Aktivitas air (a_w) merupakan salah satu faktor penting bagi pertumbuhan mikroorganisme. Berbagai mikroorganisme mempunyai a_w minimum agar dapat tumbuh dengan baik, misalnya bakteri pada a_w 0,90, khamir pada a_w 0,80-0,90 dan kapang pada a_w 0,60-0,70 (Winarno, 2002).

Selama proses pembuatan gablek sampai dengan proses distribusinya sering timbul jamur. Hal ini bisa terjadi karena proses pengeringan dan penyimpanan yang kurang sempurna. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Yulineri, dkk (1997),

ditemukan tiga jenis kapang yang pengkontaminan gaplek yang dominan yaitu : *Aspergillus niger*, *Pennicillium sp.*, *Rhizopus sp.* Jenis- jenis tersebut merupakan jenis yang biasa ditemukan, namun bukan merupakan kapang yang membahayakan, bahkan bermanfaat misalnya dalam pembuatan ragi, makanan fermentasi, antibiotika, dan enzim.

B. Kerangka Berpikir





BAB III METODE PENELITIAN

B. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Rekayasa Proses Pangan dan Hasil Pertanian, Program Studi Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Sebelas Maret Surakarta. Penelitian dilaksanakan pada bulan Maret 2008.

C. Bahan dan Alat

1. Bahan

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah tepung galek yang diperoleh dari Pasar Lokal Surakarta. Adapun bahan kimia yang digunakan adalah enam jenis garam yaitu LiCl, MgCl₂, K₂CO₃, NaNO₃, NaCl, dan KCl yang diperlukan untuk penyeimbangan bahan pada berbagai tingkat a_w dan toluena yang diperoleh dari Laboratorium Rekayasa Proses Pengolahan Pangan dan Hasil Pertanian dan Laboratorium Biologi Tanah Fakultas Pertanian UNS.

2. Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari alat untuk membuat larutan garam jenuh seperti gelas ukur, pengaduk, dan neraca analitik; alat untuk analisa kadar air berupa oven suhu 105 °C, desikator, botol timbang dan neraca analitik; dan alat untuk penentuan kurva isotermin sorpsi lembab berupa toples yang tertutup rapat, cawan alumunium, neraca analitik, dan kotak penyimpanan suhu 28 °C.

D. Tahap Penelitian

1. Penentuan Kadar Air Seimbang (*Equilibrium Moisture Content*)

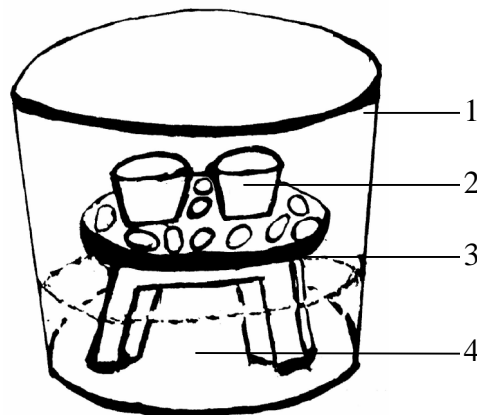
Untuk menentukan kadar air seimbang (*Equilibrium Moisture Content*), satu sampai dua gram tepung galek dimasukkan ke dalam cawan alumunium yang sebelumnya telah dioven sampai berat konstan. Selanjutnya, cawan alumunium berisi sampel dimasukkan ke dalam toples dan disetimbangkan pada berbagai tingkat a_w pada suhu 28 °C menggunakan garam jenuh sampai kondisi kesetimbangan (*steady state*). Aktivitas air (a_w) beberapa larutan garam jenuh pada suhu 28 °C ditunjukkan pada tabel 3.1. Namun sebelumnya, garam-garam jenuh tersebut diinkubasi terlebih dahulu di dalam toples selama 24 jam pada suhu 28 °C.

Tabel 3.1. Aktivitas Air (a_w) Beberapa Larutan Garam Jenuh pada Suhu 28 °C

Larutan Garam Jenuh	Aktivitas Air (a_w)
LiCl	0,1124
MgCl	0,3256
K ₂ CO ₃	0,4412
NaNO ₃	0,6495
NaCl	0,7562
KCl	0,8447

Sumber : Labuza, et al (1985) cit. Sukmono, 1998.

Susunan alat untuk analisa kadar air seimbang ditunjukkan pada gambar 3.1 di bawah ini



Gambar 3.1. Susunan Alat untuk Analisa Kadar Air Seimbang

Keterangan :

1. Toples yang tertutup rapat
2. Cawan aluminium
3. Penyangga
4. Larutan garam jenuh

Selama penyimpanan, perubahan berat sampel dipantau mulai hari ke-7 dan selanjutnya setiap hari sampai diperoleh berat konstan. Pada toples dengan larutan garam yang mempunyai RH lebih dari 60 % diberi 5 ml toluena dengan maksud agar sampel tidak ditumbuhi jamur. Selanjutnya dilakukan analisa kadar air (db) untuk masing-masing sampel. Kadar air tersebut disebut kadar air seimbang (*Equilibrium Moisture*

Content). Kadar air seimbang merupakan kadar air dimana antara bahan dengan lingkungan telah mencapai keseimbangan uap air.

2. Penentuan Kurva Isoterm Sorpsi Lembab (ISL)

Pembuatan kurva ISL menggunakan metode termogravimetri statis. Data kadar air seimbang tepung gapek dan aktivitas air (a_w) yang diperoleh dari hasil penelitian selanjutnya diplotkan dalam bentuk grafik dengan menggunakan model matematis polinomial pangkat tiga. Plot data aktivitas air (a_w) dan kadar air seimbang tepung gapek tersebut ke dalam bentuk grafik dilakukan menggunakan komputer melalui program MS-Excel. Dari grafik plot hubungan aktivitas air (a_w) dan kadar air seimbang akan diperoleh suatu kurva yang dinamakan kurva isoterm sorpsi lembab (kurva ISL) dengan a_w sebagai sumbu x dan kadar air seimbang sebagai sumbu y. Dari kurva ISL tersebut dapat diketahui persamaan kurva ISL menurut model matematis polinomial pangkat tiga dengan bentuk umum sebagai berikut :

$$M = A a_w^3 + B a_w^2 + C a_w + D$$

Dimana A, B, C dan D adalah konstanta persamaan. Konstanta persamaan tersebut hanya merupakan konstanta matematis dan tidak memiliki makna fisika apapun (Van den Berg dan Bruin, 1981 cit. Suyitno, 1995). Masing-masing bahan akan memiliki konstanta persamaan yang berbeda-beda.

3. Penentuan Batas Fraksi Air Terikat Primer

Penentuan batas fraksi air terikat primer tepung gapek didasarkan pada nilai kadar air lapis tunggal (lapisan monolayer) yang diperoleh dengan menggunakan persamaan BET (Braunauer-Emmet-Teller) sebagai berikut :

$$\frac{a_w}{(1-a_w)m} = \frac{1}{m_o.c} + \frac{c-1}{m_o.c} a_w$$

Keterangan :

a_w = aktivitas air pada suhu T

m = kadar air (db) pada a_w dan T (%)

c = konstanta energi adsorpsi

m_o = kadar air lapis tunggal (%).

Persamaan BET tersebut merupakan persamaan regresi linier. Untuk menentukan kadar air lapis tunggal BET diperlukan data a_w dan $[a_w / (1-a_w)m]$. Selanjutnya dibuat kurva regresi linier dengan a_w sebagai sumbu x dan $[a_w / (1-a_w)m]$ sebagai sumbu y.

Berdasarkan kurva regresi linier tersebut dapat ditentukan besarnya kadar air lapis tunggal BET dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$m_o = \frac{1}{I + S}$$

Keterangan : m_o = kadar air lapis tunggal BET, % berat kering (db)

I = intersep kurva regresi linier

S = slope kurva regresi linier

4. Penentuan Batas Fraksi Air Terikat Sekunder

Penentuan batas air terikat sekunder didasarkan pada model analisis logaritma yang dikemukakan oleh Soekarto (1978) cit. Wulandari dan Soekarto (2003) yaitu didasarkan pada plot hubungan antara $\log (1-a_w)$ dengan kadar air seimbang tepung gaplek dengan $\log (1-a_w)$ sebagai sumbu y dan kadar air seimbang tepung gaplek sebagai sumbu x. Hubungan antara $\log (1-a_w)$ dengan kadar air seimbang akan membentuk dua kurva berbentuk garis lurus. Garis pertama menggambarkan kedudukan air terikat sekunder dan garis kedua adalah air terikat tersier. Perpotongan kedua garis tersebut merupakan batas maksimum kapasitas pengikatan air sekunder (m_s) dan sekaligus sebagai batas minimum kapasitas pengikatan air tersier (m_t).

5. Penentuan Batas Fraksi Air Terikat Tersier

Batas fraksi air terikat tersier tepung gaplek ditentukan dengan cara memasukkan nilai $a_w = 1$ pada persamaan kurva isoterm sorpsi lembab (ISL) polinomial pangkat tiga tepung gaplek pada suhu 28°C tersebut.

E. Analisa Percobaan

1. Analisa Kadar Air

Analisa kadar air ini menggunakan metode termogravimetri (Anonim, 1996).

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Kurva Isoterm Sorpsi Lembab

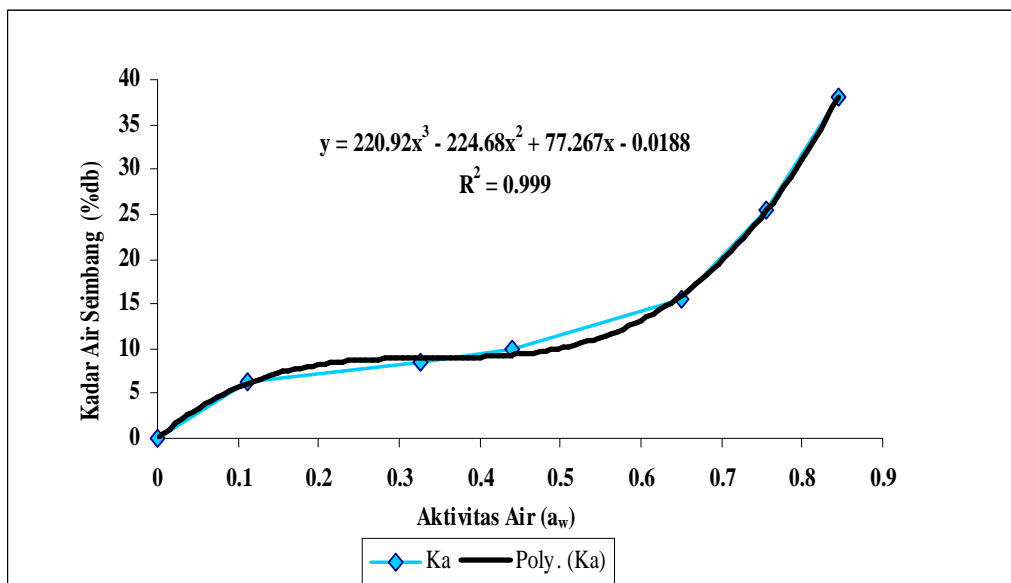
Pola penyerapan uap air tepung gaplek berdasarkan kurva isoterm sorpsi lembab dapat ditentukan dengan cara mengkondisikan tepung gaplek pada berbagai tingkat aktivitas air (a_w) menggunakan larutan garam jenuh pada suhu 28°C . Selama penyimpanan akan terjadi pelepasan uap air dari larutan garam dan penyerapan uap air oleh tepung gaplek atau pun sebaliknya. Hal ini akan berlangsung terus menerus sampai kadar air tepung gaplek mengalami keseimbangan dengan kadar air dalam ruang penyimpanan. Data hasil pengukuran kadar air seimbang (*Equilibrium Moisture Content*) tepung gaplek dalam berbagai tingkat a_w pada 28°C ditunjukkan pada table 4.1.

Tabel 4.1. Data Kadar Air Seimbang Tepung Gaplek dalam Berbagai Tingkat a_w pada 28°C

a_w	Kadar Air Seimbang (% db)
0,1124	6,1845
0,3256	8,4155
0,4412	10,0525
0,6495	15,5208
0,7562	25,5218
0,8447	38,1495

Dari table 4.1 tersebut dapat diketahui bahwa semakin tinggi nilai a_w maka kadar air seimbang (*Equilibrium Moisture Content*) dari tepung gaplek semakin tinggi pula. Hal ini karena tepung gaplek menyerap uap air dari lingkungan untuk mencapai kondisi yang seimbang. Banyak sedikitnya uap air yang diserap dipengaruhi kelembaban relatif atau RH lingkungan. Semakin tinggi RH lingkungan maka penyerapan uap air oleh tepung gaplek akan semakin besar.

Data aktivitas air (a_w) dan kadar air seimbang tepung gaplek diplotkan dalam bentuk grafik dengan menggunakan persamaan polinomial pangkat tiga. Plot data aktivitas air (a_w) dan kadar air seimbang tepung gaplek tersebut ke dalam bentuk grafik dilakukan menggunakan komputer melalui program MS-Excel. Dari grafik tersebut akan diperoleh kurva berbentuk *sigmoid* (seperti huruf S) seperti pada gambar 4.1. Hal ini sesuai dengan teori yang dikemukakan labuza (1984), bahwa kurva isoterm sorpsi lembab (ISL) bahan makanan kering mengikuti pola sigmoid yang tampak pada kurva isoterm tipe II.



Gambar 4.1. Kurva Isoterm Sorpsi Lembab Tepung Gaplek pada Suhu 28 °C

Pada kurva isoterm sorpsi lembab tepung gaplek (gambar 4.1) terdapat dua lengkungan yaitu lengkungan pertama terletak pada a_w 0,1 dan

lengkungan kedua terletak pada a_w 0,6. Bentuk sigmoid pada kurva isoterm sorpsi lembab tersebut terjadi karena perbedaan keterikatan air dalam bahan pangan. Air yang terikat pada bahan makanan dapat dikategorikan menjadi tiga, yaitu air terikat primer, air terikat sekunder, dan air terikat tersier (Labuza, 1968 cit. Candra, 1998; Suyitno, 1995 cit. Sukmono, 1998). Air terikat primer atau air terikat lapis tunggal terletak pada a_w di bawah 0,25, air terikat sekunder terletak antara a_w 0,25-0,75 dan air terikat tersier terletak a_w di atas 0,75 (Suyitno, 1995 cit. Sukmono, 1998).

Dari hasil plot ke dalam bentuk grafik hubungan antara aktivitas air (a_w) dengan kadar air seimbang tepung galek dengan menggunakan persamaan polinomial pangkat tiga tersebut diperoleh konstanta-konstanta persamaan sebagai berikut :

$$A = 220,92; B = -224,68; C = 77,267; D = -0,0188$$

Konstanta-konstanta di atas hanya merupakan konstanta matematis dan tidak memiliki makna fisika apapun (Van den Berg dan Bruin, 1981 cit. Suyitno, 1995). Konstanta tersebut berbeda untuk masing-masing bahan pangan. Dengan demikian persamaan Isoterm Sorpsi Lembab (ISL) tepung galek pada suhu 28 °C berdasarkan model matematis polinomial pangkat tiga sebagai berikut :

$$y = 220,92 x^3 - 224,68 x^2 + 77,267 x - 0,0188$$

B. Fraksi Air Terikat

Di dalam bahan pangan air terdapat dalam bentuk air bebas dan air terikat. Air terikat pada bahan pangan dapat dikategorikan menjadi tiga, yaitu air terikat primer, air terikat sekunder, dan air terikat tersier. Batas-batas fraksi air terikat primer, air terikat sekunder, dan air terikat tersier berbeda untuk masing-masing untuk setiap bahan pangan. Dari hasil penelitian ini, batas fraksi air terikat primer, air terikat sekunder, dan air terikat tersier tepung galek dijelaskan sebagai berikut :

1. Batas Fraksi Air Terikat Primer

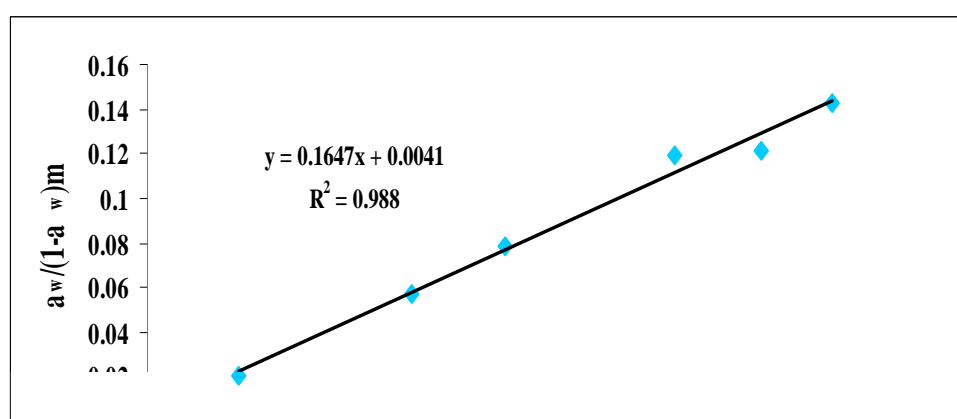
Air terikat primer merupakan molekul air yang terikat langsung oleh gugus aktif dalam bahan makanan (labuza, 1968 cit. Candra, 1998). Molekul air ini berikatan dengan molekul-molekul lain yang mengandung atom-atom O dan N seperti karbohidrat atau protein. Air terikat primer tidak dapat membeku dalam proses pembekuan, tetapi sebagian dari air ini dapat dihilangkan dengan cara pengeringan biasa (Winarno, 2002).

Air terikat primer tepung galek ditentukan berdasarkan nilai kadar air lapis tunggal (lapisan monolayer) dengan persamaan BET (Brunauer-Emmett-Teller). Untuk mengetahui kadar air lapis tunggal tepung galek diperlukan data seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.2.

Tabel 4.2. Hubungan Antara a_w dengan $[a_w/(1-a_w)m]$ Tepung Galek pada Suhu 28 °C

a_w	Kadar Air Seimbang (% db)	$[a_w/(1-a_w)m]$
0,1124	6,1845	0,0205
0,3256	8,4155	0,0574
0,4412	10,0525	0,0785
0,6495	15,5208	0,1194
0,7562	25,5218	0,1215
0,8447	38,1495	0,1426

Persamaan BET merupakan persamaan linier. Data a_w dengan $[a_w/(1-a_w)m]$ dari table 4.2 diplotkan ke dalam bentuk grafik akan diperoleh kurva linier ($R^2 = 0,988$) seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.2. Persamaan linier dari kurva tersebut yaitu: $Y = 0,1647 X + 0,0041$ sehingga didapat nilai slope kurva (S) sebesar 0,0041 dan nilai intersep kurva (I) sebesar 0,1647 .



Gambar 4.2. Kurva Hubungan Antara a_w dengan $[a_w(1-a_w)m]$ Tepung Gaplek pada Suhu 28°C

Dari persamaan linier yang diperoleh dari gambar 4.2 dapat dihitung besarnya nilai m_o . Nilai m_o atau kadar air monolayer adalah jumlah air yang terikat pada lapisan monolayer. Dari hasil perhitungan diperoleh batas fraksi air terikat primer tepung gaplek pada kadar air 5,9242 % db yang terletak pada $a_w = 0,1064$.

2. Batas Fraksi Air Terikat Sekunder

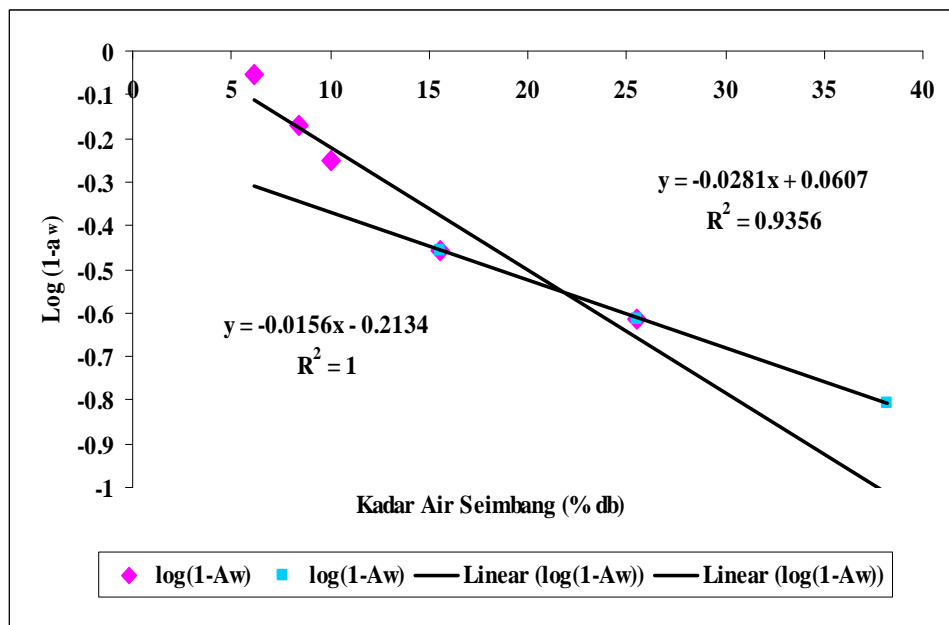
Air terikat sekunder merupakan fraksi air terikat yang berada di atas lapisan air terikat primer (Rockland,1969 cit. Wulandari dan Soekarto, 2003). Air terikat sekunder sering juga disebut sebagai lapisan multilayer. Winarno (2002) mengemukakan bahwa air terikat sekunder merupakan molekul air yang membentuk ikatan hidrogen dengan molekul air lain, terdapat dalam mikrokapiler, dan sifatnya berbeda dengan air murni.

Penentuan batas fraksi air terikat sekunder tepung gaplek didasarkan pada plot hubungan antara $\log(1-a_w)$ dengan kadar air seimbang tepung gaplek ke dalam bentuk grafik dengan $\log(1-a_w)$ sebagai sumbu y dan kadar air seimbang sebagai sumbu x. Data penentuan batas air terikat sekunder ditunjukkan pada tabel 4.3.

Tabel 4.3. Hubungan Antara Kadar Air Seimbang dengan $\text{Log}(1-a_w)$ Tepung Gaplek pada Suhu 28°C

Kadar Air Seimbang (%db)	a_w	$\text{Log}(1-a_w)$	$\text{Log}(1-a_w)$
--------------------------	-------	---------------------	---------------------

6,1845	0,1124	0,0518	-
8,4155	0,3256	0,1711	-
10,0525	0,4412	0,2527	-
15,5208	0,6495	0,4553	0,4553
25,5218	0,7562	0,6130	0,6130
38,1495	0,8447	-	0,8088



Gambar 4.3. Kurva Hubungan Antara Kadar Air Seimbang dengan Log (1-a_w) Tepung Gaplek pada Suhu 28 °C

Hubungan antara log (1-a_w) dengan kadar air seimbang akan membentuk dua kurva berbentuk garis lurus seperti yang ditampilkan pada gambar 4.3. Garis pertama menggambarkan kedudukan air terikat sekunder dan garis kedua adalah air terikat tersier. Perpotongan kedua garis tersebut merupakan batas maksimum kapasitas pengikatan air sekunder (m_s) dan sekaligus sebagai batas minimum kapasitas pengikatan air tersier (m_t).

Dua persamaan dari kurva garis lurus pada gambar 4.3 berpotongan pada titik (21,9280, -0,5555). Nilai $x = 21,9280$ dari titik potong tersebut menunjukkan kadar air yang merupakan batas maksimum kapasitas pengikatan air sekunder (m_s) dan sekaligus sebagai batas minimum kapasitas pengikatan air tersier (m_t). Nilai $y = -0,5555$ dari titik potong tersebut menunjukkan nilai $\log(1-a_w)$. Oleh karena itu, dapat diketahui batas fraksi air terikat sekunder tepung gaplek terletak pada kadar air 21,9280 % db dengan aktivitas air (a_w) sebesar 0,7217.

3. Batas Fraksi Air Terikat Tersier

Air terikat tersier merupakan air yang terikat sangat lemah sehingga sifatnya seperti air kondensasi atau air bebas (Labuza, 1968 cit. Sukmono, 1998). Untuk menentukan batas air terikat tersier dilakukan dengan cara memasukkan nilai $a_w = 1$ pada persamaan kurva ISL polinomial pangkat tiga tepung gaplek pada suhu 28 °C. Dari hasil perhitungan diperoleh batas air terikat tersier tepung gaplek berada pada kadar air 73,4882 % db dengan $a_w = 1$.

C. Pengeringan dan Stabilitas Tepung Gaplek Selama Penyimpanan maupun Distribusi

1. Pengeringan Tepung Gaplek

Pengeringan suatu bahan pangan merupakan suatu metode untuk mengeluarkan atau menghilangkan sebagian air dari suatu bahan dengan cara menguapkan air tersebut dengan menggunakan energi panas. Biasanya kandungan air bahan tersebut dikurangi sampai suatu batas agar mikrobia tidak tumbuh lagi di dalamnya (Winarno, dkk, 1980). Mikrobia hanya dapat tumbuh pada kisaran a_w tertentu. Winarno (2002) menyebutkan bahwa bakteri dapat tumbuh dengan baik pada a_w minimum 0,90, khamir pada a_w minimum 0,80-0,90 dan kapang pada a_w minimum 0,60-0,70. Dari ketiga mikrobia tersebut, kapang merupakan mikrobia

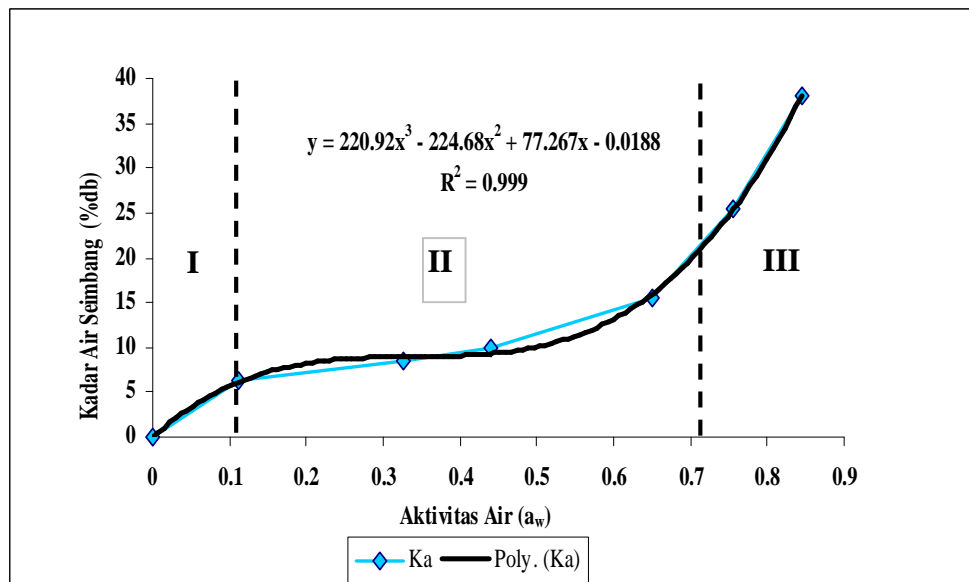
yang dapat tumbuh pada a_w minimum paling rendah yaitu 0,60-0,70. Oleh karena itu, salah satu tujuan pengeringan bahan pangan untuk menghindari pertumbuhan kapang.

Berdasarkan analisis kurva isoterm sorpsi lembab dan fraksi air terikat tepung gaplek pada suhu 28°C (gambar 4.4), wilayah air terikat tepung gaplek terbagi menjadi tiga wilayah yaitu wilayah I, II, dan III. Wilayah I adalah wilayah air terikat primer, wilayah II adalah wilayah air terikat sekunder, dan wilayah III adalah wilayah air terikat tersier. Dari ketiga wilayah tersebut dapat digunakan sebagai acuan dalam menentukan proses pengeringan tepung gaplek yang baik.

Pada wilayah air terikat primer tepung gaplek (wilayah I), molekul air memiliki ikatan ionik yang bersifat sangat kuat dengan molekul lain dalam bahan pangan seperti karbohidrat atau protein. Dengan pengeringan tepung gaplek sampai pada kadar air primernya maka molekul airnya tidak bisa digunakan oleh mikrobia untuk pertumbuhan serta untuk reaksi enzimatik yang merusak tepung gaplek. Air terikat primer memiliki a_w rendah sehingga mobilitas air pada wilayah ini berjalan secara lambat. Buckle, et al (1987) menyebutkan bahwa pada kadar air di bawah nilai lapisan tunggal (monolayer), reaksi enzimatik terjadi secara lambat atau tidak ada sama sekali. Hal ini disebabkan oleh berkurangnya gerakan dari substrat untuk meresap ke bagian aktif dari enzim. Adnan (1982) menyebutkan bahwa pengurangan kadar air bahan sampai dibawah kadar air lapis tunggal dapat menyebabkan perubahan struktur enzim yang dapat mengakibatkan sisi aktif enzim tidak mampu lagi melakukan reaksi katalitik.

Reaksi enzimatik seperti browning dapat menyebabkan perubahan warna pada tepung gaplek. Komponen tepung gaplek yang sangat berpengaruh dalam reaksi browning tersebut adalah enzim polifenolase. Menurut Winarno (1980), pada gaplek pencoklatan enzimatik disebabkan oleh enzim polifenolase kontak dengan udara sehingga dapat mengubah senyawa polifenol menjadi senyawa yang berwarna hitam. Pada wilayah

air terikat primer kerusakan tepung gaplek karena mikrobiologis dan enzimatis dapat dicegah, namun kerusakan kimia yaitu oksidasi lemak akan meningkat. Karena air tidak lagi sebagai *barier*, O₂ dapat lebih mudah mengadakan kontak dengan lemak. Oksidasi lemak dapat mengakibatkan *off flavor* pada bahan pangan. Akan tetapi kerusakan akibat oksidasi lemak pada tepung gaplek tersebut relatif kecil karena lemak yang terkandung dalam tepung gaplek sangat rendah. Dengan demikian pengeringan tepung gaplek yang baik diharapkan mencapai atau mendekati kadar air primernya yaitu 5,9242 % db dengan aktivitas air sebesar 0,1064.



Gambar 4.4. Kurva isoterm sorpsi lembab dan Fraksi Air Terikat Tepung Gaplek pada Suhu 28 °C .

Wilayah air terikat sekunder (wilayah II) merupakan daerah yang rawan bagi proses pengeringan maupun kondisi penyimpanan atau distribusi bahan pangan. Dari kurva isoterm sorpsi lembab (gambar 4.4), wilayah air terikat sekunder (wilayah II) dapat dikatakan mendatar. Bentuk kurva yang mendatar tersebut mengindikasikan bahwa kenaikan kadar air seimbang sedikit saja dari tepung gaplek dapat mengakibatkan kenaikan aktivitas air (a_w) yang cukup besar, yang berarti penyerapan air sedikit saja dari tepung gaplek potensial menyebabkan kerusakan pada bahan pangan.

Apabila tepung gaplek dikeringkan sampai kadar air terikat sekundernya berakibat rentan terhadap kerusakan kimia maupun enzimatik. Namun pada wilayah air terikat sekunder ini kerusakan mikrobiologi karena pertumbuhan mikrobia dapat dicegah. Kapang mulai dapat tumbuh pada a_w 0,6-0,7. Wilayah air terikat sekunder (wilayah II) tepung gaplek berada pada kadar air 5,9242 (%db) – 21,9280 (% db) dengan aktivitas air (a_w) antara 0,1064 - 0,7217.

Apabila tepung gaplek dikeringkan hanya sampai kadar air terikat tersiernya (wilayah III) maka tepung gaplek sangat mudah mengalami kerusakan. Bahkan Suyitno (1995) cit Sukmono (1998) menyebutkan bahwa kerusakan yang terjadi pada wilayah air terikat tersier baik itu kerusakan mikrobiologi, kimiawi maupun enzimatik akan berlangsung lebih cepat dibandingkan wilayah air terikat sekunder. Hal ini juga sejalan dengan yang dikemukakan Syarif dan Hariyadi (1993), bahwa wilayah air terikat tersier (wilayah III) mengandung air bebas yang cukup banyak, sehingga sangat optimal bagi reaksi biokimia, mikrobia, dan reaksi fisik.

Dilihat dari bentuk kurvanya (gambar 4.4), pada wilayah air terikat tersier bentuk kurva terlihat menanjak. Dari kurva tersebut dapat diartikan bahwa kenaikan kadar air seimbang yang cukup besar mengakibatkan hanya sedikit kenaikan aktivitas air (a_w). Namun demikian, aktivitas air (a_w) pada wilayah air terikat tersier ini sudah sangat berpotensi bagi pertumbuhan mikrobia baik itu kapang, khamir maupun bakteri. Dari gambar 4.4 dapat dilihat bahwa batas wilayah air terikat tersier berada pada 21,928 (% db) - 73,4882 (% db) dengan aktivitas air (a_w) antara 0,7217 – 1. Aktivitas air (a_w) sebesar 1 sudah merupakan air murni.

2. Stabilitas Tepung Gaplek Selama Penyimpanan dan Distribusi

Seperti yang telah sebelumnya bahwa tepung gaplek memiliki sifat higroskopis yang artinya mudah menyerap uap air baik selama penyimpanan maupun distribusi. Sifat penyerapan uap air ini berhubungan dengan stabilitas tepung gaplek selama penyimpanan maupun distribusi. Selama penyimpanan dan distribusi, tepung gaplek akan menyerap uap air

hingga mencapai keseimbangan dengan kelembaban lingkungan penyimpanan. Akibatnya, kadar air dan aktivitas air tepung gaplek akan meningkat.

Di Indonesia, khususnya Jawa Tengah suhu udara rata-rata berkisar antara 18°C sampai 28°C sedangkan kelembaban udara rata-rata Jawa Tengah bervariasi antara 73 persen sampai 94 persen (Anonim^b, 2008). Berdasarkan hal tersebut dapat diartikan bahwa pada suhu lingkungan penyimpanan 28°C diperkirakan kelembaban udara mencapai 94 persen. Kondisi lingkungan penyimpanan tersebut apabila dihubungkan dengan kurva isoterm sorpsi lembab tepung gaplek pada suhu 28 °C mengindikasikan bahwa tepung gaplek akan berusaha mencapai keseimbangan uap air dengan lingkungan penyimpanan yaitu menaikkan kadar air hingga mencapai kadar air terikat tersiernya. Hal tersebut menyebabkan stabilitas tepung gaplek mengalami penurunan selama penyimpanan maupun distribusi. Stabilitas tepung gaplek mulai menurun pada kadar air diatas wilayah air terikat primer yaitu kadar air 5, 9242 % db. Stabilitas tepung gaplek yang menurun ditandai dengan timbulnya kerusakan pada tepung gaplek. Di awal telah dijelaskan bahwa tepung gaplek yang telah rusak ditandai dengan ditandai dengan tumbuhnya jamur, terbentuknya gumpalan, terjadi perubahan warna dan *off flavor* pada tepung gaplek.

Pengeringan tepung gaplek hingga mencapai atau mendekati pada kadar air terikat primernya diharapkan dapat mempertahankan stabilitas tepung gaplek. Dalam Primaswari (2000) disebutkan bahwa bahan makanan kering apabila kadar airnya di bawah kadar air lapis tunggal (air terikat primer) maka kerusakannya sangat kecil dan dapat diabaikan. Apabila tepung gaplek dikeringkan hingga mencapai atau mendekati kadar air terikat primernya maka dibutuhkan penyerapan uap air yang cukup besar dan waktu yang relatif lama untuk mencapai kadar air tersier dibandingkan pengeringan sampai batas air terikat sekundernya. Akibatnya, umur simpan tepung gaplek dapat lebih lama.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Kurva isoterm sorpsi lembab tepung gaplek pada suhu 28 °C memiliki bentuk sigmoid (berbentuk huruf S) dengan persamaan kurvanya :
$$y = 220,92 x^3 - 224,68 x^2 + 77,267 x - 0,0188$$
2. Batas fraksi air terikat primer atau kadar air lapis tunggal tepung gaplek menurut kurva ISL pada suhu 28 °C adalah 5,9242 % db yang terletak pada a_w 0,1064.
3. Batas fraksi air terikat sekunder tepung gaplek menurut kurva ISL pada suhu 28 °C adalah 5,9242 - 21,9280 % db yang terletak antara a_w 0,1064 - 0,7217.
4. Batas fraksi air terikat tersier tepung gaplek menurut kurva ISL pada suhu 28 °C adalah 21,9280 - 73,4882 % db yang terletak antara a_w 0,7217 - 1.
5. Pengeringan tepung gaplek yang baik mendekati atau mencapai kadar air 5,9242 %db.
6. Stabilitas tepung gaplek mulai menurun pada kadar air di atas wilayah air terikat primer yaitu di atas kadar air 5,9241 %db.

B. Saran

Perlu kiranya dilakukan penelitian kurva isoterm sorpsi lembab dan fraksi air terikat tepung gaplek dengan menggunakan satu varietas ubikayu untuk melihat perbedaan isoterm sorpsi lembab dan fraksi air terikat tepung gaplek dengan tepung gaplek yang ada di pasaran.

DAFTAR PUSTAKA

- Adnan, M. 1982. *Aktivitas Air dan Kerusakan Bahan Makanan*. Skripsi Jurusan TPHP FTP UGM. Yogyakarta.
- Ainuri, M. 1992. *Optimasi Teknik Industri tepung Singkong di Kabupaten Gunung Kidul* Yogyakarta. Proyek Penelitian OPF/FTP/UGM. Fakultas Teknologi Pertanian UGM.
- Anonim. 1996. *Official Methods of Analysis*. Association of Official Analytical Chemists. Washinton DC.
- Anonim. 2007. *Mengenal Plasmanutfah*. <http://www.indobiogen.or.id/berita-artikel/mengenal-plasmanutfah.php>. Diakses pada hari Sabtu, tanggal 1 Desember 2007.
- Anonim. 2008. *Budidaya Tanaman Singkong atau Ketela Pohon* <http://one.indoskripsi.com/node/1280>. Diakses pada hari Selasa, tanggal 1 April 2008.
- Anonim^a. 2008. *Produksi Singkong Belum Cukup Dukung Pengembangan Biofuel*. <http://www.kapanlagi.com/h/0000215572.html>. Diakses pada hari Sabtu, tanggal 19 Juli 2008.
- Anonim^b. 2008. *Profil Jawa Tengah*. [http : www.indonesia.go.id/profiljateng.php](http://www.indonesia.go.id/profiljateng.php). htm. Diakses pada hari Sabtu, tanggal 19 Juli 2008.
- Buckle, K.A.; Ronald, A. E.; Graham, H. F.; and Michael Wootton. 1987. *Food Science*. UI Press. Jakarta.
- Candra, Alex. 1998. *Mempelajari Pola Isoterm Sorpsi Lembab pada Daging Buah dan Dami Nangka*. Skripsi Jurusan TPHP FTP UGM. Yogyakarta.

- Damardjati, Djoko S dan Widowati, 1993. [http ://
www.bpkjatim.or.id/pages/standarisasi/gaplek.php](http://www.bpkjatim.or.id/pages/standarisasi/gaplek.php). Diakses pada hari Selasa, 15 Januari 2008.
- Departemen Kesehatan RI. 1981. *Daftar Komposisi Bahan Makanan*. Bhartara Karya Aksara. Jakarta.
- Fennema, O. R. 1996. *Food Chemistry*. Marcel Dekker Inc. New York.
- Khudori, 2003. *Mendongkrak Gengsi Singkong*.
<http://www2.kompas.com/kompas-cetak/0309/19/ilpeng/568239.htm>.
Diakses pada hari Rabu, tanggal 27 Februari 2008.
- Labuza, T.P. 1984. *Moisture Sorption : Practical Aspect of Isotherm Measurement and Use*. American Association of Cereal Chemists. Minnesota, USA.
- Makfoeld, Djamir. 1982. *Diskripsi Pengolahan Hasil Nabati*. Agritech. Yogyakarta
- Marsili. 1993. *Food Product Design : Water Activity*.
http://www.foodproductdesign.com/webinars/water_webinar.html.
Diakses pada hari Kamis, tanggal 21 Februari 2008.
- Nadie, Lahyanto. 2007. *Peluang Ekspor Gaplek ke China Rp1,36 triliun*.
[http : //www.bisnis.com/sektor-riil/perdagangan/1id30161.html](http://www.bisnis.com/sektor-riil/perdagangan/1id30161.html). Diakses pada hari Rabu, tanggal 13 Agustus 2008.
- Primaswari, Armeita Zufri. 2000. *Kajian Isotermi Sorpsi Lembab Bubuk Instan Jambu Biji (Psidium guajava) yang Ditambah Probiotik Lactobacillus sp. Dad-13*. Skripsi Jurusan TPHP FTP UGM. Yogyakarta.
- Rukmana, Rahmat. 1997. *Ubikayu Budidaya dan Pasca Panen*. Kanisius. Yogyakarta.

- Setyono, A.; Suismono; dan A. M. Fagi. 1990. *Pengembangan Teknologi Pengelolaan Ubikayu dalam Menunjang Agro-Ekologi di Pedesaan*, hal. 427-457. **dalam** J. Wargiono, Saraswati, J. Pasaribu, dan Sutoro (ed.). Prosiding Seminar Nasional UPT-EPG. Lampung : 15 Februari 1990.
- Wulandari, Nur dan Soewarno T. Soekarto. 2003. *Fenomena Histeresis Isotermi Sorpsi Air pada Granula Pati Amilosa, Granula Pati Amilopektin, Protein, dan Selulosa*. Jurnal Teknologi dan Industri Pangan Vol XIV (1) : 21- 28.
- Sudarmadji, Slamet; Bambang Haryono; dan Suhardi. 1989. *Analisa Bahan Makanan dan Pertanian*. Liberty. Yogyakarta.
- Suharja. 2008. *Cassava Mensubstitusi Jagung dalam Pakan Unggas*. <http://feedindonesia.net/?p=18>. Diakses pada hari Sabtu, tanggal 19 juli 2008.
- Suismono dan P Wibowo. 1991. *Pengaruh Pengepresan dan Bahan Pengemas terhadap Mutu dan Randemen Tepung Kassava Selama Penyimpanan*. Buletin Teknologi dan Informasi Penelitian. 6 : 160-183.
- Sukandar. 1999. *Isoterm Sorpsi Lembab dan Kondisi Kritis Flake Pisang Cavendish*. Skripsi Jurusan TPHP FTP UGM. Yogyakarta
- Sukardi, Astuti S., dan S. Kumalaningsih. 1990. *Peningkatan Nilai Tambah Hasil Ubikayu di Pedesaan Jawa Timur*, hal. 628-639. **dalam** J. Wargiono, Saraswati, J. Pasaribu, dan Sutoro (ed.). Prosiding Seminar Nasional UPT-EPG. Lampung : 15 Februari 1990.
- Sukmono, Tjahyo. 1998. *Isoterm Sorpsi Lembab Bubuk Buah Alpokat*. Skripsi Jurusan TPHP FTP UGM. Yogyakarta.

- Suyitno. 1995. *Serat Makanan dan Perilaku Aktivitas Air Bubuk Buah*. Disertasi Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.
- Syarief, Rizal dan Hariyari Halid. 1993. *Teknologi Penyimpanan Pangan*. Arcan. Jakarta.
- Tjokroadikoesoemo, Soebiyanto. 1985. *HFS dan industri Ubi kayu Lainnya*. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Widodo, dkk. 2003. *Perbaikan Sistem Usahatani Ubikayu Berorientasi Agribisnis yang Berkelanjutan*. Buletin Teknologi dan Informasi Penelitian. 6 : 160-183.
- Winarno, F. G., Srikandi Fardiaz dan Dedi Fardiaz. 1980. *Pengantar Teknologi Pangan*. PT Gramedia. Jakarta.
- Winarno, F. G. 2002. *Kimia Pangan dan Gizi*. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Yulineri, Titin; Riani Hardiningsih; dan Suciatmi. 1997. *Keberadaan Kapang pada Gaplek : Pengaruh Terhadap Kualitas dan Daya Simpan*. Berita Biologi Jurnal Biologi Ilmiah Vol 4 (1). Pusat Penelitian dan Pengembangan Biologi- LIPI.

Lampiran 1. Analisa Kadar Air (Anonim, 1996)

1. Ditimbang sampel sebanyak 1-2 gram dalam botol timbang yang telah diketahui beratnya.
2. Dikeringkan dalam oven pada suhu 100-105 °C selama 2-5 jam tergantung bahannya.
3. Didinginkan dalam eksikator dan ditimbang.
4. Perlakuan ini diulangi sampai mencapai berat konstan (selisih penimbangan berturut-turut < 0,2 mg).
5. Penurunan berat merupakan banyaknya air dalam bahan.

Untuk menghitung kadar air sampel, maka digunakan rumus :

$$\text{❖ Kadar Air (\% wb)} = \frac{[(B + S) - (B + S)']}{[(B + S) - B]} \times 100 \%$$

$$\text{❖ Kadar Air (\% db)} = \frac{[(B + S) - (B + S)']}{(B + S)' - B} \times 100 \%$$

Keterangan :

(B+S) = Berat awal botol timbang dan sampel

(B+S)' = Berat konstan botol timbang dan sampel

B = Berat botol timbang

Lampiran 2. Analisis Kadar Air Awal Tepung Gaplek

Sampel	Ulangan	Berat Botol Timbang (gr)	Berat Sampel (gr)	Berat Sampel Konstan + Botol (gr)
Tepung Gaplek	I	20,0289	2,3347	22.1288
	II	22,3058	2,0279	24,1339

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
\text{❖ Kadar Air (\%db)} &= \frac{[(B + S) - (B + S)']}{(B + S)' - B} \times 100 \% \\
\text{I. Kadar Air (\%db)} &= \frac{[(20,0289 + 2,3347) - (22,1288)]}{(22,1288 - 20,0289)} \times 100 \% \\
&= 11,1815 \% \text{db} \\
\text{II. Kadar Air (\%db)} &= \frac{[(22,3058 + 2,0279) - (24,1339)]}{(24,1339 - 22,3058)} \times 100 \% \\
&= 10,9294 \% \text{db} \\
\text{Rata-rata KA (\%db)} &= \frac{11,1815 + 10,9294}{2} = 11,05545 \% \text{db}
\end{aligned}$$