

## SKRIPSI

**ISA (ISOTERMISORPSI AIR) PATI AMILOPEKTIN TINGGI  
DARI KETAN PADA BERBAGAI TINGKAT GELATINISASI**

Oleh :

**CHRISTIN SIMA SIHOMBING .****F02496010**

2000

**JURUSAN TEKNOLOGI PANGAN DAN GIZI  
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR**

**Christin Sima Sihombing, F02496010, ISA (Isotermis Sorpsi Air) Pati Amilopektin Tinggi Dari Ketan Pada Berbagai Tingkat Gelatinisasi. Dibawah Bimbingan Bapak Soewarno.T.Soekarto dan Ibu Waysima. 2000**

**Abstrak**

Tujuan penelitian ini yaitu akan dipelajari dan dibandingkannya kurva isotermis sorpsi air (ISA) Pati High Amilopektin tinggi pada berbagai tingkat gelatinisasi, kondisi air bahan pangan yang mengalami isotermis sorpsi dengan menggunakan model matematika yang sesuai, serta hubungan kelembaban relatif terhadap tingkat gelatinisasi pati beserta aktivitas air kritisalnya.

Kegunaan penelitian ini adalah untuk mengetahui kurva isotermis sorpsi air pati terhadap perlakuan pemanasan dan dapat membantu untuk memperluas penggunaan dan pemanfaatan pati sebagai bahan baku dari berbagai jenis produk pangan.

Kurva ISA merupakan kurva hubungan antara kadar air keseimbangan dengan kelembaban relatif bahan. Untuk menentukan kadar air keseimbangan, pati pada berbagai tingkat gelatinisasi diseimbangkan dalam desikator berisi larutan garam-garam jenuh dengan RH 0,065-0,97 yang disimpan pada suhu ruang.

Tingkat gelatinisasi yang dilakukan yaitu dilakukan pada 4 tingkat gelatinisasi yaitu pati tidak tergelatinisasi (pati mentah), pati tergelatinisasi sebagian 1 yaitu pemanasan pati dengan menggunakan suhu 105 °C selama satu jam (tergelatinisasi parsial ringan), kemudian pati tergelatinisasi sebagian 2 yaitu pemanasan pati dengan menggunakan suhu 105 °C selama empat jam (tergelatinisasi parsial berat) dan pati tergelatinisasi sempurna yaitu pati dimasak dengan penambahan air hingga matang (pati matang).

Pati pada keempat tingkat gelatinisasi diseimbangkan baik secara adsorpsi dan desorpsi. Penyeimbangan kadar air pati bertujuan untuk memperoleh berbagai tingkat kadar air pati dan kurva ISA, baik untuk pati mentah, pati tergelatinisasi parsial ringan, pati tergelatinisasi parsial berat dan pati matang. Hal tersebut dilakukan untuk melihat pengaruh pengolahan terhadap bentuk kurva ISA dan menentukan daerah air terikat yang berhubungan dengan tingkat gelatinisasi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa bentuk kurva Isotermis Sorpsi Air pati baik pati mentah, pati tergelatinisasi parsial ringan, pati tergelatinisasi parsial berat dan pati matang berbentuk sigmoid. Hal ini sesuai dengan pernyataan Syarif dan Halid (1993) bahwa pada umumnya bentuk kurva ISA bahan pangan berbentuk sigmoid.

Kadar air keseimbangan pati secara desorpsi lebih tinggi dibanding kadar air secara absorpsi hal ini menunjukkan adanya fenomena histerisis (Christensen, 1974). Kadar air keseimbangan pati mentah lebih tinggi dibanding pati tergelatinisasi parsial ringan, pati tergelatinisasi parsial berat dan pati matang pada RH yang sama. Hal ini menunjukkan adanya faktor suhu dan pengolahan. Adanya proses pengolahan pada suhu tinggi juga menyebabkan perubahan daya serap air dari pati sehingga mempengaruhi kurva isotermis sorpsi air.

Nilai kapasitas air terikat pati pada proses absorpsi yaitu air terikat primer pati mentah sebesar 4.91 (%b.k) yang berkeseimbangan dengan aktifitas air (aw) 0.09, pati tergelatinisasi parsial ringan sebesar 5.04 (%b.k) yang berkeseimbangan

dengan  $a_w$  0.13, pati tergelatinisasi parsial berat sebesar 4.88(% b.k) yang berkeseimbangan dengan  $a_w$  0.14 dan pati matang sebesar 4.36 (%b.k) yang berkesetimbangan dengan  $a_w$  0.16. Kapasitas air terikat sekunder pati mentah yaitu sebesar 14.39 (%b.k) yang berkeseimbangan dengan  $a_w$  0.75, pati tergelatinisasi parsial ringan sebesar 15.81 (%b.k) yang berkeseimbangan dengan  $a_w$  0.81, pati tergelatinisasi parsial berat sebesar 16.424 (%b.k) yang berkeseimbangan dengan  $a_w$  0.82 dan pati matang sebesar 14.05 (%b.k) yang berkeseimbangan dengan  $a_w$  0.79. Kapasitas air terikat sekunder pati tergelatinisasi parsial ringan, pati tergelatinisasi parsial berat lebih besar dibanding pati mentah dan pati matang.

Kapasitas air terikat tersier pada proses absorpsi dihasilkan pati mentah sebesar 38 (%b.k), pati tergelatinisasi parsial ringan sebesar 32 (%b.k), tergelatinisasi parsial berat sebesar 33 (%b.k) dan pati matang sebesar 41 (%b.k). Pati matang memiliki air terikat tersier yang paling besar. Hal ini disebabkan oleh karena adanya pengaruh pengolahan dan proses gelatinisasi..

Secara Desorpsi dihasilkan kapasitas air terikat primer pada pati mentah sebesar 5.67 (%b.k) yang berkeseimbangan dengan  $a_w$  0.14 pati tergelatinisasi parsial ringan sebesar 6.06(%b.k) yang berkeseimbangan dengan  $a_w$  0.16, tergelatinisasi parsial berat sebesar 5.63 (%b.k) yang berkeseimbangan dengan  $a_w$  0.13 dan pati matang sebesar 6.09 (%b.k) yang berkeseimbangan dengan  $a_w$  0.14. Kapasitas air terikat primer memiliki kapasitas yang hampir sama untuk masing-masing tingkat gelatinisasi atau tidak dipengaruhi oleh proses gelatinisasi.

Nilai kapasitas air terikat sekunder pada pati mentah sebesar 20.19 (%b.k), pati tergelatinisasi parsial ringan sebesar 21.23 (%b.k), pati tergelatinisasi parsial berat sebesar 22.25 (%b.k) dan pati matang sebesar 20.17 (%b.k). Hal ini menunjukkan bahwa kapasitas air terikat sekunder desorpsi lebih tinggi dibanding proses absorpsi. Sedangkan kapasitas air terikat sekunder desorpsi pati mentah dan pati matang lebih rendah dibanding dengan pati tergelatinisasi parsial ringan dan pati tergelatinisasi parsial berat.

Nilai kapasitas air terikat tersier atau air yang terikat lemah dalam komponen bahan pangan secara desorpsi pada pati mentah sebesar 56 (%b.k), pati perlakuan sebesar 52.5 (%b.k), pati tergelatinisasi parsial berat sebesar 51(%b.k) dan pati matang sebesar 63 (%b.k). Secara umum dapat dilihat bahwa kapasitas air terikat tersier dari pati secara desorpsi jauh lebih besar bila dibanding dengan pati yang mengalami proses absorpsi.

**ISA (ISOTERMIS SORPSI AIR) PATI AMILOPEKTIN TINGGI  
DARI KETAN PADA BERBAGAI TINGKAT GELATINISASI**

Oleh :

**CHRISTIN SIMA SIHOMBING**

**F02496010**

**SKRIPSI**

Sebagai salah satu syarat memperoleh gelar  
**SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN**

Fakultas Teknologi Pertanian  
Institut Pertanian Bogor



**2000**

**JURUSAN TEKNOLOGI PANGAN DAN GIZI  
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR**

## SKRIPSI

ISA (ISOTERMIS SORPSI AIR) PATI AMILOPEKTIN TINGGI  
DARI KETAN PADA BERBAGAI TINGKAT GELATINISASI

## SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat memperoleh gelar  
SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN  
Fakultas Teknologi Pertanian  
Institut Pertanian Bogor

Oleh :

CHRISTIN SIMA SIHOMBING


F02496010

Dilahirkan pada tanggal 3 Oktober 1977


di Saribudolok

Tanggal lulus : 31 Agustus 2000



  
Dra. Waysima, MSc

Dosen Pembimbing II

  
Prof. Dr. Soewarno T. Soekarto, MSc

Dosen Pembimbing I



Janganlah hendaknya kamu kuatir tentang apapun juga, tetapi nyatakanlah dalam segala hal keinginanmu kepada Allah dalam doa dan permohonan dengan ucapan syukur (Filipi 4, 6)

Kupersembahkan karya kecilku ini buat orang-orang yang sangat aku sayangi : Bapak dan Mama serta adik - adikku tercinta Christella, Dona, Fitria, Mega, Via, Vini dan Arga Pratama Sihombing

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan kuliah di IPB ini dan dapat menyelesaikan skripsi ini

Skripsi ini merupakan hasil penelitian yang di lakukan selama 4 bulan, sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknologi Pertanian pada Jurusan Teknologi Pangan dan Gizi, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada :

1. Prof. DR. Soewarno. T. Soekarto, MSc dan Dra Waysima, MSc selaku dosen pembimbing pertama dan kedua yang telah banyak membantu dan memberi bimbingan kepada penulis selama penelitian dan penyelesaian skripsi.
2. DR. Ir Joko.H. sebagai dosen penguji yang telah banyak memberi saran kepada penulis dalam penyelesaian skripsi.
3. Bapak dan Mama ku tercinta yang selalu memberi bantuan doa, dukungan dan semangat kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan studi di IPB.
4. Adik-adikku tercinta yang selalu berdoa untukku, Christella, Dona, Fitria, Mega, Via, Vini dan si bungsu yang paling kami sayangi Arga Pratama Sihombing.
5. Teman-teman setiaku yang selalu memberi bantuan dan dukungannya Desire Kadirantau dan Susi.
6. Keluargaku di Bogor PMK dan Kelompok kecilku yang selalu menjadi tempat pertumbuhanku, Ade, Dini, Imelda, dan Sadariah, semoga kebersamaan itu tak pernah kita lupakan.
7. Tim KK yang selalu menyemangatiku dalam penelitian dan skripsiku terimakasih buat segala perhatian yang selalu aku terima darimu, Lia, Tessa, Erni, Ibet, Oot dan Handi.

8. Keluarga Besar “Wisma Joe selebritis” yang menjadi tempat canda dan mainku , Nevi, Doris, Sinto, Diana, Lian, Ade, Deli, Cici, dan Anin dan segala persaudaraan yang pernah kita jalani.
9. “The Satan’ Crew” Atun, Ade Therik, Henny, Desire dan Nevi untuk persahabatan yang tidak pernah putus antara kita semoga sukses selalu.
10. Kelurga Besar TPG’ 33 buat kebersamaan yang pernah kita dijalani.
11. Semua Tehnisi di Lab TPG, Pak Dundung, Pak Yahya, Pak Gatot, Ibu Rubiah, Mbak Ida dan Mbak Tati.
12. *Special Thank’s* buat bang Pay terimakasih buat segala dukungan dan bantuan yang selalu kau berikan dan yang selalu setia menjadi tempat pengaduanku selama penelitian dan penulisan skripsi ini
13. Semua Pihak yang tidak dapat penulis tuliskan satu persatu.

Kritik dan saran yang membangun terhadap laporan skripsi ini sangat penulis harapkan, akhirnya semoga skripsi ini dapat berguna bagi semua pihak yang membutuhkannya.

September, 2000

Penulis.



## DAFTAR ISI

	HALAMAN
KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR LAMPIRAN.....	viii
I. PENDAHULUAN	
A. LATAR BELAKANG.....	1
B. TUJUAN DAN KEGUNAAN PENELITIAN.....	2
II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. PATI.....	3
1. Sifat-Sifat Pati.....	3
2. Granula Pati.....	3
3. Zat Pati.....	5
B. GELATINISASI PATI.....	6
1. Pengertian.....	6
2. Perubahan Struktur Granula.....	7
3. Suhu Gelatinisasi.....	8
C. KADAR AIR KESEIMBANGAN.....	9
1. Pengertian keseimbangan.....	9
2. Prinsip Kadar Air Keseimbangan.....	10
3. Makna Kadar Air Keseimbangan.....	11
D. ISOTHERMIS SORPSI AIR.....	11
1. pengertian Isotermis Sorpsi Air.....	11
2. Bentuk Isotermis Sorpsi Air.....	12
3. Model Matematis Sorpsi Isotermis .....	13
4. Makna Isotermis Sorpsi air.....	18
E. AIR TERIKAT.....	19
1. Pengertian.....	19

Makna Air Terikat.....	20
III. METODOLOGI PENELITIAN	
A. BAHAN DAN ALAT.....	21
1. Bahan.....	21
2. Alat.....	21
B. PERSIAPAN.....	23
1. Pembuatan Pati.....	23
2. Pemanasan Pati pada Tingkat Gelatinisasi.....	23
3. Keseimbangan Cara Absorpsi.....	24
4. Keseimbangan Cara Desorpsi.....	24
C. METODE PENELITIAN.....	24
1. Penyeimbangan Kadar Air Pati Secara Absorpsi..	25
2. Penyeimbangan Kadar Air Pati Secara Desorpsi..	25
3. Amilografi Pati Ketan.....	26
A. METODE ANALISA.....	27
1. Kadar Air.....	27
2. Kadar Protein.....	27
3. Kadar Lemak.....	27
4. Kadar Pati.....	28
5. Amilografi Pati ketan.....	29
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. EKSTRAKSI PATI KETAN .....	30 ✓
B. SIFAT AMIOLOGRAFI.....	31
C. KADAR AIR KESEIMBANGAN.....	33
D. ISOTERMIS ABSORPSI DAN ISOTERMIS DESORPSI.....	35
1. Isotermis Absorpsi.....	35
2. Isotermis Desorpsi.....	36
3. Fenomene Histeresis.....	39
E. PENGARUH PEMANASAN TERHADAP ISA.....	41
F. ANALISIS FRAKSI-FRAKSI AIR TERIKAT.....	44
1 Penentuan Air Terikat Primer Pati.....	44



2	Penentuan Air Terikat Sekunder Pati.....	48
3.	Penentuan Air Terikat Tersier Pati.....	53
V.	KESIMPULAN DAN SARAN	
A.	KESIMPULAN.....	56
B.	SARAN.....	58
	DAFTAR PUSTAKA.....	59

## DAFTAR TABEL

	HALAMAN
Tabel 1. Beberapa Contoh Produk Menggunakan Pati.....	4
Tabel 2. Perbandingan Sifat-Sifat Komponen Amilosa dan Amilopektin.....	5
Tabel 3. Nilai RH Larutan Garam Jenuh pada suhu 27 °C.....	22
Tabel 4. Komposisi Proksimat Pati Ketan, Beras Ketan dan Beras..	30
Tabel 5. Beberapa sifat Fisik Pati, Beras Ketan dan Beras.....	30
Tabel 6. Hubungan Kelembaban Relatif dengan Kadar Air Keseimbangan Pati pada Berbagai Tingkat Gelatinisasi Secara Absorpsi.....	34
Tabel 7. Hubungan Kelembaban Relatif dengan Kadar Air Keseimbangan Pati pada Berbagai Tingkat Gelatinisasi Secara Desorpsi.....	34
Tabel 8. Hasil Perhitungan Air Terikat Primer Pati pada 4 Tingkat Gelatinisasi Secara Absorpsi dan Desorpsi.....	46
Tabel 9. Hasil Perhitungan Air Terikat Sekunder Pati Secara Absorpsi dan Desorpsi.....	51
Tabel 10. Kapasitas Air Terikat Tersier Pati pada 4 Tingkat Gelatinisasi Secara Absorpsi dan Desorpsi.....	54
Tabel 11. Hasil Perhitungan Air Terikat yang Merupakan fraksi-fraksi Air Terikat Secara Absorpsi dan Desorpsi...	57

## DAFTAR GAMBAR

	HALAMAN
Gambar 1. Penampakan Mikroskop Beberapa Jenis Granula Pati...	4
Gambar 2. Klasifikasi Kadar Air Isotermis Sorpsi Standart.....	13
Gambar 3. Kurva Kadar Air Keseimbangan Model Henderson.....	14
Gambar 4. Susunan Alat Desikator.....	22
Gambar 5. Kurva Hubungan Antara Kelembaban Relatif (%) dengan Kadar Air Keseimbangan (%b.k) pada Pati Matang Secara Absorpsi.....	37
Gambar 6. Kurva Hubungan Antara Kelembaban Relatif (%) dengan Kadar Air Kesetimbangan (%b.k) pada Pati Matang Secara Desorpsi.....	36
Gambar 7. Kurva Hubungan Antara Kelembaban Relatif (%) dengan Kadar Air Keseimbangan (%b.k) pada Pati Matang Secara Absorpsi dan Desorpsi (histeresis).....	40.
Gambar 8. Kurva Hubungan Antara Kelembaban Relatif (%) dengan Kadar Air Keseimbangan (%b.k) dari Pati pada Berbagai Tingkat Gelatinisasi Secara Absorpsi.....	42.
Gambar 9. Kurva Hubungan Antara Kelembaban Relatif (%) dengan Kadar Air Kesetimbangan (%b.k) dari Pati pada Berbagai Tingkat Gelatinisasi Secara Desorpsi.....	43
Gambar 10. Plot Isotermis Sorpsi BET Pati Mentah Secara Absorpsi	47
Gambar 11. Plot Isotermis Sorpsi BET Pati Mentah Secara Desorpsi	47
Gambar 12. Bentuk Linier dari Isotermis Sorpsi Pati Mentah Secara Absorpsi yang terdiri dari Air Terikat Sekunder dan Air Terikat Tersier.....	52
Gambar 13. Bentuk Linier dari Isotermis Sorpsi Pati Mentah Secara Desorpsi yang terdiri dari Air Terikat Sekunder dan Air Terikat Tersier.....	52



## DAFTAR LAMPIRAN

### HALAMAN

Lampiran 1	Hasil Perhitungan Air Terikat Primer Pati Mentah dengan Model Isotermis Sorpsi BET secara Absorpsi...	62
Lampiran 2	Hasil Perhitungan Air Terikat Primer Pati Tergelatinisasi Parsial Ringan dengan Model Isotermis Sorpsi BET secara Absorpsi.....	62
Lampiran 3	Hasil Perhitungan Air Terikat Primer Pati Tergelatinisasi Parsial Berat dengan model isotermis sorpsi BET secara Absorpsi.....	62
Lampiran 4	Hasil Perhitungan Air Terikat Primer Pati Matang dengan Model Isotermis Sorpsi BET secara Absorpsi...	63
Lampiran 5	Hasil Perhitungan Air Terikat Primer Pati Mentah dengan Model Isotermis Sorpsi BET secara Desorpsi...	63
Lampiran 6	Hasil Perhitungan Air Terikat Primer Pati Tergelatinisasi Parsial Ringan Model Isotermis Sorpsi BET Secara Desorpsi.....	63
Lampiran 7	Hasil Perhitungan Air Terikat Primer Pati Tergelatinisasi Parsial dengan Model Isotermis Sorpsi BET Secara Desorpsi.....	64
Lampiran 8	Hasil Perhitungan Air Terikat Primer Pati Matang dengan Model Isotermis Sorpsi BET secara Desorpsi...	64
Lampiran 9	Hasil Perhitungan Air Terikat Sekunder Pati Mentah dengan Model Analisa Logaritma secara Absorpsi.....	65
Lampiran 10	Hasil Perhitungan Air Terikat Sekunder Pati Tergelatinisasi Parsial Ringan dengan Model Analisa Logaritma Secara Absorpsi.....	65
Lampiran 11	Hasil Perhitungan Air Terikat Sekunder Pati Tergelatinisasi Parsial Berat dengan Model Analisa Logaritma Secara Absorpsi.....	66
Lampiran 12	Hasil Perhitungan Air Terikat Sekunder Pati Matang	



## I. PENDAHULUAN

### A. LATAR BELAKANG

Beras (*Oriza Sativa L*) merupakan bahan makanan pokok di dalam menu masyarakat Indonesia, meskipun di beberapa daerah digunakan jagung, sagu atau ubi jalar. Dibandingkan dengan makanan pokok lainnya, beras mempunyai nilai gizi yang sangat tinggi. Padi-padian terutama beras mendominasi peranannya sebagai sumber energi dan protein yang paling utama yaitu sebesar 65% dan 53% dari seluruh konsumsi (Suhardjo, 1993).

Beras ketan (*Oriza Sativa Glutinosa*) atau disebut ketan merupakan salah satu varietas dari padi dan termasuk famili *Graminae*. Ketan mempunyai kadar amilosa kira-kira satu persen dan kadar sukrosa yang lebih tinggi dibandingkan dengan beras. Nasinya mempunyai sifat mengkilat, lengket dan kerapatan antara butir nasi sangat tinggi, sehingga volume nasinya kecil (Tjiptadi dan Nasution, 1976).

Sebagai bahan makanan pokok secara nasional beras mempunyai fungsi sosial, ekonomi, politik yang sangat strategis, sehingga hal ini sangat berkaitan dengan kebijaksanaan pemerintah tentang produksi persediaan atau stok, distribusi dan konsumsi beras (Among, 1991).

Beberapa produk olahan beras dan ketan memiliki kualifikasi tertentu terhadap bahan baku utamanya. Sifat terpenting dalam kualifikasi dan pemanfaatan beras dan ketan untuk produk olahannya adalah kadar amilosa. Beberapa pemanfaatan beras adalah sebagai makanan bayi, bihun, nasi kaleng, dan makanan ringan. Sedangkan ketan biasanya dimanfaatkan dalam pembuatan kue basah (seperti dodol, wingko, rangginang dll), makanan ringan, pelembut, tepung roti dan produk fermentasi

Produk pangan dalam lingkungan udara akan mengalami perubahan kadar air, menjadi naik atau turun. Jika kadar air bahan mengalami penurunan berarti sebagian air dalam bahan padat telah mengalami penguapan. Penurunan kadar air akibat penguapan ini disebut desorpsi, sebaliknya jika kadar air bahan meningkat karena molekul-molekul uap air

dari udara diserap oleh bahan padat tersebut disebut dengan adsorpsi (Soekarto dan Syarif, 1990)

Istilah adsorpsi digunakan jika penyerapan molekul air itu berlangsung di permukaan bahan padat dan jika penyerapan air berlangsung di dalam bahan disebut absorpsi. (Soekarto dan Syarif, 1990)

Proses tercapainya kadar air keseimbangan suatu bahan dengan lingkungan karena bahan kehilangan sebagian kandungan airnya merupakan proses desorpsi, sedangkan proses tercapainya kadar air keseimbangan suatu bahan dengan lingkungan karena bahan menyerap air dari lingkungannya merupakan proses absorpsi. Proses absorpsi dan desorpsi ini disebut sorpsi isothermis (Henderson dan Perry, 1976).

Sorpsi isothermi menunjukkan hubungan antara kadar air keseimbangan bahan dengan kelembaban relatif ruang tempat penyimpanan bahan atau aktifitas air ( $a_w$ ), pada suhu tertentu.

Bentuk kurva sorpsi isothermis adalah khas bagi setiap bahan pangan. Sorpsi isothermis ini dapat dibagi menjadi beberapa bagian tergantung dari keadaan air dalam bahan pangan tersebut. Isothermis sorpsi penting untuk pendugaan waktu pengeringan, pengemasan dan kemantapan bahan selama penyimpanan.

## B. TUJUAN DAN KEGUNAAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melihat pengaruh tingkat pemanasan pati beras ketan (high amilopektin) terhadap kurva isothermis sorpsi. Secara umum bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat granula pati terhadap perlakuan pemanasan dan membantu memperluas penggunaan serta pemanfaatan pati ketan sebagai bahan baku dari berbagai jenis produk pangan.

Kegunaan penelitian ini diharapkan akan diperoleh data dasar tentang daya serap air dan informasi tentang pati ketan yang sangat penting dalam proses penyimpanan, pengeringan dan dalam pengolahan ketan menjadi produk jadi

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. PATI

Pati adalah polisakarida yang merupakan cadangan metabolik pada tanaman (Pomeranz,1991). Pati terdapat di dalam granula bersama-sama dengan komponen-komponen minor lain seperti lipid, protein, dan mineral (Swinkels,1985). Hasil penggilingan sumber pati disebut tepung (Manley,1983) dengan komponen utamanya adalah zat pati (Matz,1992)

#### 1. Sifat – Sifat Pati

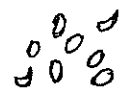
Pati merupakan kumpulan dari butiran-butiran granula pati, berwarna putih, mengkilap, tidak berbau dan tidak mempunyai rasa. Pati yang berupa tepung atau serbuk jika dipegang dengan jari tengah, telunjuk dan ibu jari, kemudian kedua jari yaitu jari tengah dan ibu jari dihimpitkan sampai pati di antara kedua jari ditekan, maka dengan penekanan tersebut pati akan slip. Hal ini menunjukkan bahwa pati mempunyai sifat licin (Pandanwangi, 1984).

Pati dapat berikatan dengan iodine membentuk kompleks pati - iodine yang berwarna biru. Sifat ini dapat digunakan untuk menganalisa adanya pati (Winarno, 1986). Warna biru yang terbentuk disebabkan oleh molekul pati yang berbentuk spiral. Struktur bentuk spiral yang terdapat dalam pati merupakan karakteristik amilosa dalam larutan. Bila pati dipanaskan, spiral akan meregang, molekul-molekul iodine terlepas dan warna biru akan menghilang (Winarno, 1986).

#### 2. Granula Pati

Di bawah mikroskop tepung terlihat berupa granula-granula yang berukuran kecil. Bentuk dan ukuran granula pati berbeda-beda untuk setiap jenis pati seperti yang terlihat pada Gambar 1





Jagung



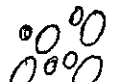
Kentang



Beras



Sagu



tapioka



terigu

Gambar 1. Penampakan mikroskop beberapa jenis granula pati  
(Pomeranz, 1991)

Tabel 1. Beberapa contoh produk menggunakan pati

Aplikasi	Tipe Pati	Sifat/tujuan
Sup, saos	di-pati posfat terasetilasi	Stabilitas viskositas terhadap panas/asam/tekanan
Pikel	di-pati posfat	Pengental
Dessert	di-pati posfat terhidroksipropil	Penstabil, pengental, memperbaiki umur simpan
Puding dan dessert (instan)	di-pati posfat pregelatinisasi	Pengental instan, tekstur creamy atau kaku, penampakan glossy
Adonan bakery	Pati murni (pregelatinisasi) dan di- pati posfat terasetilasi	Tekstur, umur simpan, pengikat, pengental

(Rapaille dan Vanhemelrijck, 1994).

### 3. Zat Pati

Menurut Whistler dan Daniel (1984), pati adalah homoglukan yang terdiri dari satu jenis unit D-glukosa yang dihubungkan dengan ikatan glukosida. Ikatan glukosida stabil pada kondisi alkali dan dapat dihidrolisis pada kondisi asam. Unit glukosa pada pati membentuk dua jenis polimer yaitu amilosa dan amilopektin (Swinkels, 1985).

Pati adalah homopolimer glukosa dengan ikatan  $\alpha$  glikosidik. Pati terdiri dari dua fraksi yang dapat dipisahkan dengan air panas. Pada umumnya pati terdapat dalam keadaan murni karena ada bahan antara misalnya protein dan lemak. Granula pati sedikitnya mengandung tiga komponen yaitu amilosa, amilopektin dan bahan antara. Bahan antara tersebut terdapat sekitar 5-10% (Banks dan Greenwood, 1975).

Tabel 2. Perbandingan sifat-sifat komponen amilosa dan amilopektin

Sifat komponen	Amilosa	Amilopektin
Struktur	Tidak bercabang	Bercabang
Panjang rantai rata-rata	$10^3$	20-25
Derajat polimerisasi	$10^3$	$10^4 - 10^5$
Stabilitas dalam larutan	Tidak stabil	Stabil
Pewarnaan Iod	Biru tua	Ungu
Konfersi menjadi maltosa%	110	90
*Alpha amilase	70	55
*Beta amilase	100	75
*debranching enzyme, kemudian alpha amilase		

(Manners, 1979)

## Amilosa

Amilosa adalah polisakarida yang terdiri dari glukosa yang membentuk rantai linier melalui ikatan alfa 1,4 (Gaman dan Sherrington, 1990), dan merupakan polimer monosakarida yang bergabung dengan mengeliminasi satu molekul air pada setiap ikatan (Juliano, 1985).

## Amilopektin

Amilopektin adalah molekul hasil polimerisasi unit-unit glukosa anhidrous melalui ikatan alfa 1,4 dan ikatan cabang alfa 1,6 pada setiap 20-26 unit monomer (Rapaille dan Vanhemelrijk, 1994). Pomeranz (1991) menerangkan struktur cabang amilopektin merupakan salah satu hasil mekanisme enzim yang memecah rantai linier yang panjang. Hasil pecahan berupa rantai-rantai pendek dengan 25 unit glukosa yang kemudian bergabung membentuk struktur yang berantai banyak.

## B. GELATINISASI PATI

Granula pati tidak larut dalam air dingin, tetapi mengembang (membengkak) dalam air panas. Pembengkakan ini bersifat reversible sampai pada suatu keadaan yang disebut suhu gelatinisasi dimana pati pecah dan bersifat irreversible. Gelatinisasi ini merupakan akibat dari proses pemanasan yang penting pada industri pangan.

### 1. Pengertian

Naiknya suhu pemanasan akan meningkatkan pembengkakan granula pati. Pembengkakan granula menyebabkan terjadinya penekanan antara granula satu dengan yang lainnya. Mula-mula pembengkakan granula bersifat "reversible" (dapat kembali ke bentuk awal), tetapi ketika suhu tertentu sudah terlewati, pembengkakan granula bersifat "irreversible" (tidak dapat kembali ke bentuk awal). Proses pembengkakan pada saat itu disebut gelatinisasi,

sedang selang suhu dimana gelatinisasi terjadi disebut suhu gelatinisasi (Collison, 1965 di dalam Bank et al. 1973)

Gelatinisasi adalah proses yang kompleks dimana granula pati membengkak secara irreversible (Winarno, 1984). Gelatinisasi pati ditandai dengan menghilangnya garis polarisasi (birefringence), peningkatan transmitan optis dan peningkatan viskositas (Swinkels, 1985)

Menurut Harper (1981), mekanisme gelatinisasi pati adalah, mula-mula pemberian air pada pati akan memisahkan kristalinitas amilosa dan mengganggu struktur heliksnya. Granula pati kemudian mengembang dan volumenya menjadi 20 – 30 kalinya. Apabila panas dan air diberikan terus maka amilosa mulai keluar dari granula. Bila proses gelatinisasi terus berlangsung maka granula menjadi pecah dan terbentuklah struktur gel koloidal

Jika gel pati didiamkan beberapa lama, maka akan terjadi perluasan daerah kristal yang menyebabkan pengerasan struktur gel, yang biasanya diikuti dengan keluarnya air dari gel. Pembentukan kembali struktur kristal disebut retrogradasi. Sedangkan keluarnya air dari gel disebut sineresis (Osman, 1972)

Granula pati tidak larut dalam air dingin, tetapi akan mengalami pengembangan volume jika suspensi air-pati dipanaskan. Selanjutnya pemanasan akan lebih meregangkan misela, sehingga air akan lebih banyak terperangkap dalam granula sehingga granula makin membesar sampai pada suatu keadaan dimana pati kehilangan struktur kristalnya sama sekali (Hodge dan Osman, 1976).

## 2 Perubahan Struktur Granula

Pada proses gelatinisasi, terjadi pengrusakan ikatan hidrogen yang berfungsi untuk mempertahankan struktur dan integritas granula pati. Kerusakan integritas granula pati menyebabkan granula menyerap air, sehingga sebagian fraksi terpisah dan masuk kedalam medium. Sesudah pengrusakan granula selesai, viskositas pati menurun. Kenaikan dan

penurunan pasta selama pemanasan dapat diikuti dengan “ Brarender Viscograph” berupa kurva amilografi (Greenwood, 1979 dan Hood, 1980)

Perubahan-perubahan yang terjadi selama proses gelatinisasi yaitu granula pati akan mengalami hidrasi dan mengembang. Molekul amilosa larut, kekuatan ikatan di dalam granula pati akan berkurang yang diikuti dengan semakin kuatnya ikatan antar granula. Kekentalan semakin meningkat dan kejernihan pasta juga akan meningkat. (Collison, 1968).

Pada waktu suhu naik, granula mengembang dan saling bersinggungan satu dengan yang lain, sehingga viskositas pasta granula pati meningkat. Proses ini berlangsung terus hingga viskositas maksimum tercapai, karena pada kondisi ini daya kohesif struktur asli granula pati terlalu lemah. Kemudian dilanjutkan dengan struktur pasta dan viskositas yang menurun, karena kehilangan integritas granula pati. (Blanshard dan Mitchell, 1979)

### 3. Suhu Gelatinisasi

Suhu pada proses gelatinisasi berlangsung disebut suhu gelatinisasi (Winarno, 1984) yang nilainya merupakan kisaran suhu. Granula-granula dari jenis pati yang sama mempunyai bentuk dan ukuran yang bervariasi sehingga energi yang diperlukan untuk pembengkakan granula juga berbeda. Damardjati (1986) mengemukakan bahwa granula yang berukuran besar biasanya membengkak pada suhu yang relatif rendah

Pomeranz (1971) menyatakan bahwa pemanasan suspensi air-pati sampai mencapai suhu gelatinisasi menyebabkan terjadinya pelemahan ikatan hidrogen pada daerah amorfus, dan diikuti dengan pembengkakan granula serta hilangnya orientasi radial dari misel.

Suhu gelatinisasi tidak mempunyai hubungan yang jelas dengan kandungan amilosa pati (Mulyandari,1992). Tetapi, setelah tercapai suhu gelatinisasi sifat pati tergelatinisasi tergantung pada fraksi pati yaitu amilosa dan amilopektin (Juliano,1985).

Kalau diikuti pada proses gelatinisasi pati terlihat beberapa perubahan dengan suhu yang bervariasi untuk setiap jenis pati. Perubahan tersebut ialah



larutan yang mula-mula keruh akan menjadi bening. Terjadinya perubahan atau pengembangan butir pati bersamaan dengan berubahnya kekeruhan tersebut. Berubahnya ukuran granula di dalam air panas mula-mula terjadi dengan tiba-tiba dan pada awalnya sangat cepat, dan terjadi peningkatan kekentalan larutan. Hal ini menurut Winarno(1984) dapat dipergunakan untuk mengetahui suhu gelatinisasi pati.

### C. KADAR AIR KESEIMBANGAN

Konsep kadar air keseimbangan penting dalam proses pengolahan pangan dan hasil pertanian seperti pengeringan, pengemasan dan kemantapan bahan selama penyimpanan (Henderson dan Perry, 1976)

#### 1. Pengertian Keseimbangan

Kadar air keseimbangan adalah kadar air pada tekanan uap yang seimbang dengan lingkungannya (Heldman dan Singh, 1981). Pada saat itu bahan tidak menyerap maupun melepaskan molekul-molekul air dari dan ke udara, dan hal ini terjadi bila bahan berada pada lingkungan tertentu untuk waktu yang lama (Brooker et al, 1974).

Hall (1957) menyatakan bahwa kadar air keseimbangan adalah kadar air bahan dalam keadaan seimbang dengan udara sekitarnya. Kemudian Hall (1977) dan Hall (1980) menambahkan bahwa bahan dalam keadaan seimbang dengan lingkungannya bila laju air yang hilang dari bahan ke lingkungan sama dengan laju air yang bertambah kedalam bahan dari lingkungan. Kadar air bahan pada saat seimbang dengan lingkungannya (suhu dan RH tertentu) disebut kadar air keseimbangan atau keseimbangan higroskopis.

Kadar air keseimbangan suatu produk dapat dinyatakan dengan berat kering atau berat basah. Dalam perhitungan matematika biasanya kadar air keseimbangan dinyatakan dalam berat kering (Hall,1980).

## 2. Prinsip Kadar Air Keseimbangan

Kadar air keseimbangan dapat dicapai dengan dua cara yaitu proses desorpsi dan proses absorpsi. Nilai kadar air keseimbangan berbeda-beda untuk masing-masing bahan pangan. Nilai ini ditentukan oleh varietas, tingkat kematangan dan cara pengukuran (Brooker et al., 1974).

Proses tercapainya kadar air keseimbangan suatu bahan dengan lingkungannya karena bahan kehilangan sebagian kandungan airnya disebut sebagai proses desorpsi. Bila suatu bahan yang relatif kering menyerap air dari lingkungannya yang mempunyai kelembaban relatif lebih tinggi, dikatakan bahwa bahan tersebut mencapai kadar air keseimbangan melalui proses absorpsi. Proses desorpsi dan absorpsi ini disebut isoterminis sorpsi air (Henderson dan Perry, 1976)

Ada perbedaan yang nyata antara kadar air keseimbangan desorpsi dan absorpsi pada kondisi suhu dan RH yang sama. Kadar air keseimbangan desorpsi lebih tinggi daripada kadar air keseimbangan absorpsi. Fenomena ini disebut sebagai histerisis (Christensen, 1974)

Dari penelitian Labuza et al. (1985) pada Corn meal disimpulkan bahwa dengan peningkatan suhu dari 25 °C, 35 °C, 45 °C dan 65 °C ternyata menggeser kurva absorpsi isoterminis ke bawah sehingga menyebabkan penurunan kadar air keseimbangan.

Menurut Brooker et al. (1974) ada dua cara untuk menentukan kadar air keseimbangan yaitu dengan metode statis dan metode dinamis. Metode statis digunakan dengan cara meletakkan contoh bahan pada tempat tertutup dengan udara diam pada RH dan suhu terkontrol. Metode dinamis adalah dengan cara meletakkan bahan pada tempat dimana udara (suhu dan RH dikontrol) digerakkan secara mekanik, sehingga proses metode dinamis lebih cepat dari pada metode statis.

### 3. Makna Kadar Air Keseimbangan

Menurut Hall (1980) kadar air keseimbangan berhubungan langsung dengan proses pengeringan dan penyimpanan bahan pangan hasil pertanian. Kadar air keseimbangan digunakan untuk menentukan apakah produk akan bertambah atau berkurang kadar airnya pada suhu dan kelembaban relatif tertentu.

Konsep kadar air keseimbangan diperlukan dalam studi pengeringan biji-bijian, karena kadar air keseimbangan menentukan berapa kadar air minimum yang dapat dicapai pada suatu kondisi pengeringan.

### D. ISOTHERMIS SORPSI AIR

Secara alami bahan pangan baik sebelum diolah maupun sesudah diolah bersifat higroskopis, yaitu dapat menyerap air dari udara sekeliling, dan sebaliknya dapat melepaskan sebagian air yang terkandung ke udara. Secara umum sifat-sifat hidratisasi ini digambarkan dengan kurva isotermin sorpsi (Syarief, 1992).

#### 1. Pengertian Isotermin Sorpsi Air

Menurut Hall (1980), hubungan antara kadar air suatu bahan pangan dan kelembaban relatif keseimbangan pada suhu tertentu dapat dinyatakan dengan kurva kadar air keseimbangan. Kurva ini sering disebut isotermin sorpsi, sebab nilai-nilai yang diplotkan pada setiap kurva biasanya berhubungan dengan suhu tertentu.

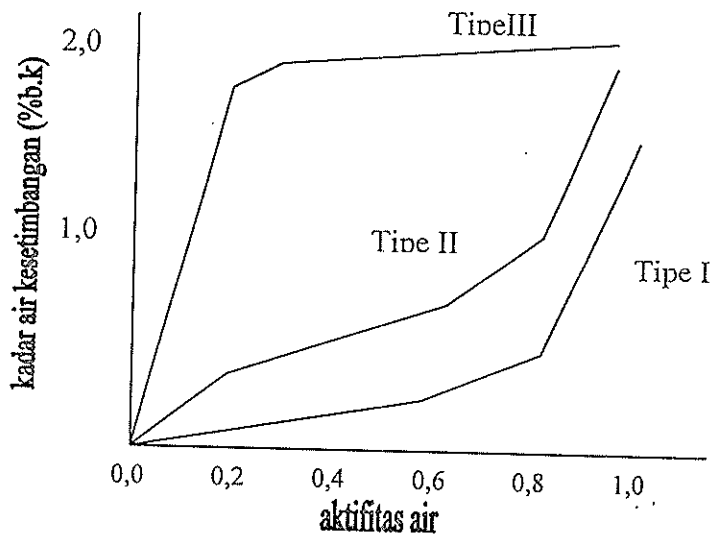
Menurut Labuza (1968) isotermin sorpsi adalah kurva yang menunjukkan hubungan antara kadar air bahan dengan kelembaban relatif keseimbangan ruang tempat penyimpanan bahan (RHs) atau aktifitas airnya ( $a_w$ ), pada suhu tertentu. Apabila proses keseimbangan dimulai dari bahan

kering kurjanya disebut isothermis absorpsi, sedangkan bila proses keseimbangan dimulai dengan bahan basah disebut isothermis desorpsi

## 2. Bentuk Isothermis Sorpsi Air

Isothermis sorpsi air produk pangan mempunyai bentuk khas (Gambar 3). Bentuk kurva isothermis sorpsi yang berbeda-beda ini erat kaitannya dengan struktur, sifat fisiko-kimia, serta komponen penyusun bahan pangan (Aguilera dan stanley, 1990).

Labuza (1968) membagi kurva isothermis sorpsi dalam tiga tipe yaitu tipe I, tipe II dan tipe III. Ketiga tipe isothermis sorpsi ini dapat dilihat pada Gambar 2. Labuza (1968) menerangkan bahwa isothermis sorpsi tipe I merupakan isothermis sorpsi pada gula murni. Bentuk kurva menunjukkan penambahan kadar air yang sangat kecil sampai aktifitas air di atas 0,7-0,8. Hal ini disebabkan oleh pengaruh molekul air yaitu ikatan hidrogen terhadap grup OH yang terikat pada permukaan kristal. Kurva isothermis sorpsi tipe II berbentuk sigmoid. Pada umumnya bentuk isothermis sorpsi air bahan pangan berbentuk sigmoid. Dua patahan (lekukan) yang perlu diperhatikan pada kurva ini adalah sekitar  $a_w$  0,2-0,4 dan  $a_w$  0,6-0,7. Kedua patahan tersebut merupakan pengaruh sifat fisiko-kimia bahan pangan. Tipe kurva ke III merupakan bentuk kurva isothermis sorpsi untuk zat-zat antikembang. Air diabsorpsi oleh produk pada bagian yang spesifik dengan energi ikatan yang sangat besar, sehingga menekan aktifitas air secara drastis.



Gambar 2. Klasifikasi kadar air isothermis sorpsi standart.  
 Tipe I zat-zat berkristal; tipe II pangan terhidrasi; tipe III zat-zat anti kembang (Labuza, 1968)

### 3.- Model Matematis Sorpsi Isothermis

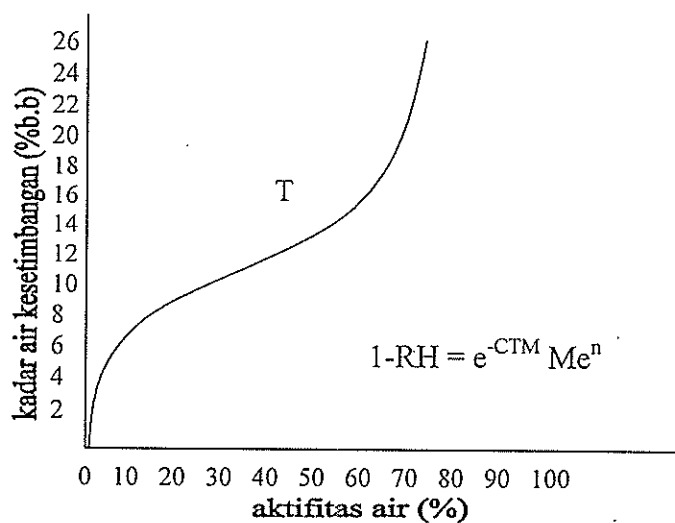
Model matematika mengenai isothermis sorpsi air telah banyak dikemukakan oleh para ahli baik secara teoritis maupun secara empiris. Menurut Van den berg dan Bruin (1980) dalam Rockland dan Nishi (1980), lebih dari 70 model matematika telah dilaporkan untuk menggambarkan dan menginterpretasikan isothermis sorpsi air.

Suatu persamaan yang biasa digunakan untuk menyatakan kadar air keseimbangan adalah persamaan (1-1):

$$1-RH = e^{-cTM} Me^n \dots\dots\dots(1-1)$$

Dimana RH merupakan kelembaban relatif, T merupakan suhu absolut dan Me merupakan kadar air keseimbangan (% b.k) serta c dan n adalah konstanta (Henderson, 1952 di dalam Hall, 1980).





Gambar 3. Kurva kadar air keseimbangan model Henderson (Hall, 1980)

Labuza (1968) menambahkan aplikasi beberapa model matematika untuk menggambarkan isoterms sorpsi air. Sementara Chung et al. (1967) menggambarkan model matematika baru yang diaplikasikan untuk produk sereal.

Namun aplikasi model matematika ini terhadap pangan dan produk alami lainnya terbatas karena ketidakhomogenan dan adanya variasi sifat alami produk (Rockland, 1969). Sedangkan Labuza (1968) menyatakan bahwa sebagian besar model matematika tersebut hanya dapat memprediksi absorpsi pada salah satu dari tiga daerah isoterms sorpsi.

#### a. Langmuir

Langmuir (1918) dalam Labuza (1968) menemukan teori tentang absorpsi lapisan tunggal (monolayer) yang merupakan dasar teori-teori selanjutnya. Dengan pendekatan kinetika dan asumsi kecepatan penguapan sama dengan kecepatan kondensasi.

Persamaan langmuir adalah:

$$W = \frac{W_s (b \cdot a_w)}{K + (b \cdot a_w)} \dots\dots\dots(1-2)$$

C = konstanta

$a_w$  = aktifitas gas

Menurut Risvi (1995), asumsi yang mendasari model BET adalah laju kondensasi pada lapisan pertama sebanding dengan lapisan kedua. Energi ikatan seluruh molekul pengikat pada lapisan pertama adalah sama, dan energi ikatan pada lapisan lain sebanding dengan energi ikatan pada molekul pengikat murni. Asumsi ini telah diketahui tidak tetap karena interaksi pada permukaan bahan pangan sangat beragam. Walaupun demikian persamaan BET telah terbukti berguna dalam penentuan kadar air optimum pada proses pengeringan dan stabilitas pada penyimpanan.

c. Smith

Persamaan Smith (1947) dalam Brooker et al (1982) adalah :

$$M_e = a \cdot b \cdot \ln(1-a) \dots\dots\dots(1-5)$$

Dimana:  $M_e$  = kadar air keseimbangan ( %b.k)

a.b = tetapan

Persamaan ini telah digunakan untuk menggambarkan desorpsi isotermi dari gandum dengan kelembaban relatif di atas 30% (Geonawan. 1990)

d. Halsey

Di dalam Jusuf (1990) persamaan Halsey (1948) telah diperbaharui dan digunakan pada bahan pangan dengan kelembaban relatif antara 10% sampai 80%. Persamaan Halsey adalah:

$$a_w = \exp \left( -P_1 / M_e^{P_2} \right) \dots\dots\dots(1-6)$$

Persamaan Halsey ini digunakan oleh Jusuf (1990) terhadap kopi Robusta pada RH 51.96% sampai 58.76%.

e. Model Henderson

Henderson (1952) secara empiris mengemukakan persamaan yang menggambarkan hubungan kadar air dengan kelembaban relatif ruang simpan (Henderson dan Perry, 1976). Bentuk persamaan tersebut adalah :

$$1 - a_w = \exp(-k \cdot T \cdot M_e^n) \dots\dots\dots(1-7)$$

Dimana  $m$  = kadar air keseimbangan (%b.k)

$K, n$  = konstanta yang tergantung dari jenis komoditi.

Konstanta  $k, n$  tergantung dari jenis komoditinya. Persamaan Henderson ini berlaku untuk biji-bijian dan beberapa bahan pangan pada seluruh  $a_w$  (Lomauro, 1984) dalam Sari, (1992).

Persamaan Henderson telah digunakan oleh Sari (1992) untuk menggambarkan isoterme sorpsi dari biji Kakao pada RH 54.55% sampai 85.13%.

f. Model Analisa Logaritma

Model analisa logaritma yang dikemukakan oleh Soekarto (1978) merupakan suatu model yang digunakan untuk menentukan air terikat sekunder. Model ini merupakan analogi dari perambatan panas di dalam kaleng. Kurva Isoterme sorpsi yang biasanya diplot sebagai kadar air ( $m$ ) terhadap aktifitas air ( $a_w$ ) ditukar plotnya menjadi ( $1 - a_w$ ) terhadap  $m$  sehingga bentuk kurvanya serupa dengan kurva perambatan panas di dalam kaleng sebagai plot suhu ( $T$ ) terhadap waktu pemanasan ( $t$ )

Soekarto (1978) menyusun model matematika empirik yaitu :

$$\text{Log } (1-a_w) = b(m) + a \dots\dots\dots(1-8)$$

Dimana  $m$  = kadar air (g air/ g bahan kering)

$b$  = faktor kemiringan

$a$  = titik potong pada ordinat

Penerapan model ini pada produk pangan ternyata menghasilkan garis lurus yang patah menjadi dua. Soekarto (1978) mengartikan garis pertama mewakili air terikat sekunder dan garis lurus kedua mewakili air terikat tersier. Titik potong kedua garis dianggap sebagai kapasitas air terikat sekunder.

#### g. Model Guggenheim-Anderson-de Boer

Van den Berg (1981) memperkenalkan suatu model yang dinamakan Guggenheim-Anderson-de Boer (GAB). Model ini dapat menguraikan isoterms sorpsi bahan sampai  $a_w = 0,94$ . Model GAB adalah :

$$\frac{M_e}{M_o} = \frac{C.K. a_w}{(1 - K. a_w) (1 - K. a_w / C.K. a_w)} \dots\dots\dots(1-9)$$

#### 4. Makna Isoterms Sorpsi Air.

Kurva isoterms yaitu kurva yang menunjukkan hubungan antara kadar air bahan dengan kelembaban relatif keseimbangan ruang tempat penyimpanan bahan (RHs) atau aktifitas air ( $a_w$ ) pada suhu tertentu (Syarief dan Halid, 1993).

Bentuk kurva isoterms sorpsi adalah khas untuk setiap bahan pangan (Syarief dan Halid, 1993). Isoterms sorpsi biasanya berbentuk sigmoid

dan dapat dibagi menjadi tiga daerah tergantung dari keadaan air dalam makanan.

Isotermis sorpsi tidak hanya dapat menunjukkan pada tingkat kadar air berapa dapat dicapai tingkat  $a_w$  yang diinginkan atau tidak diinginkan, tetapi juga menunjukkan terjadinya perubahan-perubahan penting kandungan air yang dinyatakan dengan  $a_w$  (Syarief dan Halid, 1993).

Syarief dan Halid (1993) juga menyatakan bahwa air yang terkandung pada daerah permukaan bahan (daerah monolayer) yaitu pada kisaran  $a_w$  0- 0,2 adalah air yang sangat stabil dan tidak dapat membeku pada suhu berapapun. Daerah ini merupakan ambang batas, hanya cukup untuk melindungi produk dari senyawa  $O_2$ .

Air yang terkandung pada daerah multilayer kurang kuat terikat dibandingkan dengan daerah monolayer. Daerah multilayer berada pada kisaran RH 20-70% (Syarief dan Halid, 1993).

Lebih lanjut Syarief dan Halid (1993) menjelaskan bahwa daerah kondensasi (RH > 70%) mengandung air bebas yang cukup banyak, sehingga sangat optimal bagi beberapa reaksi biokimia, mikroba dan reaksi fisik.

## E. AIR TERIKAT

Air di dalam bahan pangan bisa terdapat diantara sel-sel maupun di dalam sel. Air bebas terdapat di dalam jaringan sedangkan air terikat biasanya terdapat di dalam sel (Winarno, 1985)

### 1. Pengertian

Kuprianof (1985) menyatakan air di dalam bahan pangan dikategorikan dalam dua tipe, yaitu air bebas dan air terikat. Air bebas menunjukkan sifat-sifat air biasa dengan keaktifan penuh, sedangkan air terikat menunjukkan air terikat erat dengan komponen bahan lainnya.



Soekarto (1978) menyatakan bahwa air ikatan mempunyai sifat-sifat yang berbeda dari air kamba (bulk water), atau air bebas (free water) maupun air beku atau es.

## 2. Makna Air Terikat

Soekarto (1978) dan Van Den Berg dan Bruin (1981) juga melaporkan adanya tiga fraksi ikatan pada bahan kering, yaitu air terikat primer, sekunder dan tersier.

Air terikat primer menunjukkan fraksi air yang terikat sangat kuat pada bahan pangan, dengan entalpi penguapan yang lebih besar dari pada entalpi penguapan air murni.

Air terikat sekunder menunjukkan fraksi air yang terikat kurang kuat dibandingkan air terikat primer. Air terikat sekunder di absorpsi di dekat atau di atas air terikat primer, dapat digunakan sebagai pelarut dan perekasi.

Sedangkan air terikat tersier menunjukkan fraksi air yang terikat lemah yang secara mekanis terikat dalam jaringan matrik bahan. Sifat-sifatnya mendekati sifat air bebas.

Air terikat dapat ditentukan dengan mengukur air yang tidak dapat membeku pada suhu pembekuan. Air terikat mempunyai sifat-sifat yang berbeda dari air bebas, yaitu titik beku dan tekanan uap yang lebih rendah, serta titik didih dan densitas yang lebih besar (Kuprianof, 1958)

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### A. BAHAN DAN ALAT

##### 1. Bahan

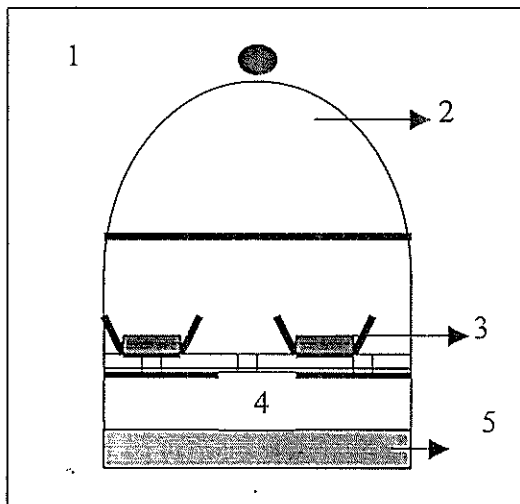
Bahan yang digunakan sebagai bahan baku untuk membuat pati high amilopektin adalah beras ketan putih varietas Cianjur yang diekstrak untuk menghasilkan pati sebagai bahan untuk penelitian selanjutnya. Bahan kimia yang digunakan untuk keseimbangan adalah larutan garam jenuh yang dapat dilihat pada Tabel 3 yaitu untuk mengatur kelembaban relatif untuk memperoleh kadar air keseimbangan. Bahan kimia untuk analisa adalah HCl 0.025N,  $K_2SO_4$ , HgO, indikator, heksana dll sesuai dengan karakteristik yang akan dianalisa seperti untuk pengukuran kadar air, kadar protein analisis proksimat lainnya.

##### 2. Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari peralatan pengolahan pangan dan pengamatan. Peralatan pengolahan yang digunakan meliputi oven, wadah, timbangan, gelas ukur dan wajan.

Peralatan untuk keseimbangan produk adalah desikator berdiameter 10 cm yang diisi larutan garam jenuh dengan RH tertentu yang dapat dilihat pada Gambar 4. Sedangkan alat untuk pengamatan dibutuhkan neraca analitik, oven, cawan porselen aluminium foil sebagai wadah. Untuk analisa digunakan buret, erlenmeyer, serta peralatan gelas lainnya berupa gelas piala 250 ml, gelas ukur 100 ml, pipet volumetrik 25 ml dan lain-lain.





Keterangan :

1. Inkubator
2. Desikator
3. Cawan aluminium berisi bahan
4. Penyangga berlubang
5. Larutan garam jenuh

Gambar 4. Susunan alat Desikator

Tabel 3. Nilai RH larutan garam jenuh pada suhu 27°C

Larutan garam jenuh	RH pada 27 °C (%)
NaOH	6.5
LiCl	11
CH <sub>3</sub> COOK	22
MgCl	33
NaI	37
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	43
Mg (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	53
NaBr	57
NaNO <sub>2</sub>	64
KI	69
SrCl <sub>2</sub>	71
NaNO <sub>3</sub>	74
NaCl	75
KBr	81
KCl	84
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	87
NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	92
KNO <sub>3</sub>	93
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	97

## B. PERSIAPAN

Tahap persiapan meliputi dua tahap yaitu persiapan bahan baku atau persiapan pati dan persiapan pemanasan pati pada berbagai tingkat gelatinisasi agar diperoleh pati yang diinginkan untuk dilakukan pada tahapan berikutnya.

### 1. Pembuatan Pati

Untuk memperoleh pati sebagai bahan baku dilakukan ekstraksi pati. Pati yang dihasilkan akan digunakan dalam proses selanjutnya. Proses pembuatan pati dapat dilakukan sebagai berikut:

Ketan sosoh direndam dalam air selama 12 jam pada suhu sekitar 5 °C. Kemudian ketan dikeringkan di oven pada suhu sekitar 50-58 °C sampai kering. Kemudian digiling dengan menggunakan willey mill dan dihasilkan tepung.

Tepung yang diperoleh diendapkan selama 4 hari dengan melakukan pembuangan supernatannya 4-5 kali. Pertama dilakukan penambahan air, diaduk dan didiamkan selama beberapa jam, yaitu sekitar 6 jam. Setelah mengendap cairan di atas endapan dibuang lalu ditambahkan air lagi. Demikian seterusnya, pekerjaan ini diulang beberapa kali sampai diperoleh supernatan yang jernih.

Endapan yang dihasilkan kemudian dikeringkan di oven pada suhu 50-58 °C. Setelah kering kembali digiling dengan menggunakan waring blender dan kemudian dihasilkan pati ketan.

### 2. Pemanasan Pati Pada Proses Gelatinisasi

Pemanasan pati dilakukan pada 4 tingkat gelatinisasi. Tingkat gelatinisasi yang digunakan yaitu (1) pati mentah (yaitu pati yang tidak dipanaskan), (2) pati tergelatinisasi parsial ringan atau pati tergelatinisasi sebagian (pemanasan 105 °C selama 1 jam), (3) pati tergelatinisasi parsial berat (pemanasan pati 105 °C selama 4 jam)

dan (4) pati tergelatinisasi lengkap atau sempurna (pati matang) yaitu pati dimasak selama 15 menit pada suhu 90-100 °C sampai menjadi bubur dengan penambahan air 75%, yang kemudian di drum dryer.

### 3. Keseimbangan Cara Absorpsi

Untuk memperoleh kadar air yang mudah dan seragam pada masing-masing jenis pati, terlebih dulu pati dimasukkan dalam pengering absorpsi yaitu dengan menggunakan batu kapur. Pati dikeringkan selama seminggu sehingga mencapai kadar air awal sekitar 25. Setelah mengalami proses pengeringan absorpsi, kemudian diukur kadar air awal dari pati baik pati mentah, tergelatinisasi parsial ringan, tergelatinisasi parsial berat dan pati matang baru dimasukan kedalam desikator.

### 4. Keseimbangan Cara Desorpsi

Keseimbangan pati secara desorpsi disiapkan dengan penambahan air sekitar 50% dari berat pati, yaitu pati dalam keadaan basah. Setelah pati mentah, pati tergelatinisasi parsial ringan, pati tergelatinisasi parsial berat dan pati matang mendapat perlakuan yang sama, baru kemudian pati dimasukkan dalam desikator.

## C. METODE PENELITIAN

Penelitian dibagi dalam 3 tahap, meliputi (1) tahap penyeimbangan kadar air pati secara absorpsi, (2) tahap penyeimbangan kadar air pati secara desorpsi masing-masing dilakukan untuk 4 tingkat gelatinisasi dan (3) tahap amilografi pati ketan.



## **Tahap 1. Penyeimbangan Kadar air Pati Secara Absorpsi**

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh berbagai tingkat kadar air keseimbangan pati ketan pada berbagai tingkat gelatinisasi dan diperlukan untuk mendapatkan kurva isoterms sorpsi air pati.

Pada percobaan penyeimbangan kadar air pati pertama kali dilakukan adalah pengaturan kelembaban relatif antara 6,5-97% dengan menggunakan larutan garam-garam jenuh yang dapat mengatur kondisi RH dalam desikator (Tabel 3). Caranya melarutkan garam-garam dalam jumlah berlebih kedalam air destilata hingga diperoleh larutan yang jenuh yang ditandai dengan adanya endapan garam atau garam sudah tidak larut lagi di dalam air.

## **Tahap 2. Penyeimbangan Kadar air Pati Secara Desorpsi**

Perlakuan yang dialami pati sama halnya dengan perlakuan secara absorpsi yang membedakan terletak pada proses yang dialami pati sebelumnya. Proses desorpsi (pengeringan) dilakukan penambahan air sekitar 50% dari berat pati yang akan diseimbangkan. Proses ini dilakukan karena yang akan dilihat adalah proses pengeringan /penguapan air pada masing-masing kondisi RH. Setelah dilakukan kondisi tersebut pati kembali diseimbangkan selama seminggu dan dilakukan penimbangan sampai diperoleh berat konstan.

Tahap satu dan dua dilakukan proses pengamatan yang sama yaitu pati ditimbang dengan berat sekitar 2 gram dalam cawan alumanium yang mempunyai berat 0,2-0,4 gram kemudian diletakkan dalam desikator yang berisi larutan garam jenuh. Kemudian diinkubasi pada 27 °C selama beberapa hari hingga diperoleh berat konstan (Sya'bani, 1996). Berat yang konstan menurut Syarief (1993) dapat tercapai jika pada penimbangan tidak terjadi perubahan berat kurang dari 0,005 gram. Pati yang telah mencapai keseimbangan ditentukan kadar air keseimbangannya dengan metode oven (AOAC,1984), atau dengan perhitungan.

### Tahap 3. Amilografi Pati Ketan

Pengukuran sifat -sifat amilografi (viskositas dan gelatinisasi) dilakukan dengan menggunakan Brabender visko-amilograph tipe D-4100 buatan Jerman Barat.

Pati dilarutkan dengan aquades dengan konsentrasi 10% (bahan kering) dan diaduk sampai homogen. Kemudian disiapkan pada alat Brabender Visko-amilograph.

Menurut Rapaille dan Vanhemelrijck (1994), perilaku pati selama pemanasan dapat diobservasi menggunakan "Brabender Visco-amilograf". Pomeranz dan Meloan (1994) menyatakan bahwa brabender visco-amilograf adalah viskometer yang dapat melakukan pencatatan terhadap perubahan viskositas pati secara kontinyu. Brabender visco-amilografi mampu mengidentifikasi perilaku pati dibawah kondisi tertentu seperti suhu, pH, dan tekanan (Rapaille dan Vanhemelrijck. 1994).

### D. METODE ANALISA

#### 1. Kadar Air (AOAC, 1984)

Pengukuran kadar air dilakukan terhadap pati dengan metode oven (AOAC, 1984), sebanyak dua gram contoh dikeringkan dalam wadah cawan alumunium yang telah diketahui beratnya, pada oven pada suhu 105 °C. Pemanasan dilakukan sampai berat konstan atau kurang lebih selama 18 jam. Sebelum ditimbang, wadah berisi contoh didinginkan dalam desikator yang berisi silika gel selama 15 menit. Kemudian kadar air dihitung berdasarkan berat kering bahan :

$$\text{Kadar Air} = \frac{\text{Berat air yang menguap (gram)}}{\text{Berat kering contoh/bahan (gram)}} \times 100 \%$$

## 2. Kadar Protein (Metode Mikro Kjeldhal AOAC, 1984)

Analisa kadar protein dilakukan terhadap pati yang dihasilkan. Analisa yang dilakukan dengan menggunakan metode "Kjeldhal" yaitu pertama sekali pati ditimbang sebesar 20.7 mg, ditambahkan lagi 10 ml HCl (0.02N), dipindahkan kedalam labu kjeldhal (30 ml). Kemudian ditambahkan 1.9 gr  $K_2SO_4$ , 40 mg HgO dan 2 ml  $H_2SO_4$  dan dididihkan selama 1.5 jam sehingga larutan jernih. Dinginkan ditambahkan sedikit air kemudian dipindahkan isi labu kedalam alat destilasi dicuci dan dibilas labu sampai 6 kali dengan 1-2 ml air dan dipindahkan air cucian kedalam alat destilasi. Letakkan erlenmeyer 125 ml yang berisi 5 ml larutan  $H_2BO_3$  dan 2-4 tetes indikator (campuran mm dengan mb), dan ujung tabung kondensor harus terendam dibawah larutan  $H_2BO_3$ . Kemudian ditambahkan 8-10 ml larutan NaOH -  $Na_2S_2O_3$  dan dilakukan destilasi sampai dihasilkan 15 ml destilat dan destilat diencerkan (50 ml). Kemudian dititrasi dengan HCl 0.02 N sampai terjadi perubahan warna menjadi abu-abu. Perhitungan kadar protein adalah sebagai berikut :

$$\% N = \frac{\text{ml HCl} \times N \text{ HCl} \times 14.007}{\text{mg sampel}} \times 100$$

$$\% \text{ Protein} = \% N \times \text{faktor konversi} \quad (5.95 \text{ untuk beras})$$

## 3. Kadar Lemak (Metode Soxhlet AOAC, 1984)

Analisa kadar lemak dilakukan dengan menggunakan metode Ekstraksi Soxhlet. Dilakukan dengan cara sebanyak lima gram pati diekstraksi dengan pelarut heksana dalam alat soxhlet selama enam jam. Hasil ekstraksi diuapkan pelarutnya dengan cara destilasi, kemudian labu yang berisi lemak dipanaskan dalam oven bersuhu 105 °C sampai diperoleh berat yang tetap. Berat lemak dapat dihitung sebagai berikut :

$$\% \text{ Kadar Lemak} = \frac{\text{Berat lemak ( gram )}}{\text{Berat kering pati (gram)}} \times 100$$

#### 4. Kadar Pati (AOAC, 1984)

Sampel ditimbang 2 gram dalam gelas piala 250 ml, ditambahkan 50 ml alkohol 80% dan diaduk selama 1 jam. Suspensi disaring dan dicuci dengan air sampai volume filtrat 250 ml yang mengandung karbohidrat terlarut, filtrat tersebut dibuang.

Larutan dibiarkan dingin dan dinetralkan dengan larutan NaOH 45% dan diencerkan sampai volume 500 ml. Campuran disaring dengan kertas saring. Filtrat yang diperoleh dinyatakan sebagai glukosa, jumlahnya ditetapkan dengan metode DNS. Filtrat diambil 1 ml dimasukkan dalam tabung reaksi dan ditambahkan 3 ml pereaksi DNS, kemudian ditempatkan dalam air mendidih selama 5 menit. Dibiarkan dingin sampai suhu ruang.

Sampel diukur absorbansinya pada 550 nm dan menggunakan air sebagai blanko. Apabila diperlukan sampel diencerkan sampai dapat diukur dengan spektrophotometer pada kisaran 20 - 80 % T. Kurva standart dibuat dengan larutan glukosa standart dengan kisaran 0.1 - 0.5 mg glukosa.

$$\text{Kadar Pati} = a \times (fp \times v) \times 0.9 / b \times 100 / 100 - ka$$

dimana :

a = konsentrasi glukosa dari kurva standart (mg/ml)

b = berat sampel (gram)

fp = faktor pengenceran

v = volume mula - mula

0.9 = faktore konversi glukosa ke pati

ka = kadar air sampel (%b.b)

## 5. Amilografi Pati Ketan (Brabender Visco-amylograph)

Pemanasan dilakukan dengan kecepatan konstan  $1,5^{\circ}\text{C}/\text{menit}$  sehingga mencapai suhu  $95^{\circ}\text{C}$ . Setelah itu suhu dipertahankan konstan selama 30 menit. Pendinginan dilakukan dari  $95^{\circ}\text{C}$  hingga suhu  $30^{\circ}\text{C}$  tercapai. Pengukuran dilakukan dengan meletakkan jarum termometer pada pasta.

Setelah tercapai suhu pendinginan  $30^{\circ}\text{C}$ , dilakukan pendinginan konstan pada suhu tersebut selama 30 menit. Parameter yang diperoleh dari kurva amilografi yaitu suhu awal gelatinisasi, suhu maksimum gelatinisasi dan viskositas maksimum gelatinisasi



#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### A. EKSTRAKSI PATI KETAN

Sebelum dilakukan proses keseimbangan terhadap pati, pati terlebih dahulu diekstraksi dari beras ketan. Pada proses ekstraksi dilakukan perendaman terhadap tepung ketan yang dihasilkan untuk memperoleh pati ketan.

Untuk menghasilkan pati tersebut, dilakukan ekstraksi pati yang bertujuan untuk memisahkan pati dari tepung yang terdapat dalam ketan. Beras ketan setelah digiling menjadi tepung dilakukan proses perendaman sampai supernatan jernih. Proses ini bertujuan agar kandungan zat-zat lain selain pati ikut larut dalam air dan dibuang, seperti protein larut air, selulosa dan mineral-mineral lainnya, sehingga dihasilkan pati murni.

Rendemen pati yang dihasilkan dari beras ketan putih, khususnya varietas Cianjur yang digunakan adalah 70 %. Pati yang dihasilkan mempunyai penampakan yaitu berwarna putih, mengkilap, tidak berbau dan tidak mempunyai rasa dan memiliki sifat licin. Hasil dari pati ini akan digunakan untuk analisa proksimat yang bertujuan untuk mengetahui jumlah zat-zat lain yang masih terkandung di dalam pati yang digunakan, yaitu analisa protein, lemak dan kadar air dan kadar pati.

Tabel 4. Komposisi Proksimat Pati Ketan, Beras Ketan dan Beras

Kadar (%b.b)	Pati Ketan (yang dihasilkan)	Ketan (IR 65)*	Beras (Membrano)*
Kadar air	8.51	12.35	12.05
Kadar Protein	6.04	7.67	7.98
Kadar Lemak	0.86	0.89	0.90
Kadar Abu	0,13	1.52	1.22
Kadar pati	89.10	-	-

\* Menurut Rohmah (1977)

Bila dilihat pada Tabel 4, maka dapat dilihat bahwa hasil proksimat yang dihasilkan pati memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan beras ketan dan beras. Hal ini disebabkan karena adanya perlakuan yang dialami oleh ketan yaitu ekstraksi pati sebelumnya.

Banks dan Greenwood (1975) menyatakan bahwa bahan antara yang terdapat pada pati yaitu berupa protein dan lemak berkisar 5-10%. Hal ini menunjukkan bahwa kadar protein dan kadar lemak dari pati bila dibandingkan dengan ketan lebih kecil walaupun tidak berbeda jauh. Hasil penelitian yang dilakukan juga diperoleh hal yang demikian pati ketan menunjukkan angka yang lebih kecil.

Salah satu sifat penting dari granula pati yang umumnya digunakan dalam pengujian sifat fisikokimia pati adalah suhu gelatinisasi. Suhu gelatinisasi merupakan sifat fisik dari pati mulai mengembang secara irreversible didalam air panas (Juliano, 1972)

## B. SIFAT AMIOLOGRAFI

Sebelum melakukan penelitian lebih lanjut terlebih dahulu dilakukan proses amilografi pati ketan yang berguna untuk mengetahui suhu gelatinisasi dari pati ketan yang dapat dilihat pada Lampiran 17. Pada kurva yang dihasilkan terlihat suhu awal gelatinisasi terdapat pada suhu 25 °C yang kemudian dikonversi dengan suhu awal pemanasan (30 °C) dihasilkan  $30\text{ }^{\circ}\text{C} + 25\text{ }^{\circ}\text{C} = 55.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , dengan kenaikan suhu 1.5 °C/menit.

Hasil amilografi pati ketan berguna mengetahui berapa suhu awal gelatinisasi dari pati dan suhu gelatinisasi maksimum dan viskositas maksimum dari pati ketan, dari perlakuan yang dilakukan dihasilkan suhu awal gelatinisasi adalah 55.5 °C dan suhu gelatinisasi maksimum adalah 60.70 °C dan dengan viskositas maksimum 620 cp.

Suhu gelatinisasi adalah suhu dimana granula pati pecah dan merupakan suatu kisaran suhu. Secara umum beras dapat dikelompokkan atas 3 golongan suhu gelatinisasi yaitu rendah ( $< 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) sedang atau

menengah ( 70-74 °C ) dan tinggi ( > 76 °C ). Damardjati & Harahap (1983).

Dari hasil penelitian ini dihasilkan bahwa pati ketan memiliki suhu gelatinisasi yang rendah karena lebih kecil dari 70 °C . Menurut Juliano (1972) menyatakan bahwa suhu gelatinisasi ketan berkisar antara 58-78,5 °C dan memiliki viskositas 64-1890 (cp). Hal ini menunjukkan bahwa sifat fisik dari pati ketan yang meliputi suhu gelatinisasi dan viskositas memiliki nilai yang lebih rendah bila dibandingkan dengan beras ketan. Perbandingan antara ketiganya dapat dilihat pada Tabel 5 berikut :

Tabel 5. Beberapa sifat fisik Pati, Beras Ketan dan Beras

Sifat fisik	Pati ketan (yang dihasilkan)	Ketan*	Beras *
Suhu gelatinisasi (°C)	55.5 - 60.70	58 - 78.5	58 - 79
Ukuran Granula (µm)	-	1.9 - 8.1	1.6 - 8.7
Densitas (xilen)	-	1.48 - 1.50	1,49 - 1.51
Viskositas (cp)	50 - 600	64 - 1890	140 - 2200

\* Menurut Juliano, 1972

Bila dibandingkan sifat fisik beras dan ketan, keduanya tidaklah berbeda jauh. Tetapi secara umum dapat disebutkan bahwa suhu gelatinisasi ketan lebih rendah dibandingkan dengan beras. Sama halnya dengan pati ketan, memiliki suhu gelatinisasi yang lebih rendah bila dibandingkan dengan beras dan beras ketan.

Demikian halnya dengan viskositas, dari Tabel 5 dapat dilihat bahwa viskositas pati lebih rendah bila dibandingkan dengan ketan dan beras. Beras pada umumnya memiliki viskositas yang lebih tinggi dibandingkan dengan ketan.

### C. KADAR AIR KESEIMBANGAN.

Menurut Henderson dan Perry (1974) menyatakan bahwa kadar air keseimbangan suatu bahan pangan adalah kadar air yang dikandung bahan setelah berada pada lingkungan tertentu dalam jangka waktu yang lama. Jika kelembaban relatif di lingkungan lebih tinggi dari keseimbangan relatif bahan, maka bahan akan menyerap air, sebaliknya jika kelembaban relatif ketimbangan bahan lebih tinggi dari kelembaban relatif lingkungan, maka bahan akan melepaskan air. Kadar air keseimbangan didefinisikan sebagai kadar air pada bahan pangan dimana tekanan uap air bahan sama dengan tekanan uap air lingkungannya.

Kadar air keseimbangan biasanya dapat dicapai dalam jangka waktu yang lama. Kadar air keseimbangan pati diperoleh kurang lebih selama 10 hari penyimpanan baik pati mentah, tergelatinisasi parsial ringan, tergelatinisasi parsial berat dan pati matang.

Penyeimbangan kadar air bertujuan untuk memperoleh tingkat kadar air pada berbagai RH dan dapat menghasilkan kurva isoterms sorpsi air dari pati. Data kadar air keseimbangan dari pati baik secara absorpsi dan desorpsi pada pati dari berbagai tingkat gelatinisasi dapat dilihat pada Tabel 6 dan Tabel 7.

Pada Tabel 6 dapat dilihat kadar air keseimbangan pati mentah, pati tergelatinisasi parsial ringan, pati tergelatinisasi parsial berat dan pati matang memiliki kadar air keseimbangan yang menurun, dengan kata lain kurva ISA pati mentah lebih tinggi dibanding pati tergelatinisasi parsial ringan, tergelatinisasi parsial berat dan pati matang.

Pada Tabel 7 dapat dilihat kadar air keseimbangan pati mentah, pati tergelatinisasi parsial ringan, pati tergelatinisasi parsial berat dan pati matang secara desorpsi adanya sedikit perbedaan dibanding secara absorpsi, bila secara absorpsi kadar air keseimbangan yang dihasilkan menurun dari pati mentah ke tergelatinisasi parsial ringan, tergelatinisasi parsial berat dan ke pati matang, pada desorpsi penurunan kadar air keseimbangan terjadi pada pati mentah, tergelatinisasi parsial ringan dan tergelatinisasi parsial berat dan



Tabel 6. Hubungan kelembaban relatif dengan kadar air kesetimbangan pati pada berbagai tingkat gelatinisasi secara Absorpsi

Garam jenuh	RH(%)	Kadar air kesetimbangan (% b.k)			
		Mentah	Tergelatinisasi parsial ringan	Tergelatinisasi Parsial berat	Matang
NaOH	6.5	4.61	4.25	4.29	3.21
LiCl	11.3	5.02	4.83	4.26	3.54
CH <sub>3</sub> COOK	22.0	7.15	6.64	6.02	5.26
MgCl <sub>2</sub>	33.0	7.78	7.55	7.14	6.46
NaI	37.0	8.45	7.99	7.82	6.79
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	43.0	9.11	9.23	8.75	7.52
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	53.0	10.11	10.49	10.08	8.98
NaBr	57.0	11.17	11.19	10.96	9.51
NaNO <sub>2</sub>	64.0	11.94	12.31	11.81	10.86
KI	69.0	12.91	13.60	12.73	11.98
SrCl <sub>2</sub>	71.0	13.35	13.46	12.84	11.86
NaNO <sub>3</sub>	74.0	14.13	13.56	13.18	12.48
NaCl	75.0	14.72	13.78	13.85	12.95
KBr	81.0	16.12	15.39	15.37	14.09
KCl	84.0	17.14	15.89	16.18	16.07
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	87.0	27.44*	22.42 *	21.86*	24.32*
NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	92.0	23.75*	22.19 *	21.70*	23.15*
KNO <sub>3</sub>	93.0	22.82*	21.73*	21.46*	22.32*
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	97.0	31.05*	28.51*	28.59*	35.67*

\* berjamur

Tabel 7. Hubungan kelembaban relatif dengan kadar air kesetimbangan pati pada berbagai tingkat gelatinisasi secara desorpsi

Garam jenuh	RH(%)	Kadar air kesetimbangan (% b.k)			
		Mentah	Tergelatinisasi Parsial ringan	Tergelatinisasi parsial berat	Matang
NaOH	6.5	4.85	4.72	4.64	4.96
LiCl	11.3	4.86	5.01	4.93	5.14
CH <sub>3</sub> COOK	22.0	7.22	7.31	7.26	7.91
MgCl <sub>2</sub>	33.0	8.41	8.92	8.89	8.57
NaI	37.0	9.49	8.93	9.19	11.11
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	43.0	10.48	10.38	9.87	10.46
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	53.0	11.71	12.69	11.98	13.02
NaBr	57.0	12.39	13.47	12.16	13.15
NaNO <sub>2</sub>	64.0	14.01	13.94	13.94	15.03
KI	69.0	15.41	14.31	15.12	15.24
SrCl <sub>2</sub>	71.0	15.13	15.32	17.67	15.12
NaNO <sub>3</sub>	74.0	16.31	16.19	16.78	16.86
NaCl	75.0	16.41	16.78	15.98	15.89
KBr	81.0	17.53	17.51	17.66	17.85
KCl	84.0	19.11	19.29	18.97	18.30
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	87.0	28.73*	26.66*	25.32*	26.60*
NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	92.0	27.68*	26.92*	26.18*	26.04*
KNO <sub>3</sub>	93.0	28.97*	25.89*	26.59*	26.21*
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	97.0	50.01*	49.83*	41.42*	57.64*

\* berjamur



sedangkan pati matang terjadi peningkatan kadar air keseimbangan pada beberapa tingkat RH.

Naiknya kadar air keseimbangan pada pati matang secara desorpsi ini tidak merubah bentuk khas kurva isoterms sorpsi air dari pati matang. Peningkatan kadar air ini diduga terjadi karena pati matang pada saat dimasukkan dalam desikator, bahan dalam keadaan basah. Pada saat dalam desikator, pertama kali pati menyerap air dari desikator. Kemudian akan melepaskan uap air sampai menuju arah keseimbangannya, tetapi pada saat penguapan, air telah banyak terperangkap di dalam sel pati sehingga susah untuk menguap. Hal ini mengakibatkan kadar air keseimbangan meningkat.

#### D. ISOTERMIS ABSORPSI DAN ISOTERMIS DESORPSI

Penyeimbangan kadar air pati bertujuan untuk memperoleh berbagai tingkat kadar air dan kurva ISA, baik untuk pati mentah, pati tergelatinisasi parsial ringan, pati persial 2 dan pati matang. Hal tersebut dilakukan untuk melihat pengaruh pengolahan terhadap bentuk kurva ISA, selain itu dapat ditentukan daerah air terikat yang berhubungan dengan tingkat gelatinisasi pati, yaitu air terikat primer, sekunder dan tersier yang dapat ditentukan dengan adanya kurva ISA dengan bantuan perhitungan secara matematis yang menggunakan model-model ISA.

##### 1. Isoterms Absorpsi

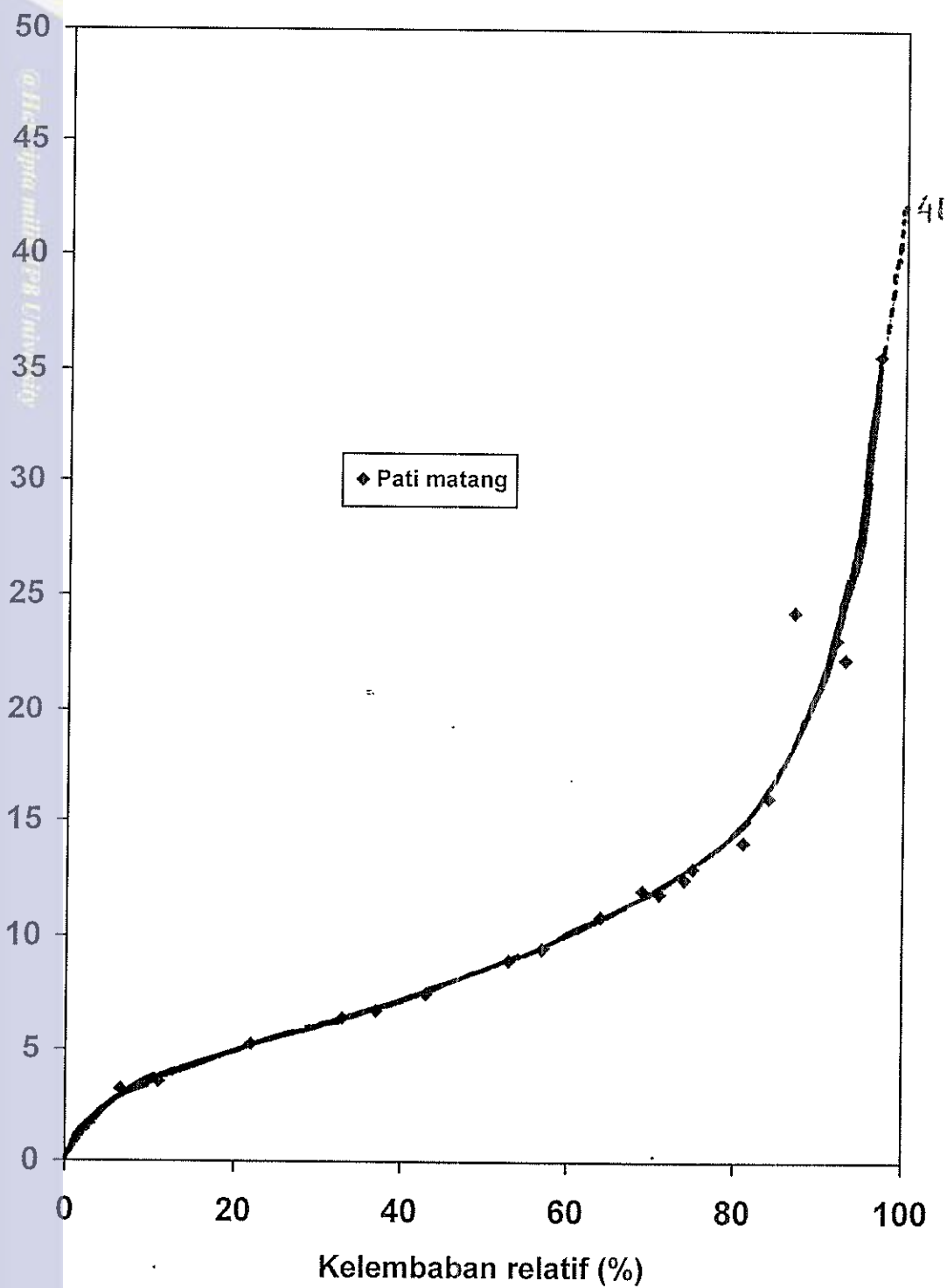
Isoterms sorpsi air pati diperoleh dengan cara memplotkan kadar air keseimbangan (% b.k) dan kelembaban relatif (%) pada suhu tertentu. Kadar air keseimbangan diperoleh dengan menyeimbangkan pati pada berbagai tingkat gelatinisasi didalam desikator yang berisi larutan-larutan garam-garam jenuh, sampai diperoleh kadar air keseimbangan yang ditandai dengan tidak terjadinya lagi perubahan berat pada saat dilakukan penimbangan pati.

Data kadar air keseimbangan yang dihasilkan secara absorpsi yaitu data pada saat pati berada dalam keadaan seimbang setelah melakukan penyerapan uap air pada kondisi kelembaban tertentu yaitu kondisi kelembaban 6.5% hingga 97%. Data tersebut dapat dilihat pada Tabel 6 . Dari Tabel tersebut kemudian dibuat kurva isotermis sorpsi seperti tersaji pada Gambar 5 untuk pati matang, dan hal ini juga berlaku untuk pati mentah, pati tergelatinisasi parsial ringan dan pati tergelatinisasi parsial berat.

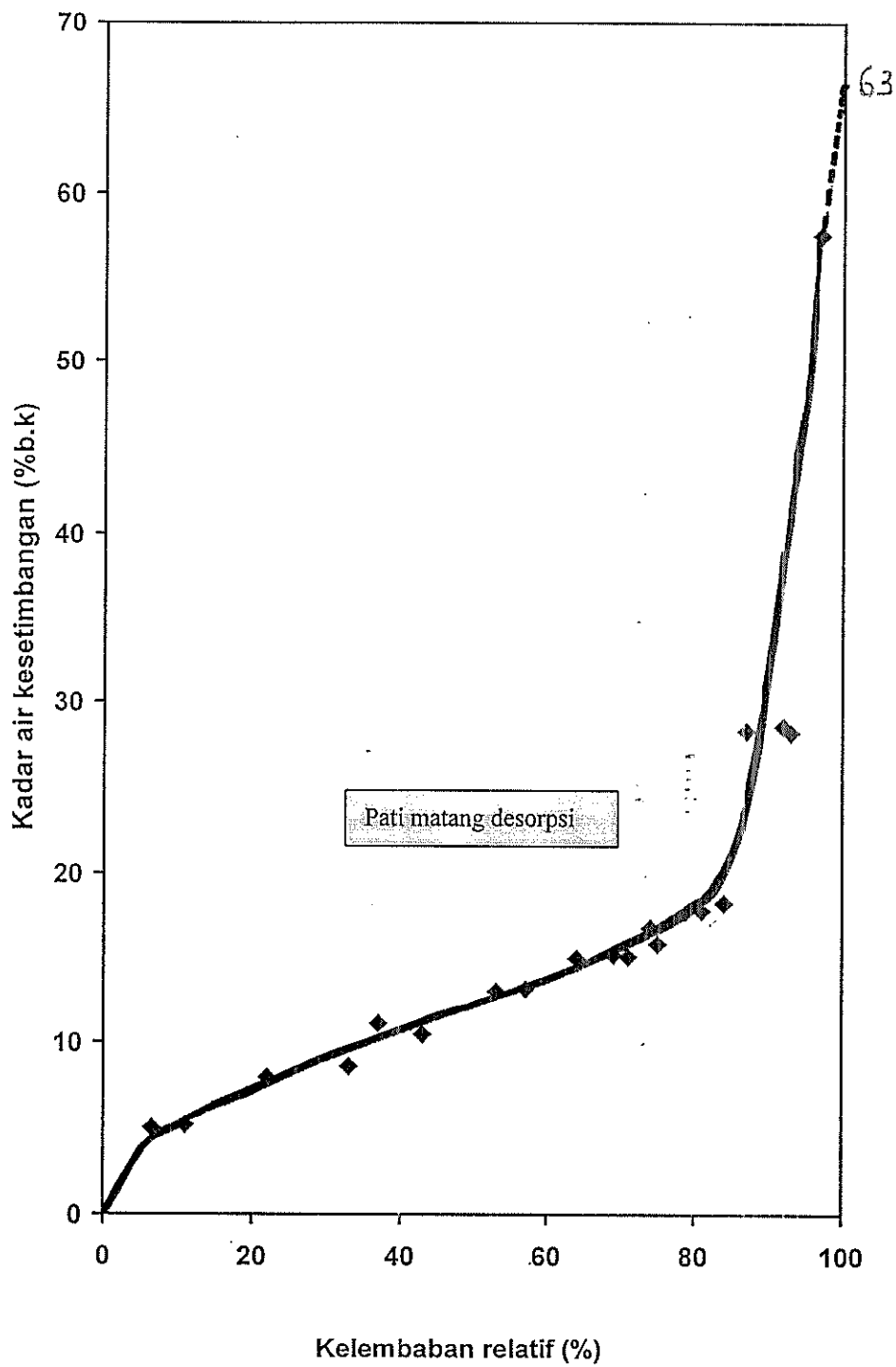
Dari Gambar 5 terlihat bahwa isotermis sorpsi pati matang berbentuk sigmoid, demikian halnya untuk ketiga jenis pati lainnya yaitu pati mentah, tergelatinisasi parsial ringan, tergelatinisasi parsial berat berbentuk sigmoid. Hal ini sesuai dengan pernyataan Syarief dan Halid (1993) bahwa pada umumnya kurva isotermis sorpsi bahan pangan berbentuk sigmoid (menyerupai huruf S). Menurut Labuza (1984), menyatakan bahwa bentuk sigmoidal biasanya diperoleh pada bahan pangan yang komposisinya kompleks. Menurutnya, bentuk sigmoidal ini disebabkan adanya efek-efek tambahan, yaitu efek dari hukum Roult, efek kapilaritas dan interaksi molekul air dengan permukaan padatan bahan pangan.

## 2. Isotermis Desorpsi

Proses tercapainya kadar air keseimbangan suatu bahan pangan dengan lingkungannya dapat dicapai dengan dua fenomena, yaitu tercapainya kadar air kesetimbangan pada saat bahan pangan menyerap air yang terdapat disekitarnya yang disebut dengan peristiwa absorpsi. Kemudian tercapainya kadar air keseimbangan suatu bahan pangan dengan lingkungannya karena bahan kehilangan kandungan airnya merupakan proses desorpsi. Kedua proses absorpsi dan desorpsi ini disebut isotermis sorpsi air (Henderson dan Perry, 1976). Proses desorpsi dapat dilakukan terhadap produk-produk pangan basah, yang ingin dilihat kondisi penyimpanan yang sesuai terhadap produk tersebut.



Gambar 5. Kurva hubungan antara kelembaban relatif (%) dengan kadar air keseimbangan (%b.k) pada pati matang secara absorpsi



Gambar 6. Kurva desorpsi hubungan antara kelembaban relatif (%) dengan kadar air kesetimbangan (% b.k) pada pati matang

Data kadar air keseimbangan secara desorpsi tercapai pada saat pati telah seimbang dengan lingkungannya pada saat pati telah kehilangan air ke lingkungannya pada kondisi RH yang telah ditentukan. Data kadar air keseimbangan pati pada berbagai tingkat gelatinisasi yaitu baik pati mentah, tergelatinisasi parsial ringan, tergelatinisasi parsial berat dan pati matang dapat dilihat pada Tabel 7. Dari Tabel 7 dapat dibuat kurva isothermis sorpsi yang disajikan pada Gambar 6, yaitu untuk pati matang secara desorpsi, dan berlaku juga untuk pati mentah, tergelatinisasi parsial ringan dan tergelatinisasi parsial berat.

Dari Gambar 6 terlihat bahwa kurva sorpsi pati matang secara desorpsi berbentuk sigmoid, demikian halnya dengan ketiga jenis pati lainnya baik pati mentah, pati tergelatinisasi parsial ringan, tergelatinisasi parsial berat berbentuk sigmoid. Hal ini sesuai dengan kurva pati yang diperoleh dengan cara absorpsi.

### 3. Fenomena Histeresis

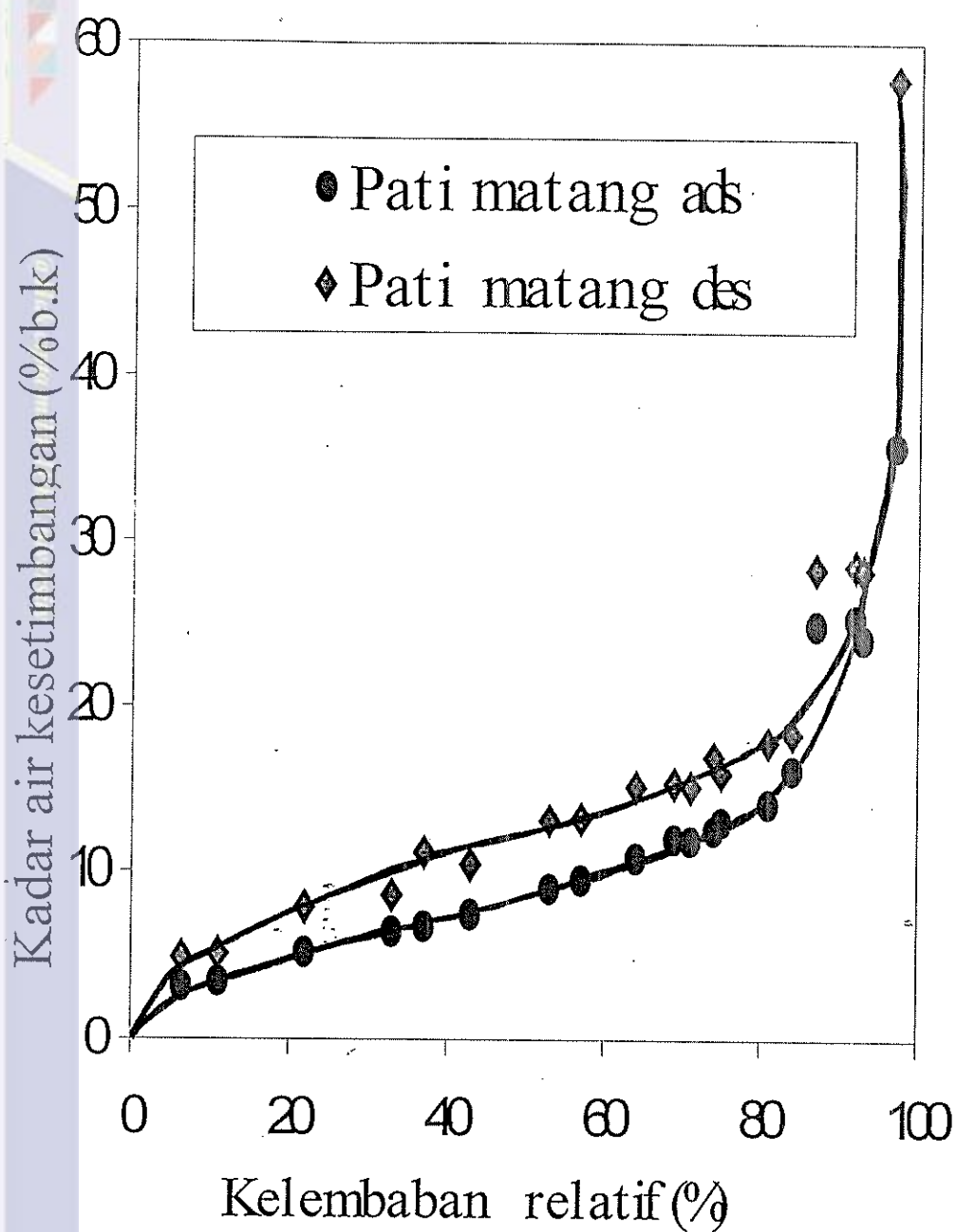
Ada suatu perbedaan yang nyata yang dihasilkan dari kadar air keseimbangan, yaitu kadar air keseimbangan desorpsi lebih tinggi dibanding kadar air keseimbangan absorpsi. Fenomena ini yang disebut fenomena histeresis. (Gambar 7).

Pada Gambar 7 dapat diketahui bahwa kurva isothermis dari pati absorpsi lebih rendah dibanding desorpsi, atau dengan kata lain tidak berhimpit yang sering disebut fenomena histeresis.

Histeresis adalah fenomena tidak berhimpitnya kurva isothermis absorpsi dan desorpsi yang merupakan fenomena yang umum terjadi pada berbagai jenis bahan pangan (Labuza, 1968).

Histeresis pada umumnya dimulai pada batas monolayer, tetapi juga berlangsung pada batas  $a_w$  0 (Labuza, 1968). Histeresis mempunyai implikasi teoritis dan praktis pada bahan pangan. Implikasi teoritis terkait dengan sifat sorpsi yang tidak dapat balik terhadap ketepatan fungsi-fungsi termodinamika yang digunakan. Implikasi praktis terkait dengan pengaruh





Gambar 7. Kurva hubungan antara kelembaban relatif (%) dengan kadar air kesetimbangan (%b.k) dari pati matang secara adsorpsi dan desorpsi (Fenomena Histeresis)

histeresis terhadap kerusakan mikrobiologi dan kimia dan kepentingan bahan pangan kering dan semi basah. (Kapsalis, 1987)

#### E. PENGARUH PEMANASAN TERHADAP ISOTERMIS SORPSI AIR.

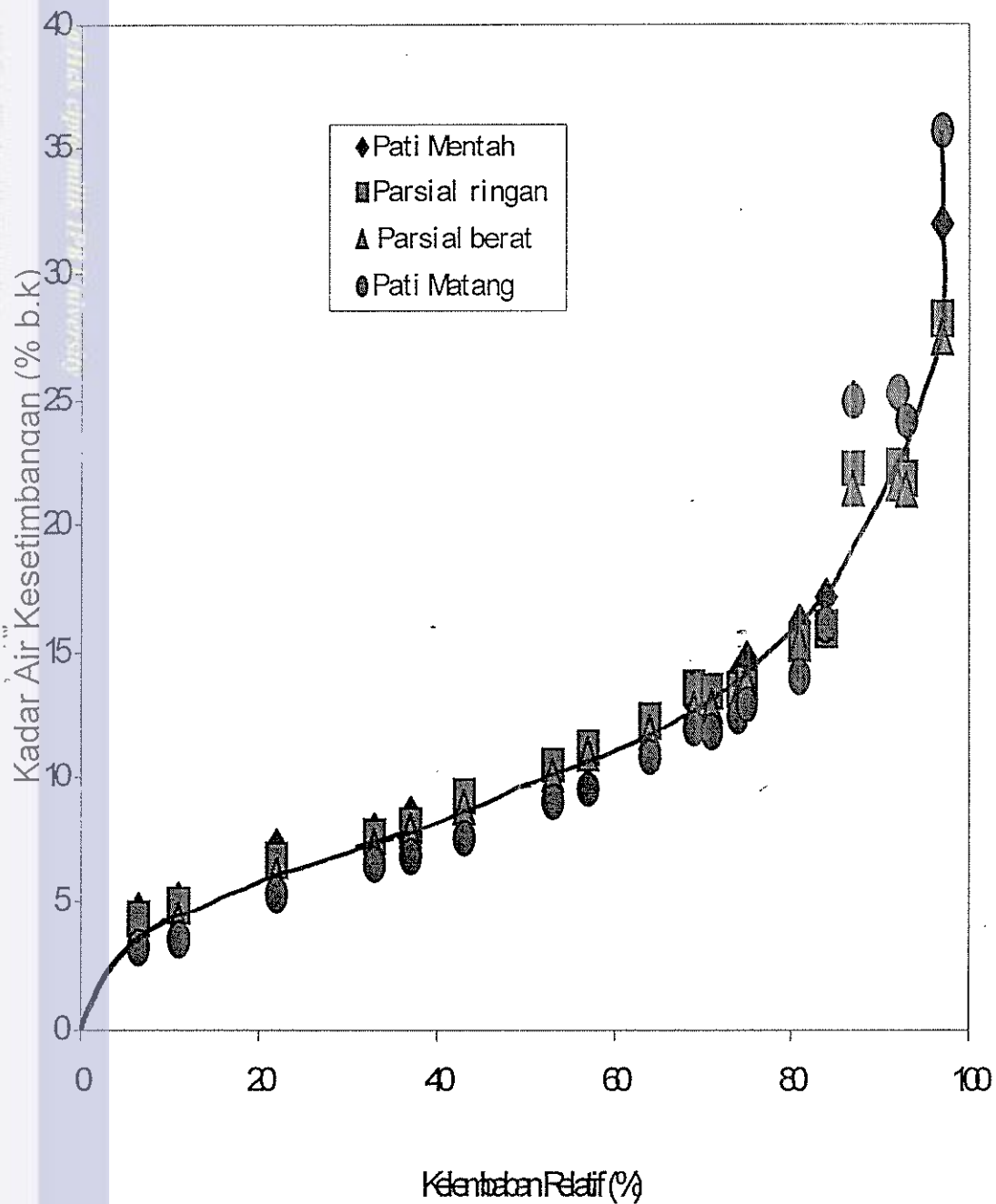
Dari kadar air keseimbangan yang telah dihasilkan dapat digambarkan kurva isotermis sorpsi air dari keempat tingkat gelatinisasi baik secara absorpsi dan secara desorpsi, Gambar keempat kurva tersebut dapat dilihat pada Gambar 8 secara absorpsi dan Gambar 9 secara desorpsi.

Dari Gambar 8 dan 9 yang dihasilkan susah dijelaskan keadaan kurva isotermis sorpsi air dari 4 tingkat gelatinisasi tapi dapat diketahui bahwa kadar air keseimbangan dari pati mentah secara berturut - turut lebih tinggi dibanding kadar air keseimbangan pati yang telah tergelatinisasi parsial ringan dan pati tergelatinisasi parsial berat serta pati tergelatinisasi sempurna atau dengan kata lain bahwa kurva isotermis pati matang lebih rendah dibanding pati tergelatinisasi parsial ringan, pati tergelatinisasi parsial berat dan pati mentah.

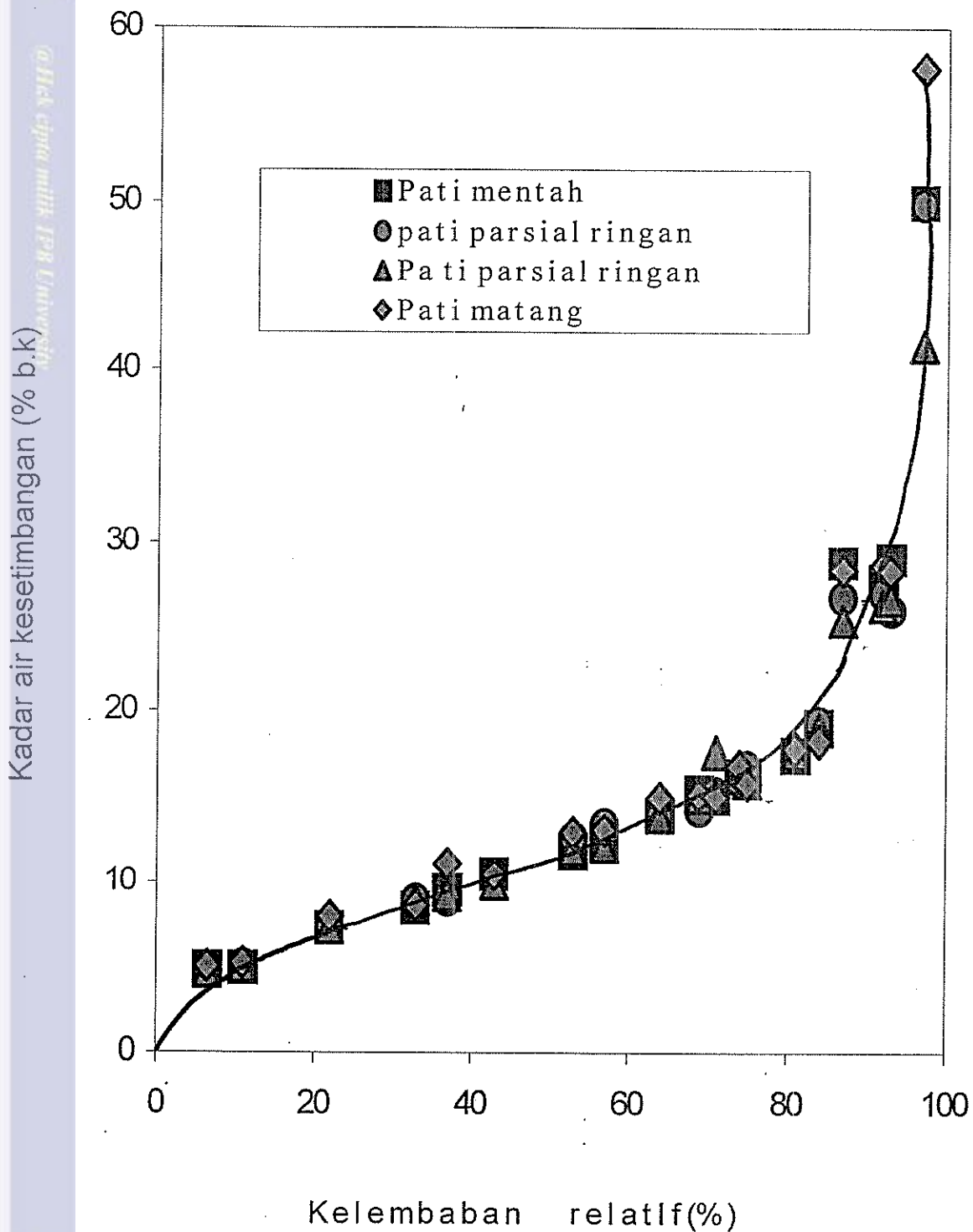
Perbedaan kadar air keseimbangan pada RH tertentu tersebut disebabkan adanya efek suhu dan pengolahan. Menurut De Man (1977), posisi kurva ISA tergantung pada suhu. Menurutnya dengan semakin tinggi suhu, maka posisi kurva ISA semakin rendah.

Dari hasil penelitian Kumendong (1986) terhadap jagung dan gabah, diketahui bahwa dengan kenaikan suhu pada kisaran 20-35 °C akan menggeser kurva ISA kekanan bawah sehingga akan menyebabkan berkurangnya kadar air keseimbangan

Faktor lain yang menyebabkan perbedaan bentuk pada ke 4 kurva adalah adanya pengolahan. Hal ini kemungkinan disebabkan karena pengaruh pemanasan atau tingkat gelatinisasi yang menyebabkan perubahan struktur molekul sehingga sifat isotermis bahan atau karakteristik bahan pangan akan berubah (Sya'bani, 1996). Purnomo (1995) mengemukakan bahwa semakin tinggi suhu pemanasan, maka kemampuan sorpsi semakin menurun.



Gambar 8. Kurva hubungan antara kelembaban relatif (%) dengan kadar air kesetimbangan (%b.k) dari pati pada berbagai tingkat gelatinisasi secara absorpsi



bar 9. Kurva hubungan antara kelembabn relatif (%) dengan kadar air keseimbangan (% b.k) pada pati pada berbagai tingkat gelatinisasi secara desorpsi

## F. ANALISIS FRAKSI-FRAKSI AIR TERIKAT

Soekarto (1978) membagi tiga fraksi air dalam bahan pangan yaitu air terikat primer, air terikat sekunder dan air terikat tersier. Penentuan air terikat primer, air terikat sekunder dan air terikat tersier berdasarkan data isotermin sorpsi bertujuan untuk mengetahui daerah masing-masing air terikat

### 1. Penentuan Air Terikat Primer Pati .

Pada proses absorpsi dan desorpsi, setelah dihasilkan kurva isotermin sorpsi air dapat dilakukan analisa terhadap air terikat baik air terikat primer, sekunder dan tersier.

Menurut Purnomo (1995). Air terikat primer terdapat dalam bentuk satu lapis (monolayer) dengan molekul air terikat sangat kuat. Di daerah tersebut air sulit sekali diuapkan. Air terikat primer dapat ditentukan dengan kurva isotermin sorpsi pada kelembaban relatif lebih kecil atau sama dengan 45% (Labuza, 1984) dengan model isotermin sorpsi yang dikemukakan oleh Brunnauer, Emmet dan Teller (1983). Modifikasi persamaan BET adalah :

$$\frac{a_w}{(1-a_w)m} = \frac{1}{M_p C} + \frac{C-1}{M_p C} a$$

dimana :

$m$  = kadar air (%b.k) pada  $a_w$  tertentu

$C$  = konstanta

$M_p$  = kapasitas air terikat primer (%b.k)

Persamaan diatas dapat diubah menjadi :

$$Y = a + b a_w$$

Dimana :

$$Y = \frac{a_w}{(1-a_w)m}$$



$$a. = \frac{1}{M_p C}$$

$$b. = \frac{C-1}{M_p C}$$

Dengan mengetahui nilai a dan b, dari hasil regresi data antara  $a_w$  dan  $a_w/(1-a_w)m$  maka dari persamaan yang ada dapat diketahui nilai konstanta C dan  $M_p$  sebagai kapasitas air terikat primer baik secara absorpsi dan secara desorpsi.

### Contoh Cara Perhitungan

Pada proses absorpsi ini dilakukan perhitungan, baik untuk pati mentah, pati tergelatinisasi parsial ringan, tergelatinisasi parsial berat dan pati matang dengan menggunakan delapan angka pengamatan didaerah kelembaban relatif yang rendah yaitu  $a_w$  0.065 sampai 0.570 yang dapat dilihat pada Lampiran 1-8.

Pada pati mentah secara absorpsi (Lampiran 1) dapat dilakukan regresi sehingga diperoleh persamaan garis lurus yang mempunyai persamaan regresi linier  $Y = -0.0019 + 0.2054X$  untuk pati mentah secara absorpsi, dengan titik potong pada ordinat a dan faktor kemiringan b. Plot isothermis sorpsi BET pati mentah disajikan pada Gambar 10.

Dengan mensubstitusikan nilai a menjadi  $1/M_p C$  dan b menjadi  $C-1/M_p C$ , maka untuk pati mentah secara absorpsi akan diperoleh:

$$a = 1/M_p C = -0.0019$$

$$M_p C = -526.3158$$

$$b. = C-1/M_p C = (C-1)/-526.3158 = 0.2054$$

$$C-1 = -108.1052$$

$$C = -107.1052$$

$$M_p = -526.3158/-107.1052$$

$$M_p = 4.914$$

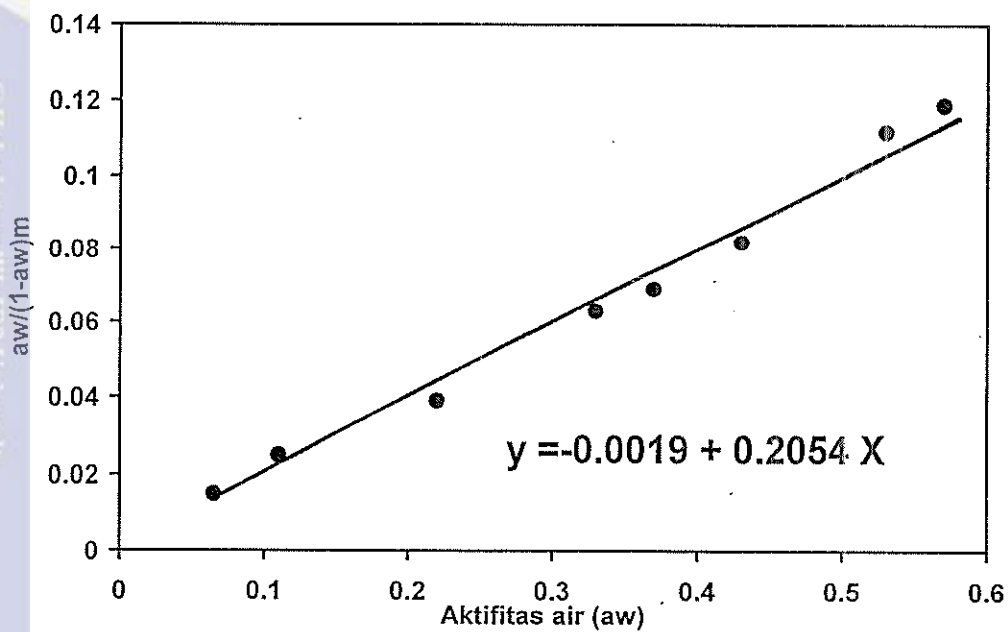
Perhitungan terhadap isothermis BET pati perlakuan1, tergelatinisasi parsial berat, dan pati matang baik secara absorpsi dan desorpsi dilakukan dengan hal yang sama. Hasil perhitungan isothermis pati secara absorpsi tersebut dapat dilihat selengkapnya pada Tabel 8.

Perhitungan terhadap isothermis sorpsi air dari pati secara desorpsi baik pati mentah, pati tergelatinisasi parsial ringan, pati tergelatinisasi parsial berat dan pati matang dilakukan perhitungan BET dengan cara yang sama seperti absorpsi.

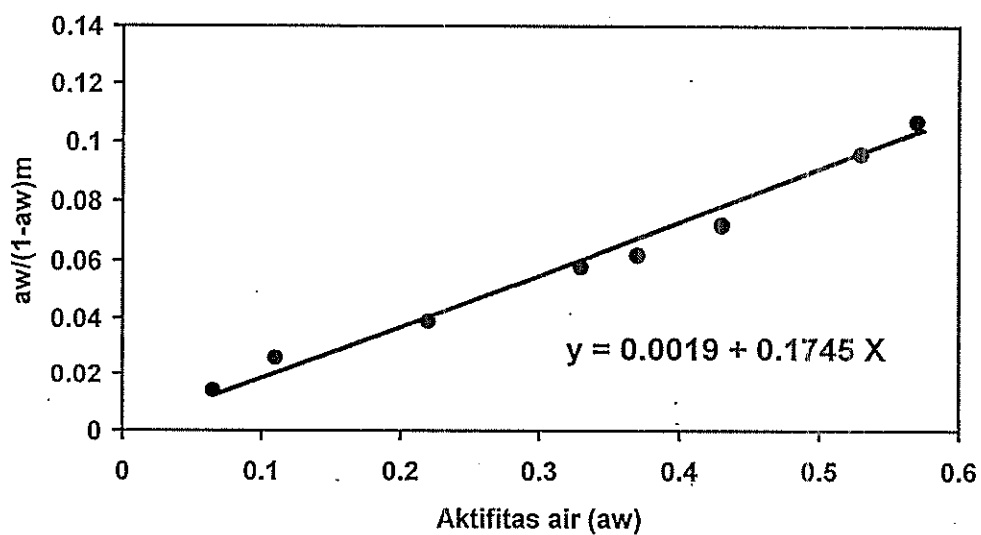
Kapasitas air terikat primer secara desorpsi sebelumnya dihasilkan dari analisis regresi yang dilakukan dari lampiran 5-8. Dari Lampiran 5 pada pati mentah secara desorpsi dapat dihasilkan persamaan garis lurus yang mempunyai persamaan regresi yaitu :  $Y = 0.0019 + 0.1745 X$ . Plot isothermis pati mentah secara desorpsi dapat disajikan pada Gambar 11. Perlakuan tersebut dilakukan juga terhadap pati tergelatinisasi parsial ringan, tergelatinisasi parsial berat dan pati matang. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8 . Hasil Perhitungan Air terikat Primer Pati pada 4 tingkat gelatinisasi secara absorpsi dan desorpsi

Para meter	Mentah		Tergelatinisasi parsial ringan		Tergelatinisasi parsial berat		Matang	
	ads	des	ads	des	Ads	des	ads	Des
a	-0.002	0.002	0.002	0.005	0.003	0.002	0.006	0.003
b.	0.205	0.176	0.197	0.161	0.006	0.176	0.223	0.162
r.	0.99	0.99	0.99	0.99	0.223	0.99	0.99	0.98
C	-107.11	88.85	132.40	36.69	0.99	88.85	36.44	63.12
Mp	4.91	5.63	5.04	6.06	36.44	5.63	4.36	6.09
ap	0.09	0.13	0.13	0.16	4.36	0.13	0.16	0.14



Gambar 10. Plot isothermis sorpsi BET pati mentah secara absorpsi



Gambar 11. Plot isothermis sorpsi BET pati mentah secara desorpsi

Dari Tabel 8 dapat diketahui bahwa kapasitas air terikat primer ( $M_p$ ) untuk pati mentah sebesar 4.91 (%b.k), pati tergelatinisasi parsial ringan sebesar 5.04 (%b.k), tergelatinisasi parsial berat sebesar 4.88 (%b.k) dan pati matang sebesar 4.36 (%b.k). Dari perlakuan yang telah dilakukan terhadap pati yaitu keadaan pada berbagai tingkat gelatinisasi dapat terlihat bahwa air yang terikat pada permukaan ke 4 tingkat gelatinisasi tersebut tidak berbeda jauh atau dapat dikatakan hampir sama kapasitas air yang terikat kuat pada pati. Hal ini dapat dikatakan bahwa perlakuan tersebut tidak mempengaruhi kapasitas air yang terikat kuat pada komponen bahan pangan

Dari Tabel 8 juga dapat diketahui kapasitas air terikat primer dari pati secara desorpsi yaitu pati mentah sebesar 5.66 (%b.k), pati tergelatinisasi parsial ringan sebesar 6.06 (%b.k), tergelatinisasi parsial berat sebesar 5.63 (%b.k) dan pati matang sebesar 6.09 (%b.k). Hal ini menunjukkan bahwa ada sedikit perbedaan yang menunjukkan bahwa kapasitas air terikat primer dari pati yang mengalami proses absorpsi lebih sedikit air yang terikat secara primer dibanding pati yang mengalami proses secara desorpsi. Dengan kata lain air terikat primer dari pati yang mengalami proses desorpsi lebih tinggi dari kadar air terikat primer dari pati yang mengalami proses absorpsi.

Menurut Christensen (1974) menyatakan bahwa ada perbedaan yang nyata antara kadar air keseimbangan desorpsi dan absorpsi pada kondisi suhu dan RH yang sama, kadar air keseimbangan desorpsi lebih tinggi daripada kadar air keseimbangan absorpsi

## 2. Penentuan Air Terikat Sekunder Pati

Air terikat sekunder merupakan lapisan-lapisan air yang bersifat kurang kuat terikat (Purnomo, 1995). Untuk menentukan kapasitas air terikat sekunder, dapat digunakan model analisa logaritma

yang dinyatakan oleh Soekarto (1978). Model matematik empiris yang disusun oleh Soekarto (1978) adalah sebagai berikut :

$$\text{Log } (1-a_w) = b(m) + a$$

Dimana :

M = kadar air (gr air/ bahan kering bahan) pada aktifitas air ( $a_w$ )

b. = faktor kemiringan

a. =titik potong ordinat

Plot semilog ( $1-a_w$ ) terhadap m dari pati baik pati mentah,perlakuan1, tergelatinisasi parsial berat dan pati matang baik secara absorpsi dan desorpsi menghasilkan garis lurus yang patah menjadi dua garis, seperti terlihat pada Gambar 12 (secara absorpsi) dan 13 (secara desorpsi).

Soekarto (1978) mengartikan garis lurus pertama mewakili air terikat sekunder dan garis lurus kedua mewakili air terikat tersier. Titik potong kedua garis lurus tersebut adalah peralihan dari air terikat sekunder keair terikat tersier dan dipandang sebagai batas atas atau kapasitas air terikat sekunder.

Jika garis lurus pertama mewakili air terikat sekunder dengan persamaan :

$$\text{Log } (1-a_w) = b_1M_s + a_1$$

Garis lurus kedua mewakili air terikat tersier dengan persamaan :

$$\text{Log}(1-a_w) = b_2M_s + a_2$$

Pada titik potong kedua garis lurus berlaku rumus :

$$b_1m_s + a_1 = b_2M_s + a_2$$

dimana  $M_s$  merupakan kadar air pada titik potong, yang berarti juga air terikat sekunder.

### Contoh Cara Perhitungan

Pada proses absorpsi dilakukan analisa air terikat sekunder yaitu pada pati mentah, tergelatinisasi parsial ringan, tergelatinisasi parsial berat dan pati matang. Pada pati mentah secara absorpsi pengukuran



menggunakan 13 data pengukuran dimulai dari  $a_w$  0.22 hingga  $a_w$  0.84 dan peroleh persamaan :

$$\text{Log}(1-a_w) = -0.0671 M_s + 0.3633$$

Kemudian dengan menggunakan 5 data pengukuran  $a_w$  0.84 hingga  $a_w$  0.97, sehingga didapat persamaan garis lurus kedua :

$$\text{Log}(1-a_w) = -0.0475 M_s + 0.0813$$

Dengan menggunakan persamaan untuk mencari titik potong dari kedua persamaan tersebut maka :

$$-0.0671 M_s + 0.3633 = -0.0475 M_s + 0.0813$$

sehingga diperoleh  $M_s = 14.388$  gr air/gr bahan kering

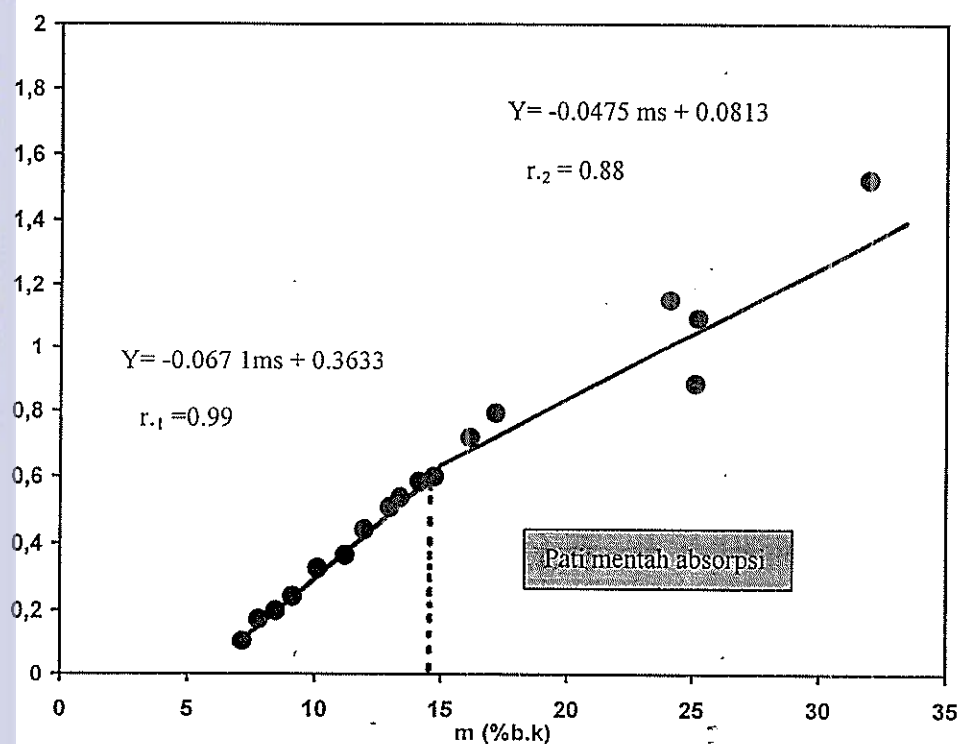
selanjutnya dengan memasukkan nilai  $M_s$  yang diperoleh kedalam persamaan  $\text{Log}(1-a_w) = b_1 M_s + a_1$  didapat nilai  $a_w = 0.75$ . Data selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 9.

Sama halnya dengan pati mentah, pati tergelatinisasi parsial ringan, tergelatinisasi parsial berat, pati matang juga dilakukan dengan cara yang sama baik secara absorpsi dan juga desorpsi. Data-data perhitungan yang digunakan dalam analisa air terikat sekunder secara absorpsi dapat dilihat pada Lampiran 9-12. Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan maka dapat dihasilkan air terikat sekunder pada pati mentah, pati tergelatinisasi parsial ringan, pati tergelatinisasi parsial berat dan pati matang yang dapat dilihat pada Tabel 9 berikut.

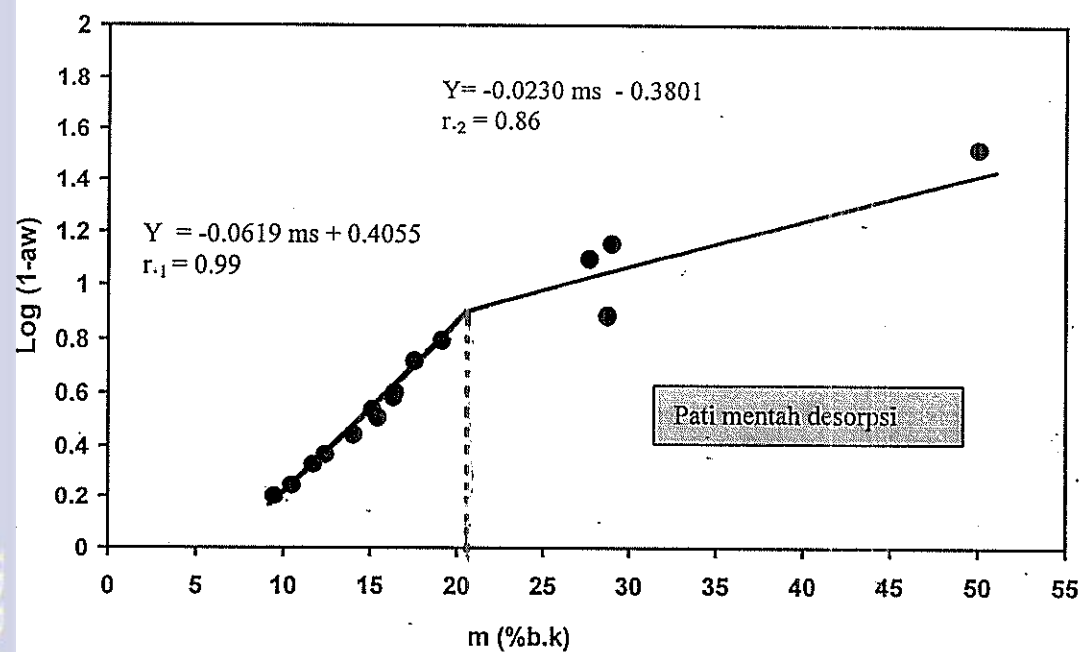
Tabel 9 . Hasil Perhitungan Air terikat sekunder Pati pada 4 tingkat gelatinisasi secara absorpsi. dan desorpsi

Para meter	Mentah		Tergelatinisasi parsial ringan		Tergelatinisasi parsial berat		Matang	
	ads	des	ads	des	Ads	des	ads	Des
a.1	0.363	0.406	0.405	0.394	0.359	0.313	0.263	0.577
b.1	-0.061	-0.062	-0.072	-0.061	-0.069	-0.055	-0.067	-0.072
r.1	-0.99	-0.99	-0.98	-0.98	-0.99	-0.96	-0.99	-0.97
a.2	0.081	-0.380	0.193	-0.429	0.306	-0.189	-0.155	-0.523
b.2	-0.047	-0.023	-0.058	-0.022	-0.065	-0.033	-0.037	-0.018
r.2	-0.88	-0.93	-9.89	-0.92	-0.92	-0.95	-0.91	-0.93
Ms	14.39	20.19	15.81	21.23	16.42	22.25	14.05	20.17
As	0.75	0.86	0.81	0.87	0.82	0.88	0.79	0.87

Dari Tabel 9 dapat dilihat bahwa secara absorpsi air terikat sekunder pati mentah dan pati matang memiliki nilai yang tidak berbeda. Kapasitasnya yang dapat dikatakan sama besar, pati mentah memiliki kapasitas air terikat sekunder sebesar 14.39 (% b.k), pati matang sebesar 14. 05 (%b.k). Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan pemanasan yang dilakukan pada pati matang tidak mempengaruhi air terikat sekunder, hal ini disebabkan karena pemanasan tidak akan merubah struktur molekul dari pati. Tetapi pemanasan atau proses gelatinisasi membuat susunan antara granula pati akan meregang sehingga mempengaruhi kemampuan pati untuk melakukan proses penyerapan air dan proses penguapan air



Gambar 12. Bentuk linier dari isoterms sorpsi pati mentah secara absorpsi yang terdiri dari air terikat sekunder dan air terikat tersier



Gambar 13. Bentuk linier dari isoterms sorpsi pati mentah desorpsi yang terdiri dari air terikat sekunder dan air terikat tersier

Sedangkan air terikat sekunder dari pati yang tergelatinisasi sebagian yaitu tergelatinisasi parsial ringan dan tergelatinisasi parsial berat mengalami proses peningkatan kapasitas air terikat sekunder, yaitu untuk pati tergelatinisasi parsial ringan air terikat sekunder sebesar 15.81 (%b.k) dan pati tergelatinisasi parsial berat sebesar 16.42 (%b.k) atau dengan kata lain bahwa kapasitas air terikat sekunder dari pati mentah dan pati matang lebih rendah dari pati yang tergelatinisasi sebagian

Perhitungan air terikat sekunder secara desorpsi dilakukan dengan cara yang sama yaitu menggunakan model analisa logaritma. Pengukuran terhadap pati mentah dilakukan dari  $a_w$  0.37 hingga  $a_w$  0.84 untuk persamaan garis lurus pertama, dan pengukuran dari  $a_w$  0.84 hingga  $a_w$  0.97 untuk persamaan garis lurus kedua. Data-data pengukuran yang digunakan dapat dilihat pada Lampiran 13- 16.

Dari Tabel 9 dapat diketahui bahwa kapasitas air terikat desorpsi lebih besar dibanding secara absorpsi. Air terikat sekunder dari pati mentah hampir sama dengan air terikat sekunder dari pati matang, yaitu kapasitas untuk pati mentah yaitu sebesar 20.19 (%b.k) dan pati matang sebesar 20.17 (%b.k), hal ini sama halnya dengan pati yang mengalami proses absorpsi.

Sedangkan pati tergelatinisasi parsial ringan dan pati tergelatinisasi parsial berat memiliki kapasitas air terikat sekunder yang lebih besar dibanding pati mentah dan pati matang, hal ini dapat dilihat dari Tabel 8 yaitu pati tergelatinisasi parsial ringan memiliki kapasitas air terikat sekunder sebesar 21.23 (%b.k) dan pati tergelatinisasi parsial berat sebesar 22.25 (%b.k), sama halnya yang dialami dengan proses absorpsi.

### 3. Penentuan Air Terikat Tersier Pati

Menurut Soekarto (1978), model matematika dengan analisa logaritma adalah bersifat terbuka, artinya tidak dapat ditetapkan nilai

ujung luar kurva sehingga model tersebut tidak dapat digunakan untuk menetapkan kapasitas air terikat tersier.

Dengan melakukan ekstrapolasi terhadap kurva isothermis sorpsi, dapat diperkirakan kadar air bahan pada saat tekanan uap air jenuh yaitu pada saat  $a_w = 1$  atau pada saat RH 100%. Kadar air pada saat  $a_w = 1$  ini merupakan dugaan kasar tentang batas air yang terkondensasi atau kapasitas air terikat tersier.

Data ekstrapolasi dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6 yang dihasilkan kurva isothermis sorpsi air yang telah digambarkan sebelumnya, dari gambar tersebut dapat ditarik garis lengkung yang mengikuti kurva sigmoid dan ditarik menuju  $a_w = 1$ , sehingga diperoleh kapasitas air terikat tersier dari pati baik secara absorpsi dan desorpsi.

Kapasitas air terikat tersier dari pati secara absorpsi dan desorpsi dapat dilihat pada Tabel 10

Tabel 10 . Kapasitas Air terikat tersier Pati pada 4 tingkat gelatinisasi secara absorpsi dan secara desorpsi

Parameter	Mentah		Tergelatinisasi parsial ringan		Tergelatinisasi parsial berat		Matang	
	Ads	Des	Ads	Des	Ads	Des	Ads	Des
$M_p$	4.91	5.67	5.04	6.06	4.88	5.63	4.36	6.09
$M_s$	14.39	20.19	15.81	21.23	16.42	22.25	14.05	20.17
$M_t$	38	56	32	52.5	33	51	41	63

Dari Tabel 10 dapat diketahui bahwa kapasitas air terikat tersier dari pati secara desorpsi baik pati mentah, tergelatinisasi parsial ringan, tergelatinisasi parsial berat dan pati matang lebih besar dibanding secara absorpsi. Hal ini menunjukkan adanya fenomena histeresis yaitu fenomena dimana kadar air absorpsi tidak berhimpit dengan kadar air desorpsi.



Dari Tabel 10 juga dapat diketahui bahwa air terikat tersier dari pati mentah dan matang mempunyai kapasitas yang mendekati tetapi berbeda dibanding pati yang telah tergelatinisasi sebagian atau tergelatinisasi parsial ringan dan tergelatinisasi parsial berat dan cenderung menurun, atau lebih kecil.

Setelah diketahui masing-masing batas dari kapasitas air terikat, baik terikat primer, sekunder dan tersier maka dapat diketahui yang merupakan wilayah masing-masing air terikat atau dengan kata lain fraksi air terikat. Fraksi air terikat dapat dilihat pada Tabel 11

Tabel 11. Hasil perhitungan air terikat yang merupakan fraksi-fraksi air terikat secara absorpsi dan secara desorpsi

Parameter	Mentah		Tergelatinisasi parsial ringan		Tergelatinisasi parsial berat		Matang	
	ads	des	ads	des	Ads	des	ads	Des
$W_p$	4.91	5.67	5.04	6.06	4.88	5.63	4.36	6.09
$W_s$	9.47	14.43	10.77	15.17	11.55	17.62	9.69	14.08
$W_t$	23.61	35.81	17.09	31.27	16.48	29.75	26.95	42.83
$a_p$	0.09	0.14	0.13	0.16	0.14	0.13	0.16	0.14
$a_s$	0.75	0.84	0.81	0.87	0.82	0.88	0.79	0.87

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. KESIMPULAN

Pati adalah polisakarida yang merupakan cadangan metabolik pada tanaman, dan komponen terbesar yang terdapat pada beras adalah pati. Untuk menghasilkan pati dari beras dilakukan proses ekstraksi pati yang bertujuan untuk memperoleh pati murni. Proses ekstraksi pati yang digunakan adalah proses perendaman yang bertujuan untuk menghilangkan komponen-komponen diluar zat pati yaitu protein, lemak dan kandungan mineral lainnya. Pada proses ekstraksi yang dilakukan dihasilkan rendemen pati sebesar 70 %. Setelah dilakukan analisa proksimat dihasilkan kadar air pati sebesar 9.68 (%b.k), kadar protein sebesar 6.04 % dan kadar lemak sebesar 0.86 % dan kadar pati sebesar 89.10%.

Kurva isothermis sorpsi air pati baik secara absorpsi dan desorpsi pada pati mentah, pati tergelatinisasi parsial ringan, pati tergelatinisasi parsial berat dan pati matang adalah berbentuk sigmoid. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat gelatinisasi tidak mempengaruhi bentuk kurva isothermis. Sesuai dengan pernyataan Syarief dan Halid (1993) bahwa pada umumnya, kurva ISA bahan pangan berbentuk sigmoid (menyerupai huruf "S").

Kadar air keseimbangan pati secara desorpsi lebih tinggi dibanding kadar air secara absorpsi hal ini menunjukkan adanya fenomena histerisis (Christensen, 1974). Kadar air keseimbangan pati mentah lebih tinggi dibanding pati tergelatinisasi parsial ringan, pati tergelatinisasi parsial berat dan pati matang pada RH yang sama. Hal ini menunjukkan adanya faktor suhu dan pengolahan. Adanya proses pengolahan pada suhu tinggi juga menyebabkan perubahan daya serap air dari pati sehingga mempengaruhi kurva isothermis sorpsi air.

Nilai kapasitas air terikat pati pada proses absorpsi yaitu air terikat primer pati mentah sebesar 4.91 (%b.k) yang berkeseimbangan dengan aktifitas air ( $a_w$ ) 0.09, pati tergelatinisasi parsial ringan sebesar 5.04 (%b.k) yang berkeseimbangan dengan  $a_w$  0.13, pati tergelatinisasi parsial berat

sebesar 4.88(% b.k) yang berkeselimbangan dengan  $a_w$  0.14 dan pati matang sebesar 4.36 (%b.k) yang berkeselimbangan dengan  $a_w$  0.16. Kapasitas air terikat sekunder pati mentah yaitu sebesar 14.39 (%b.k) yang berkeselimbangan dengan  $a_w$  0.75, pati tergelatinisasi parsial ringan sebesar 15.81 (%b.k) yang berkeselimbangan dengan  $a_w$  0.81, pati tergelatinisasi parsial berat sebesar 16.42 (%b.k) yang berkeselimbangan dengan  $a_w$  0.82 dan pati matang sebesar 14.05 (%b.k) yang berkeselimbangan dengan  $a_w$  0.79. Kapasitas air terikat sekunder pati tergelatinisasi parsial ringan, pati tergelatinisasi parsial berat lebih besar dibanding pati mentah dan pati matang.

Kapasitas air terikat tersier pada proses absorpsi dihasilkan pati mentah sebesar 38 (%b.k), pati tergelatinisasi parsial ringan sebesar 32 (%b.k), tergelatinisasi parsial berat sebesar 33 (%b.k) dan pati matang sebesar 41 (%b.k). Pati matang memiliki air terikat tersier yang paling besar. Hal ini disebabkan oleh karena adanya pengaruh pengolahan dan proses gelatinisasi..

Secara Desorpsi dihasilkan kapasitas air terikat primer pada pati mentah sebesar 5.67 (%b.k) yang berkeselimbangan dengan  $a_w$  0.14 pati tergelatinisasi parsial ringan sebesar 6.06(%b.k) yang berkeselimbangan dengan  $a_w$  0.16, tergelatinisasi parsial berat sebesar 5.63 (%b.k) yang berkeselimbangan dengan  $a_w$  0.13 dan pati matang sebesar 6.09 (%b.k) yang berkeselimbangan dengan  $a_w$  0.14. Kapasitas air terikat primer memiliki kapasitas yang hampir sama untuk masing-masing tingkat gelatinisasi atau tidak dipengaruhi oleh proses gelatinisasi.

Nilai kapasitas air terikat sekunder pada pati mentah sebesar 20.19 (%b.k), pati tergelatinisasi parsial ringan sebesar 21.23 (%b.k), pati tergelatinisasi parsial berat sebesar 22.25 (%b.k) dan pati matang sebesar 20.17 (%b.k). Hal ini menunjukkan bahwa kapasitas air terikat sekunder desorpsi lebih tinggi dibanding proses absorpsi. Sedangkan kapasitas air terikat sekunder desorpsi pati mentah dan pati matang lebih rendah dibanding dengan pati tergelatinisasi parsial ringan dan pati tergelatinisasi parsial berat.

Nilai kapasitas air terikat tersier atau air yang terikat lemah dalam komponen bahan pangan secara desorpsi pada pati mentah sebesar 56 (%b.k), pati tergelatinisasi parsial ringan sebesar 52.5 (%b.k), pati tergelatinisasi

parsial berat sebesar 51(%b.k) dan pati matang sebesar 63 (%b.k). Secara umum dapat dilihat bahwa kapasitas air terikat tersier dari pati secara desorpsi jauh lebih besar bila dibanding dengan pati yang mengalami proses absorpsi.

## B. SARAN

Pada penelitian ini telah dipelajari tentang sifat-sifat pati pada berbagai tingkat gelatinisasi, yang khususnya tentang sifat-sifat daya serap airnya. Sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mempelajari tentang sifat-sifat pati ketan termasuk sifat fisiko-kimia, karakteristik dari pati dengan berbagai perlakuan, sehingga dapat diketahui apakah pati ketan memiliki karakteristik yang sama dengan jenis pati lain yang telah banyak digunakan saat ini dan sangat berguna untuk aplikasi berbagai produk pangan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aguilera, J.M. dan D.W. Stanley. 1990. Microstructural Principles of Food Processing Engineering. Elsevier Applied Science, London, New York.
- Amang, B. 1991. Ekonomi Perberasan Nasional dalam Pembangunan Jangka Panjang I dan Prospeknya dalam Pembangunan Jangka Panjang II. Majalah Pangan. Vol. 4 No 2, 33-43.
- Araullo, E.V., D.B. De Padua and M. Graham. 1976. Rice Postharvest Technology. International Development Research Centre, Ottawa.
- Banks, W., ; C.T. Greenwood dan D.D Muir. 1973. The Structure of Starch di dalam G.G. Birch dan L.F. Green (eds). Moleculer Structure and Function of Food Carbohydrate. Appl. Sci. Publisher Ltd., London.
- Brooker, D.B., Bakker-Arkema dan C.W. Hall. 1974. Drying Cereal Grains. The AVI Publ., Co., Westport. Connecticut.
- Collison, R. 1968. Swelling and Gelatinisation of Starch. didalam Starch and Derivative (J.A. Redley eds). Chapman and Hall Ltd., New York.
- Damardjati. D.S 1981. Struktur dan Komposisi beras. Tesis. Program Studi Ilmu Pangan, Fakultas Pasca Sarjana, IPB, Bogor.
- Damardjati, D.S dan Z. Harahap. 1983. Penelitian dan Pengembangan Mutu Beras di Indonesia, Risalah Lokasi Karya. Penelitian Padi. Cibogo-Bogor, 22-24 Maret Tahun 1983.
- Fennema, O.R. 1976. Principles of Food Science. Marcel Dekler Inc., New Work and Basel
- Furia, T.T. 1976. Starch didalam Y. Pomeranz (eds), Advance In Cural Science and Technology. Amm.Assoc. Cr.Chem. Inc., St. Paul, Minn.
- Hall, C.W. 1980. Drying and Storage of Agricultural Crops. The AVI. Co., Westport, Connecticut.
- Heldman, D.R. dan R.P. Singh. 1981. Food Process Engineering. The AVI Publ Co., Inc., Westport. Connecticut.
- Henderson, S.M. dan R.L Perry. 1976. Agricultural Process Engineering . The AVI Publ. Comp. Inc Westport, Connecticut.
- Hood, C.F. 1980. Advance in Maize Carbohydrate didalam G.E. Inglett and Munck (eds). Cereal For Food and Beverages, Recent Progress in Cereal Chemistry. Academic Press, New York.



Juliano. 1985. Criteria and Testing for Rice Quality. didalam Houston, D.F. (ed). Rice : Chemistry and Tehnology. American Assoc. Cereal Chem. Inc. St. Paul, Princeston. X

Juliano, dan Bechtel. 1985. The Rice Grain and its Gross Composition didalam Houston, D.F.(ed). Rice : Chemistry and Tehnology. American Assoc. Cereal Chem. Inc. St. Paul, Princeston.

Kirk, R.E. dan O.F. Othmer.1954. Encyclopedia of Chemical Technology. Vol 3. the Interscience Encylopedia. Inc., Connecticut, New York.

Kumendong, J. 1986. Model Sorpsi Isotermis Jagung dan Gabah serta Penerapannya dalam Penyimpanan. Tesis. Ilmu Keteknikan Pertanian. Fakultas Pasca Sarjana IPB, Bogor.

Kuprianof, J. 1958. Bound Water in Fundamental Aspect of Dehydration of Food Stuff Soc. Am. Indtr. 14.

Labuza, T.P. 1968. Sorption Phenomena in Food. J. Food Tech. 22 : 263 – 272. ✓

Labuza, T.P. 1984. Moisture Sorption Practical Aspect of Isoterm Measurement and Use. Am. Assoc. Cereal. Chem, St Paul, Minnesota.

Matz, S.A. 1962. Food Texture. The AVI Publishing Co., Westport, Connecticut. X

Pandanwangi, H ., 1984. Aspek Teknologi Pangan pada Industri Brem Padat di Wonogiri dan Bonyolali. Laporan Praktek Lapang Jur. TPG, IPB, Bogor. X

Pomeranz. Y. 1985. Food Science and Technology. A Series of Monograph : Functoinal Properties of Food Componen. Academic Press Inc, Orlando X

Purnomo, H. 1995. Aktifitas Air dan Peranannya dalam Pengawetan Pangan UI. Press, Jakarta.

Redley, J.A. 1981. Starch Production Technology. Appl. Sci. Pub. Ltd, London.

Rockland, L.B. 1969. Water Activitty and Storage Stability. J. Food Tech. 23: 11-18

Rohman. A.M. 1997. Evaluasi Sifat Fisikokimia Beras dan Kaitannya dengan Mutu Tanak dan Mutu Rasa. Skripsi Sarjana. Jurusan Gizi Masyarakat dan Sumberdaya Keluarga Fakultas Pertanian. IPB, Bogor.

Tjiptadi, W. dan Z. Nasution. 1976. Padi dan Pengolahannya. Departemen Teknologi Hasil Pertanian, Fatemeta. Institut Pertanian Bogor.



- Sari, L.S. 1992. Microwave Koefisien Difusitas Air Biji Kakao (*Theobroma cacao* L) dan Penerapannya pada Penyimpanan. Skripsi Jurusan Mekanika Pertanian. Fakultas Teknologi Pertanian IPB, Bogor.
- Soekarto, S.T. 1978. Pengukuran Air Ikatan dan Peranannya pada Pengawetan Pangan. *Bul. PATPI* 3 : (3,4) : 4-18.
- Sya'bani, A.E. 1996. Kajian Penggorengan Kerupuk Tapioka Mentah dengan Pemanasan Oven Gelombang Mikro. Skripsi. Jurusan Teknologi Pangan dan Gizi. Fakultas Teknologi Pertanian IPB, Bogor.
- Syarief, R. dan H. Halid. 1993. Teknologi Penyimpanan Pangan. PAU Pangan dan Gizi IPB, Bogor.
- Van den berg, C. dan S. Bruin. 1981. Water Activity and Estimation in Food System. didalam L.B. Rockland dan G.F. Stewart (ed). *Water Activity : Influences of Food Quality*. Academic Press, New York.
- Wulandari. N., 1997. Fenomena Histeresis Isotermis Sorpsi Air pada Amilosa, Amilopektin, Protein dan Selulosa. Skripsi Jurusan. TPG, IPB, Bogor.
- Winarno, F.G. 1988. Kimia Pangan dan Gizi. Gramedia, Jakarta. ✓

Lampiran 1. Hasil perhitungan Air terikat Primer Pati mentah dengan model isothermis sorpsi BET secara absorpsi

aw	M(% b.k)	(1-aw) m	Aw/ (1-aw)m	Parameter
0.065	4.612	4.312	0.015	$a = -0.0019$ $b = 0.2054$ $r = 0.9900$ $C = 107.105$ $M_p = 4.9140$ $a_w = 0.0850$
0.11	5.024	4.456	0.125	
0.22	7.154	5.580	0.039	
0.33	7.780	5.213	0.063	
0.37	8.448	5.322	0.069	
0.43	9.105	5.189	0.082	
0.53	10.106	4.749	0.112	
0.57	11.176	4.806	0.119	

Lampiran 2. Hasil perhitungan Air terikat Primer Pati Tergelatinisasi parsial ringan dengan model isothermis sorpsi BET secara absorpsi

aw	M(% b.k)	(1-aw) m	Aw/ (1-aw)m	Parameter
0.065	4.249	3.973	0.016	$a = 0.0015$ $b = 0.1971$ $r = 0.9900$ $C = 132.4000$ $M_p = 5.0350$ $a_w = 0.12600$
0.11	4.826	4.281	0.126	
0.22	6.636	5.176	0.043	
0.33	7.554	5.016	0.065	
0.37	7.998	5.039	0.073	
0.43	9.225	5.258	0.082	
0.53	10.499	4.934	0.107	
0.57	11.194	4.813	0.118	

Lampiran 3. Hasil perhitungan Air terikat Primer Pati Tergelatinisasi parsial berat dengan model isothermis sorpsi BET secara absorpsi

aw	M(% b.k)	(1-aw) m	Aw/ (1-aw)m	Parameter
0.065	4.297	4.018	0.016	$a = 0.0031$ $b = 0.2019$ $r = 0.9900$ $C = 66.1290$ $M_p = 4.8780$ $a_w = 0.1390$
0.11	4.261	3.779	0.029	
0.22	6.023	4.698	0.047	
0.33	7.137	4.782	0.069	
0.37	7.816	4.924	0.075	
0.43	8.745	4.985	0.086	
0.53	10.077	4.736	0.112	
0.57	10.964	4.714	0.121	

Lampiran 4. Hasil perhitungan Air terikat Primer Pati Matang dengan model isothermis sorpsi BET secara absorpsi

aw	M(% b.k)	(1-aw) m	Aw/ (1- aw)m	Parameter
0.065	3.205	2.997	0.022	.a = 0.0063 .b = 0.2233 .r = 0.9900 C = 36.4440 M <sub>p</sub> = 4.3550 .a <sub>w</sub> = 0.1640
0.11	3.541	3.141	0.036	
0.22	5.263	4.105	0.053	
0.33	6.458	4.327	0.076	
0.37	6.792	4.279	0.086	
0.43	7.517	4.285	0.100	
0.53	8.987	4.224	0.125	
0.57	9.505	4.087	0.139	

Lampiran 5. Hasil perhitungan Air terikat Primer Pati mentah dengan model isothermis sorpsi BET secara desorpsi

aw	M(% b.k)	(1-aw) m	Aw/ (1- aw)m	Parameter
0.065	4.846	4.531	0.014	.a = 0.0019 .b = 0.1745 .r = 0.9900 C = 92.8420 M <sub>p</sub> = 5.6690 .a <sub>w</sub> = 0.1350
0.11	4.858	4.309	0.026	
0.22	7.219	5.631	0.039	
0.33	8.411	5.635	0.058	
0.37	9.496	5.982	0.062	
0.43	10.478	5.972	0.072	
0.53	11.710	5.504	0.096	
0.57	12.394	5.329	0.107	

Lampiran 6. Hasil perhitungan Air terikat Primer Pati Tergelatinisasi parsial ringan dengan model isothermis sorpsi BET secara desorpsi

aw	M(% b.k)	(1-aw) m	Aw/ (1-aw)m	Parameter
0.065	4.718	4.411	0.015	.a = 0.0019 .b = 0.1606 .r = 0.9900 C = 36.6890 M <sub>p</sub> = 6.0570 .a <sub>w</sub> = 0.1630
0.11	5.009	4.443	0.025	
0.22	7.310	5.702	0.038	
0.33	8.924	5.979	0.055	
0.37	8934	5.628	0.065	
0.43	10.383	5.918	0.073	
0.53	12.691	5.965	0.089	
0.57	13.468	5.791	0.098	

Lampiran 7. Hasil perhitungan Air terikat Primer Pati Tergelatinisasi parsial berat dengan model isothermis sorpsi BET secara desorpsi

aw	M(% b.k)	(1-aw) m	Aw/ (1-aw)m	Parameter
0.065	4.638	4.336	0.015	.a = 0.0020 b = 0.1757 r = 0.9900 C = 88.8500 M <sub>p</sub> = 5.6270 A <sub>w</sub> = 0.134 0
0.11	4.926	4.369	0.026	
0.22	7.264	5.666	0.039	
0.33	8.887	5.954	0.055	
0.37	9.189	5.789	0.064	
0.43	9.871	5.626	0.076	
0.53	11.975	5.628	0.094	
0.57	12.155	5.226	0.109	

Lampiran 8. Hasil perhitungan Air terikat Primer Pati Matang dengan model isothermis sorpsi BET secara desorpsi

aw	M(% b.k)	(1-aw) m	Aw/ (1-aw)m	Parameter
0.065	4.958	4.635	0.014	.a = 0.0026 b = 0.1615 r = 0.9800 C = 63.1150 M <sub>p</sub> = 6.0940 A <sub>w</sub> = 0.1410
0.11	5.139	4.558	0.025	
0.22	7.909	6.169	0.036	
0.33	8.565	5.738	0.057	
0.37	11.107	6.997	0.053	
0.43	10.462	5.963	0.072	
0.53	13.018	6.118	0.087	
0.57	13.150	5.654	0.101	



Lampiran 9. Hasil perhitungan air terikat sekunder pati mentah dengan menggunakan model analisa logaritma secara absorpsi.

aw	(1-aw)	Log (1-aw)	M (%b.k)	Parameter
0.22	0.78	- 0.1079	7.154 <sub>1</sub>	$a_1 = 0.3633$ $b_1 = - 0.0671$ $r_1 = -0.9900$  $a_2 = 0.0813$ $b_2 = - 0.0475$ $r_2 = - 0.8800$  $M_s = 14.3880$ $a_s = 0.7500$
0.33	0.67	-0.1739	7.780 <sub>1</sub>	
0.37	0.63	-0.2006	8.448 <sub>1</sub>	
0.43	0.57	-0.2441	9.105 <sub>1</sub>	
0.53	0.47	-0.3279	10.106 <sub>1</sub>	
0.57	0.43	-0.3665	11.176 <sub>1</sub>	
0.64	0.36	-0.4436	11.941 <sub>1</sub>	
0.69	0.31	-0.5086	12.961 <sub>1</sub>	
0.71	0.29	-0.5376	13.354 <sub>1</sub>	
0.74	0.26	-0.5850	14.133 <sub>1</sub>	
0.75	0.25	-0.6021	14.717 <sub>1</sub>	
0.81	0.19	-0.7221	16.121 <sub>1</sub>	
0.84	0.16	-0.7958	17.142 <sub>1 2</sub>	
0.87	0.13	-0.8860	25.105 <sub>2</sub>	
0.92	0.08	-1.0969	25.211 <sub>2</sub>	
0.93	0.07	-1.1549	24.094 <sub>2</sub>	
0.97	0.03	1.5229	31.944 <sub>2</sub>	

Lampiran 10. Hasil perhitungan air terikat sekunder pati tergelatinisasi parsial ringan dengan menggunakan model analisa logaritma secara absorpsi.

aw	(1-aw)	Log (1-aw)	M (%b.k)	Parameter
0.33	0.67	-0.1739	7.554 <sub>1</sub>	$a_1 = 0.4046$ $b_1 = - 0.7150$ $r_1 = -0.9800$  $a_2 = 0.1928$ $b_2 = - 0.0581$ $r_2 = - 0.8900$  $M_s = 15.806$ $a_s = 0.8100$
0.37	0.63	-0.2006	7.998 <sub>1</sub>	
0.43	0.57	-0.2441	9.225 <sub>1</sub>	
0.53	0.47	-0.3279	10.499 <sub>1</sub>	
0.57	0.43	-0.3665	11.194 <sub>1</sub>	
0.64	0.36	-0.4436	12.308 <sub>1</sub>	
0.69	0.31	-0.5086	13.601 <sub>1</sub>	
0.71	0.29	-0.5376	13.458 <sub>1</sub>	
0.74	0.26	-0.5850	13.562 <sub>1</sub>	
0.75	0.25	-0.6021	13.780 <sub>1</sub>	
0.81	0.19	-0.7221	15.394 <sub>1</sub>	
0.84	0.16	-0.7958	15.887 <sub>1 2</sub>	
0.87	0.13	-0.8860	22.210 <sub>2</sub>	
0.92	0.08	-1.0969	22.332 <sub>2</sub>	
0.93	0.07	-1.1549	21.827 <sub>2</sub>	
0.97	0.03	-1.5229	28.262 <sub>2</sub>	

Lampiran 11. Hasil perhitungan air terikat sekunder pati tergelatinisasi parsial berat dengan menggunakan model analisa logaritma secara absorpsi

aw	(1-aw)	Log (1-aw)	M (%b.k)	Parameter
0.33	0.67	-0.1739	7.137 <sub>1</sub>	$a_1 = 0.3597$ $b_1 = -0.0698$ $r_1 = -0.9900$
0.37	0.63	-0.2006	7.816 <sub>1</sub>	
0.43	0.57	-0.2441	8.745 <sub>1</sub>	
0.53	0.47	-0.3279	10.077 <sub>1</sub>	$a_2 = 0.3055$ $b_2 = -0.0646$ $r_2 = -0.9200$
0.57	0.43	-0.3665	10.964 <sub>1</sub>	
0.64	0.36	-0.4436	11.804 <sub>1</sub>	
0.69	0.31	-0.5086	12.734 <sub>1</sub>	$M_s = 16.4240$ $a_s = 0.8200$
0.71	0.29	-0.5376	12.839 <sub>1</sub>	
0.74	0.26	-0.5850	13.117 <sub>1</sub>	
0.75	0.25	-0.6021	13.852 <sub>1</sub>	
0.81	0.19	-0.7221	15.369 <sub>1</sub>	
0.84	0.16	-0.7958	16.176 <sub>1 2</sub>	
0.87	0.13	-0.8860	21.435 <sub>2</sub>	
0.92	0.08	-1.0969	21.607 <sub>2</sub>	
0.93	0.07	-1.1549	21.371 <sub>2</sub>	
0.97	0.03	-1.5229	27.549 <sub>2</sub>	

Lampiran 12. Hasil perhitungan air terikat sekunder pati matang dengan menggunakan model analisa logaritma secara absorpsi.

aw	(1-aw)	Log (1-aw)	M (%b.k)	Parameter
0.33	0.67	-0.1739	6.458 <sub>1</sub>	$a_1 = 0.2632$ $b_1 = -0.0669$ $r_1 = -0.9900$
0.37	0.63	-0.2006	6.792 <sub>1</sub>	
0.43	0.57	-0.2441	7.517 <sub>1</sub>	
0.53	0.47	-0.3279	8.987 <sub>1</sub>	$a_2 = -0.1554$ $b_2 = -0.0371$ $r_2 = -0.9100$
0.57	0.43	-0.3665	9.505 <sub>1</sub>	
0.64	0.36	-0.4436	10.862 <sub>1</sub>	
0.69	0.31	-0.5086	11.977 <sub>1</sub>	$M_s = 14.0470$ $a_s = 0.7900$
0.71	0.29	-0.5376	11.857 <sub>1</sub>	
0.74	0.26	-0.5850	12.477 <sub>1</sub>	
0.75	0.25	-0.6021	12.949 <sub>1</sub>	
0.81	0.19	-0.7221	14.085 <sub>1</sub>	
0.84	0.16	-0.7958	16.065 <sub>1 2</sub>	
0.87	0.13	-0.8860	25.005 <sub>2</sub>	
0.92	0.08	-1.0969	25.349 <sub>2</sub>	
0.93	0.07	-1.1549	24.179 <sub>2</sub>	
0.97	0.03	-1.5229	35.665 <sub>2</sub>	

Lampiran 13. Hasil perhitungan air terikat sekunder pati mentah dengan menggunakan model analisa logaritma secara desorpsi.

aw	(1-aw)	Log (1-aw)	M (%b.k)	Parameter
0.37	0.63	-0.2006	9.496 <sub>1</sub>	$a_1 = 0.4055$ $b_1 = -0.0619$ $r_1 = -0.9900$ $a_2 = -0.3801$ $b_2 = -0.0230$ $r_2 = -0.9300$ $M_s = 20.1950$ $a_s = 0.8600$
0.43	0.57	-0.2441	10.478 <sub>1</sub>	
0.53	0.47	-0.3279	11.710 <sub>1</sub>	
0.57	0.43	-0.3665	12.394 <sub>1</sub>	
0.64	0.36	-0.4436	14.011 <sub>1</sub>	
0.69	0.31	-0.5086	15.410 <sub>1</sub>	
0.71	0.29	-0.5376	15.126 <sub>1</sub>	
0.74	0.26	-0.5850	16.314 <sub>1</sub>	
0.75	0.25	-0.6021	16.411 <sub>1</sub>	
0.81	0.19	-0.7221	17.533 <sub>1</sub>	
0.84	0.16	-0.7958	19.114 <sub>1 2</sub>	
0.87	0.13	-0.8860	28.728 <sub>2</sub>	
0.92	0.08	-1.0969	27.678 <sub>2</sub>	
0.93	0.07	-1.1549	28.969 <sub>2</sub>	
0.97	0.03	-1.5229	50.012 <sub>2</sub>	

Lampiran 14. Hasil perhitungan air terikat sekunder pati tergelatinisasi parsial ringan dengan menggunakan model analisa logaritma secara desorpsi.

aw	(1-aw)	Log (1-aw)	M (%b.k)	Parameter
0.37	0.63	-0.2006	8.934 <sub>1</sub>	$a_1 = 0.3937$ $b_1 = -0.0608$ $r_1 = -0.9800$ $a_2 = -0.4299$ $b_2 = -0.0220$ $r_2 = -0.9200$ $M_s = 21.2270$ $a_s = 0.8300$
0.43	0.57	-0.2441	10.383 <sub>1</sub>	
0.53	0.47	-0.3279	12.691 <sub>1</sub>	
0.57	0.43	-0.3665	13.468 <sub>1</sub>	
0.64	0.36	-0.4436	13.943 <sub>1</sub>	
0.69	0.31	-0.5086	14.308 <sub>1</sub>	
0.71	0.29	-0.5376	15.321 <sub>1</sub>	
0.74	0.26	-0.5850	16.199 <sub>1</sub>	
0.75	0.25	-0.6021	16.777 <sub>1</sub>	
0.81	0.19	-0.7221	17.505 <sub>1</sub>	
0.84	0.16	-0.7958	19.294 <sub>1 2</sub>	
0.87	0.13	-0.8860	26.657 <sub>2</sub>	
0.92	0.08	-1.0969	26.922 <sub>2</sub>	
0.93	0.07	-1.1549	25.886 <sub>2</sub>	
0.97	0.03	-1.5229	49.832 <sub>2</sub>	

Lampiran 15. Hasil perhitungan air terikat sekunder pati tergelatinisasi parsial berat dengan menggunakan model analisa logaritma secara desorpsi.

aw	(1-aw)	Log (1-aw)	M (%b.k)	Parameter
0.37	0.63	-0.2006	9.189 <sub>1</sub>	$a_1 = 0.3133$ $b_1 = -0.0551$ $r_1 = -0.9600$  $a_2 = -0.1895$ $b_2 = -0.0325$ $r_2 = -0.9500$  $M_s = 22.2480$ $a_s = 0.8800$
0.43	0.57	-0.2441	9.817 <sub>1</sub>	
0.53	0.47	-0.3279	11.975 <sub>1</sub>	
0.57	0.43	-0.3665	12.155 <sub>1</sub>	
0.64	0.36	-0.4436	13.942 <sub>1</sub>	
0.69	0.31	-0.5086	15.116 <sub>1</sub>	
0.71	0.29	-0.5376	17.617 <sub>1</sub>	
0.74	0.26	-0.5850	16.783 <sub>1</sub>	
0.75	0.25	-0.6021	15.981 <sub>1</sub>	
0.81	0.19	-0.7221	17.660 <sub>1</sub>	
0.84	0.16	-0.7958	18.972 <sub>1 2</sub>	
0.87	0.13	-0.8860	25.315 <sub>2</sub>	
0.92	0.08	-1.0969	26.181 <sub>2</sub>	
0.93	0.07	-1.1549	26.594 <sub>2</sub>	
0.97	0.03	-1.5229	41.424 <sub>2</sub>	

Lampiran 16. Hasil perhitungan air terikat sekunder pati matang dengan menggunakan model analisa logaritma secara desorpsi.

aw	(1-aw)	Log (1-aw)	M (%b.k)	Parameter
0.37	0.63	-0.2006	11.107 <sub>1</sub>	$a_1 = 0.5767$ $b_1 = -0.0721$ $r_1 = -0.9700$  $a_2 = -0.5228$ $b_2 = -0.0176$ $r_2 = -0.9300$  $M_s = 20.1740$ $a_s = 0.8700$
0.43	0.57	-0.2441	10.462 <sub>1</sub>	
0.53	0.47	-0.3279	13.081 <sub>1</sub>	
0.57	0.43	-0.3665	13.150 <sub>1</sub>	
0.64	0.36	-0.4436	15.034 <sub>1</sub>	
0.69	0.31	-0.5086	15.240 <sub>1</sub>	
0.71	0.29	-0.5376	15.119 <sub>1</sub>	
0.74	0.26	-0.5850	16.855 <sub>1</sub>	
0.75	0.25	-0.6021	15.894 <sub>1</sub>	
0.81	0.19	-0.7221	17.852 <sub>1</sub>	
0.84	0.16	-0.7958	18.302 <sub>1 2</sub>	
0.87	0.13	-0.8860	28.311 <sub>2</sub>	
0.92	0.08	-1.0969	28.562 <sub>2</sub>	
0.93	0.07	-1.1549	28.223 <sub>2</sub>	
0.97	0.03	-1.5229	57.636 <sub>2</sub>	