

**KARAKTERISTIK KURVA SORPSI ISOTERMIS DAN PENDUGAAN
UMUR SIMPAN TEPUNG SAGU (*Metroxylon sagu* Rottb)
KEMASAN POLIETILEN**

**SUCIATI ADIL
G042211001**



**PROGRAM MAGISTER KETEKNIKAN PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023**

**KARAKTERISTIK KURVA SORPSI ISOTERMIS DAN PENDUGAAN
UMUR SIMPAN TEPUNG SAGU (*Metroxylon sagu* Rottb)
KEMASAN POLIETILEN**

Tesis

sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar magister

Program Studi Keteknikan Pertanian

Disusun dan diajukan oleh

SUCIATI ADIL
G042211001

kepada

**PROGRAM MAGISTER KETEKNIKAN PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023**

TESIS

KARAKTERISTIK KURVA SORPSI ISOTERMIS DAN PENDUGAAN UMUR SIMPAN TEPUNG SAGU (*Metroxylon sagu* Rottb.) KEMASAN POLIETILEN

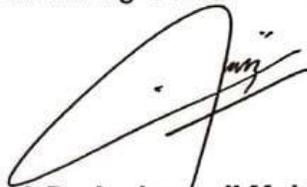
SUCIATI ADIL

G042211001

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Magister Keteknikan Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin pada tanggal 07 Juli 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

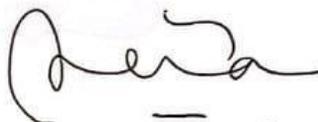
Menyetujui

Pembimbing Utama



Prof. Dr. Ir. Junaedi Muhidong
NIP. 19600101 198503 1 014

Pembimbing Pendamping



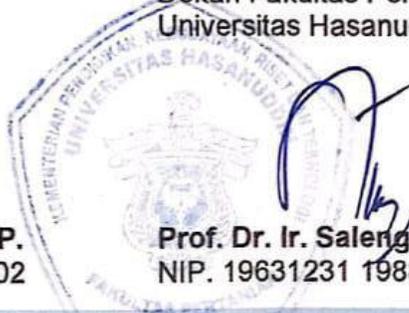
Diyah Yumeina RD, S.TP., M.Agr., Ph.D
NIP. 19810129 200912 2 003

Ketua Program Studi
Keteknikan Pertanian S2



Dr. Ir. Sitti Nur Faridah, MP.
NIP. 19681007 199303 2 002

Dekan Fakultas Pertanian
Universitas Hasanuddin



Prof. Dr. Ir. Salengke, M.Sc.
NIP. 19631231 198811 1 005

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, tesis berjudul "Karakteristik Kurva Sorpsi Isotermis Dan Pendugaan Umur Simpan Tepung Sagu (*Metroxylon sagu* Rottb) Kemasan Polietilen" adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing (Prof. Dr. Ir. Junaedi Muhidong sebagai Pembimbing Utama dan Diah Yumeina RD, S.TP., M.Agr., Ph.D sebagai Pembimbing Pendamping). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka tesis ini. Sebagian dari isi tesis ini telah dipublikasikan dengan judul "*Moisture Sorption Isotherm Characteristic of Sago Flour*".

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 7 Juli 2023



Suciati Adil

G042211001

UCAPAN TERIMAKASIH

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT., karena atas rahmat dan nikmat-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan penulisan tesis ini. Penulis menyadari bahwa terselesaikannya penulisan tesis ini bukan hanya berasal dari usaha penulis semata, tetapi juga tidak dapat lepas dari keterlibatan oleh berbagai pihak secara langsung maupun dalam bentuk moril. Oleh sebab itu, tidak ada lagi alasan penundaan bagi penulis dalam kesempatan yang sangat berharga ini untuk menyampaikan rasa terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. **Prof. Dr. Ir. Junaedi Muhidong** sebagai Pembimbing Utama dan ibu **Diyah Yumeina RD, S.TP., M.Agr., Ph.D** sebagai Pembimbing Pendamping yang tidak henti-hentinya meluangkan waktu dalam memberikan arahan, ilmu, serta masukan dalam awal pelaksanaan penelitian hingga terselesaikannya penulisan tesis ini.
2. **Prof. Dr. Ir. Salengke, M.Sc, Dr Suhardi, S.TP., MP., dan Prof Dr. Ir. Hj. Mulyati Muh Tahir, M.S.** selaku penguji pada sidang akhir saya yang telah senantiasa meluangkan waktu untuk mengevaluasi bahan tesis penelitian saya agar lebih baik.
3. **Bapak dan Ibu Dosen serta segenap staf Departemen Teknologi Pertanian** yang senantiasa memberikan ilmu pengetahuan yang bermanfaat bagi penulis selama menjalani masa studi dan senantiasa memberikan dukungan demi kelancaran segala urusan penulisan tesis ini.
4. Serta **rekan-rekan saya** yang tidak dapat saya sebutkan namanya satu per satu di sini yang telah meluangkan waktu dan tenaga untuk berbagi pikiran dan mengulurkan bantuan untuk kelancaran studi saya ini.

ABSTRAK

SUCIATI ADIL (G042211001). “Karakteristik Kurva Sorpsi Isotermis dan Pendugaan Umur Simpan Tepung Sagu (*Metroxylon sagu* Rottb) Kemasan Plastik Polietilen” dibimbing oleh JUNAEDI MUHIDONG dan DIYAH YUMEINA.

Kadar air kesetimbangan tepung sagu merupakan informasi yang cukup penting, terutama untuk memprediksi umur simpan produk yang dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti suhu, kelembaban relatif, dan kondisi pengemasan. Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari karakteristik isoterm sorpsi air dan untuk menentukan model matematis terbaik dalam memprediksi sorpsi isotermis tepung sagu dalam *range* RH yang cukup luas. Tepung sagu disimpan dalam inkubator pada kisaran kelembaban 10-80% pada suhu 30 dan 40°C. Pengaturan kelembaban dilakukan dengan menggunakan berbagai jenis larutan garam jenuh, yaitu NaOH, MgCl₂, K₂CO₃, NaNO₂, NaCl, dan KCL. Nilai kadar air kesetimbangan dan kurva sorpsi isotermis tepung sagu selanjutnya digunakan untuk menghitung umur simpannya berdasarkan ketebalan plastik kemasan yang digunakan dengan mempertimbangkan beberapa variabel dalam metode Labuza. Adapun jenis kemasan plastik yang digunakan berasal dari bahan polietilen dengan variasi ketebalan 0,03, 0,05, dan 0,08 mm. Studi ini menunjukkan bahwa semua kurva sorpsi ditemukan dalam Tipe II. Semakin tinggi nilai RH dalam inkubator, maka tingkat kadar air kesetimbangan bahan di dalamnya juga semakin tinggi. Sementara itu, kapasitas penyerapan air dalam bahan juga akan menurun seiring dengan meningkatnya suhu penyimpanan. Beberapa model matematis yang berbeda dipasangkan pada data hasil pengamatan, termasuk model Oswin, Chung-Pfost, dan Halsey. Model Chung-Pfost diidentifikasi sebagai model terbaik yang dapat mewakili data eksperimen dalam rentang aktivitas air 0,1-0,8. Sementara itu, prediksi umur simpan tepung sagu berdasarkan pendekatan Labuza menunjukkan bahwa produk dengan ketebalan kemasan polietilen 0,08 mm memiliki umur simpan paling lama. Semakin tebal kemasannya, umur simpan tepung sagu juga semakin lama, yang diakibatkan oleh nilai permeabilitas kemasan yang semakin rendah. Hal ini mendukung pernyataan bahwa permeabilitas kemasan berbanding terbalik dengan ketebalan kemasan.

Kata Kunci: Tepung sagu, kurva sorpsi isotermis, umur simpan.

ABSTRACT

SUCIATI ADIL (G042211001). “Sorption Isotherm Curve Characteristic and Shelf-life Prediction of Sago Flour (*Metroxylon sago* Rottb) Polyethylene Packaging” supervised by JUNAEDI MUHIDONG and DIYAH YUMEINA.

Knowledge of the equilibrium moisture content of sago flour is a great importance in food processing, especially in predicting product shelf-life which can be affected by temperature, relative humidity, and packaging conditions. This research was conducted to study the characteristics of water sorption isotherms, and determine the best mathematical model for predicting sago flour sorption isotherms. Sago flour was stored in an incubator at a 10-80% relative humidity in temperature of 30 and 40°C. The incubator was controlled by using various saturated salt solutions, such as NaOH, MgCl₂, K₂CO₃, NaNO₂, NaCl, and KCL. The equilibrium moisture content and sorption isotherm curve of sago flour were then used to calculate its shelf life based on various thicknesses of the packaging and by considering several variables in the Labuza method. The type of plastic packaging used was polyethylene with thickness variations of 0.03, 0.05, and 0.08 mm. This study showed that all sorption curves were found in Type II. The higher the RH value in the incubator, the higher the equilibrium moisture content in the material. Meanwhile, the water sorption capacity of the material would also decrease with the increase of storage temperature. Several different mathematical models were fitted to the observed data, including Oswin, Chung-Pfost, and Halsey models. The Chung-Pfost model was identified as the best model that could represent the experimental data in the water activity range of 0.1-0.8. The shelf-life prediction based on the Labuza approach showed that the product in polyethylene packaging with a thickness of 0.08 mm had the longest shelf-life. The thicker the packaging, the longer the shelf-life of sago flour, which was caused by the lower permeability value of packaging. This finding supports the fact that the permeability value of packaging is inversely proportional to the packaging thickness.

Keywords: *Sago flour, sorption isotherm curve, shelf-life.*

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN PENGAJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS.....	iv
UCAPAN TERIMA KASIH.....	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan dan Kegunaan.....	2
1.3 Rumusan Masalah.....	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Tanaman Sagu.....	4
2.2 Aktivitas Air.....	7
2.3 Kadar Air Kesetimbangan dan Sorpsi Isotermis.....	9
2.4 Model Persamaan Sorpsi Isotermis.....	11
2.5 Kemasan.....	12
2.6 Umur Simpan.....	13
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN.....	15
3.1 Waktu dan Tempat.....	15
3.2 Alat dan Bahan.....	15
3.3 Prosedur Penelitian.....	15
3.3.1 Persiapan Sampel Kering.....	15
3.3.2 Penentuan Pola Kurva Sorpsi Isotermis.....	16
3.3.3 Perhitungan Masa Simpan.....	18
3.4 Diagram Alir.....	21

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	24
4.1 Kadar Air Kesetimbangan dan Kurva Sorpsi Isotermis	24
4.2 Penentuan Model Terbaik	26
4.3 Umur Simpan.....	28
4.4 Analisis Data	33
4.4.1 Derajat Putih	33
4.4.2 Kadar Air	37
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	41
DAFTAR PUSTAKA	42
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Nomor urut	Halaman
1. Syarat Mutu Tepung Sagu SNI 3729:2008.....	5
2. Standar Mutu Pati Sagu (<i>Native Sago Starch</i>) SIRIM	6
3. Model yang umum digunakan untuk menyesuaikan isotherm sorpsi ...	12
4. Nilai a_w setiap larutan garam	24
5 Nilai kadar air kesetimbangan tepung sagu pada beberapa nilai a_w ...	25
6. Parameter penentuan model sorpsi isothermis terbaik tepung sagu	27
7. Permeabilitas kemasan terhadap uap air pada suhu 28°C.....	30
8. Parameter pendugaan umur simpan tepung sagu dengan pendekatan kurva sorpsi isothermis	32
9. Umur simpan tepun sagu pada berbagai ketebalan kemasan.....	33
10. Hasil uji T-Test antar variabel beda perlakuan terhadap derajat putih	36
11. Hasil uji T-Test antar variabel beda perlakuan terhadap kadar air	39

DAFTAR GAMBAR

Nomor urut	Halaman
1. Lima tipe adsorpsi isothermis <i>van der Waals</i>	8
2. Kurva sorpsi isothermis secara umum	10
3. Diagram alir persiapan sampel tepung sagu kering	21
4. Diagram alir penentuan kurva sorpsi isothermis	22
5. Diagram alir perhitungan umur simpan	23
6. Grafik kadar air kesetimbangan tepung sagu pada berbagai nilai a_w	26
7. Grafik kurva sorpsi isothermis tepung sagu berdasarkan model terbaik	28
8. Kurva sorpsi isothermis oleh model prediksi Chung-Pfost	31
9. Laju penurunan derajat putih tepung sagu selama 18 hari	34
10. Diagram total perubahan derajat putih dari hari ke 0 hingga 18.....	35
11. Laju penurunan kadar air tepung sagu selama 18 hari.....	37
12. Diagram total perubahan kadar air dari hari ke 0 hingga 18	38

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tanaman sagu bagi beberapa daerah di Indonesia sudah dijadikan sebagai sumber karbohidrat alternatif yang dapat diolah menjadi berbagai macam makanan tradisional. Di Sulawesi Selatan sendiri, penghasil sagu terbanyak berada di daerah Luwu (Kabupaten Luwu dan Kabupaten Luwu Utara). Hayati *et al.* (2014) dalam penelitiannya menyebutkan bahwa sekitar 52,46% respondennya di Luwu Utara mengaku hampir setiap hari mengkonsumsi sagu. Meskipun keputusan masyarakat untuk mengkonsumsi sagu dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti rasa, ketersediaan bahan baku, dan kebiasaan (adat istiadat), akan tetapi potensi sagu sebagai makanan pokok alternatif juga bisa semakin besar seiring bertambahnya pemahaman masyarakat terhadap kandungan dan manfaat produk pangan ini.

Berbagai penelitian mengenai tanaman sagu juga sudah banyak dilakukan pada saat ini. Hanya saja, penelitian yang ada lebih berfokus pada proses pengolahan tanaman sagu menjadi tepung sagu sebagai upaya untuk mengurangi tingkat kadar air dengan menggunakan metode pengeringan. Helmi (2021) dalam penelitiannya menyarankan suhu pengeringan 70°C dengan metode gravimetri untuk memperoleh kadar air optimal. Sementara itu, penelitian yang dilakukan oleh Jading *et al.* (2011) memperoleh suhu optimal pada rentang 57-60°C karena metode pengeringan yang digunakan adalah secara fluidisasi dengan memanfaatkan alat CFFB yang mampu mempercepat waktu pengeringan. Akan tetapi, dari berbagai penelitian tersebut belum ada yang menjelaskan mengenai kesetimbangan kadar air tepung sagu. Padahal, kesetimbangan kadar air suatu bahan pangan merupakan informasi yang tidak kalah penting, terutama dalam memprediksi umur simpan suatu produk secara akselerasi.

Penelitian mengenai umur simpan tepung sagu sendiri sudah pernah dilakukan oleh Rachmat & Istanto (2018) dan memperoleh tingkat daya simpan tepung sagu berkisar 1-3 minggu pada berbagai tingkat kadar air. Hanya saja, penelitian tersebut masih mengabaikan beberapa aspek lingkungan lain yang dapat berpengaruh terhadap masa simpannya, seperti suhu penyimpanan, tingkat kelembaban, hingga kondisi pengemasan. Untuk pendugaan yang lebih presisi

dan akurat, masa simpan tepung sagu dapat diprediksi menggunakan metode *Accelerated Life Testing* (ASLT) dengan pendekatan kurva sorpsi isothermis, yaitu kurva yang menjelaskan hubungan antara aktivitas air dan kesetimbangan kadar air bahan. Herlina *et al.* (2017) dalam penelitiannya untuk memprediksi umur simpan tepung ubi kayu termodifikasi mengemukakan bahwa keuntungan metode akselerasi ini yaitu memiliki waktu pengujian yang relatif singkat serta hasil pendugaan yang lebih tepat dan akurat. Sementara itu, untuk memperoleh informasi kurva sorpsi isothermis, ada beberapa model persamaan yang cukup baik dan cukup umum digunakan pada penelitian-penelitian yang sesuai, seperti model Oswin, Henderson, Chung-Pfost, Caurie, dan Halsey. Ketiga model ini akan digunakan untuk selanjutnya dipilih model terbaik diantaranya dalam menggambarkan pola sorpsi isothermis.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini akan dilakukan dengan mengamati perilaku penyerapan air isothermal pada tepung sagu dengan penyimpanan pada suhu 30°C dan 40°C. Hasil dari data yang diperoleh akan dimuat dalam kurva karakteristik isothermis berdasarkan model Oswin, Henderson, Chung-Pfost, Caurie, dan Halsey. Selanjutnya, informasi dari kurva isothermis tersebut akan digunakan untuk memprediksi umur simpan tepung sagu kering pada berbagai suhu penyimpanan, kelembaban, dan kemasan tertentu melalui metode *Accelerated Life Testing* (ASLT).

1.2 Tujuan dan Kegunaan

Tujuan dari penelitian ini yakni untuk mempelajari perilaku penyerapan air isothermal tepung sagu pada suhu 30°C dan 40°C melalui kurva sorpsi isothermis berdasarkan model Oswin, Henderson, Chung-Pfost, Caurie, dan Halsey. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan melakukan prediksi terhadap umur simpan tepung sagu dalam suhu, kelembaban, dan kemasan tertentu.

Adapun kegunaan dari penelitian ini, terutama bagi masyarakat dan industri, yaitu dapat menyajikan informasi mengenai kesetimbangan kadar air tepung sagu yang bermanfaat dalam menentukan waktu optimum pengeringan, jenis pengeringan yang sesuai, serta memprediksi umur simpan tepung sagu kemasan yang ada di pasaran.

1.3 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana perilaku penyerapan air isothermal tepung sagu pada penyimpanan suhu 30°C dan 40°C?
2. Bagaimana karakteristik kurva penyerapan air isothermal tepung sagu menggunakan model Oswin, Henderson, Chung-Pfost, Caurie, dan Halsey?
3. Berapa lama prediksi umur simpan tepung sagu dalam kemasan dengan pendekatan kurva Sorpsi Isotermis?
4. Bagaimana pengaruh suhu, kelembaban, dan kemasan polietilen dalam berbagai ketebalan terhadap masa simpan tepung sagu?

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanaman Sagu

Sebagai salah satu bahan pangan lokal, tanaman sagu (*Metroxylon sp.*) memiliki potensial yang cukup besar dalam bidang pangan Indonesia. Tanaman sagu sendiri dapat ditemukan di beberapa daerah, seperti Papua, Maluku, Mentawai, dan Sulawesi, dengan spesies tanaman yang pada umumnya sama. Beberapa pohon sagu di Papua perbatangnya mampu memproduksi sekitar 85-1000 kg sagu basah. Sementara itu, sagu secara garis besar dikelompokkan ke dalam dua tipe sagu, diantaranya tipe berduri (*Metroxylon rumphii* Mart) dan tipe tidak berduri (*Metroxylon sagu* Rottb), masing-masing terdiri dari 21 jenis sagu dari kedua tipenya (Yuliani, 2015).

Pati sagu memiliki bentuk seperti pati atau tepung basah. Cara memperoleh pati sagu yakni dengan proses ekstraksi dari empelur atau batang pohon sagu. Ekstraksi dilakukan dengan cara pamarutan batang atau empelur. Dalam proses ekstraksi, granula pati harus dibebaskan dari jaringan pengikatnya. Oleh karena itu, pamarutan atau penggilingan menggunakan air sebagai pelarut agar terjadi perombakan dinding sel pada sagu. Selanjutnya, pati sagu dipisahkan dari ampasnya dengan menggunakan ayakan untuk menyaring hasil parutan empelur yang telah dicampur dengan air. Hasil suspensi kemudian diendapkan dan dijemur. Pada umumnya, rendemen yang dapat dihasilkan berkisar antara 15-30%, yang mana tanaman sagu dengan kondisi terbaik dapat menghasilkan sekitar 15-25 ton pati sagu kering per hektar. Jika dibandingkan dengan bahan pokok lainnya, beberapa keunggulan sagu diantaranya dapat diolah tanpa mengenal musim serta dapat disimpan dalam jangka waktu yang cukup lama tanpa resiko terkena penyakit tanaman (Ramadhan, 2009).

Tabel 1. Syarat mutu tepung sagu SNI 3729:2008

Kriteria Uji	SNI 3729:2008	
	Satuan	Persyaratan
1. Keadaan		
1.1. Bau	-	Normal
1.2. Warna	-	Putih, khas sagu
1.3. Rasa	-	Normal (bebas dari bau asing)
1.4. Bentuk	-	Serbuk halus
2. Benda asing	-	Tidak ada
3. Serangga (dalam segala bentuk stadia dan potongan-potongan)	-	Tidak ada
4. Jenis pati lain selain pati sagu	-	Tidak ada
5. Kadar air	% (b/b)	Maks 13
6. Kadar abu	% (b/b)	Maks 0,5
7. Kadar pati	-	Min 65
8. Kadar serat kasar	% (b/b)	Maks 0,5
9. Derajat asam	ml NaOH 1N/100g	Maks 4,0
10. Residu SO ₂	mg/kg	Maks 30
11. Bahan tambahan makanan (bahan pemutih)	-	Sesuai dengan SNI 01-0222-1995
12. Kehalusan, lolos ayakan 100 mesh	% (b/b)	Min 95
13. Cemarkan logam		
13.1. Timbal (Pb)	mg/kg	Maks 1,0
13.2. Tembaga (Cu)	mg/kg	Maks 10,0
13.3. Raksa (Hg)	mg/kg	Maks 0,05
14. Cemarkan Arsen (As)	mg/kg	Maks 0,50
15. Cemarkan mikroba		
15.1. Angka lempengan total	Koloni/g	Maks 10 ⁶
15.2. <i>E.coli</i>	APM/g	Maks 10
15.3. Kapang	Koloni/g	Maks 10 ⁴

Sumber: SNI 3729:2008 (2008)

Pati sagu memiliki bentuk seperti pati atau tepung basah. Cara memperoleh pati sagu yakni dengan proses ekstraksi dari empelur atau batang pohon sagu. Ekstraksi dilakukan dengan cara pemarkutan batang atau empelur. Dalam proses

ekstraksi, granula pati harus dibebaskan dari jaringan pengikatnya. Oleh karena itu, pamarutan atau penggilingan menggunakan air sebagai pelarut agar terjadi perombakan dinding sel pada sagu. Selanjutnya, pati sagu dipisahkan dari ampasnya dengan menggunakan ayakan untuk menyaring hasil parutan empelur yang telah dicampur dengan air. Hasil suspensi kemudian diendapkan dan dijemur. Pada umumnya, rendemen yang dapat dihasilkan berkisar antara 15-30%, yang mana tanaman sagu dengan kondisi terbaik dapat menghasilkan sekitar 15-25 ton pati sagu kering per hektar. Jika dibandingkan dengan bahan pokok lainnya, beberapa keunggulan sagu diantaranya dapat diolah tanpa mengenal musim serta dapat disimpan dalam jangka waktu yang cukup lama tanpa resiko terkena penyakit tanaman (Ramadhan, 2009).

Tinggi dan rendahnya suatu mutu pangan dapat ditentukan oleh beberapa faktor. Faktor-faktor tersebut meliputi bentuk, warna, ukuran, rasa, aroma, serta masih banyak faktor lainnya. Sebagai sumber karbohidrat bagi tubuh, penggunaan sagu diharapkan mampu menjadi diversifikasi pola makanan dalam mencapai tujuan yang konsumen inginkan maupun produsen pangan. Karena itu, maka diperlukan suatu standar mutu pati sagu. Standar Nasional Indonesia (SNI) tentang standar mutu pati sagu kemudian dikeluarkan oleh Badan Standarisasi Nasional (BSN) pada tahun 1995 dan 2008, seperti yang terlihat pada Tabel 1.

Kualitas pati sagu produksi dalam negeri yang sudah memenuhi SNI pada dasarnya belum tentu memenuhi standar perdagangan yang berlaku secara internasional. SNI mengenai kualitas pati sagu sendiri dinilai relatif lebih longgar dibanding standar yang dikeluarkan oleh pemerintah Malaysia maupun standar perdagangan umum (Widaningrum dkk, 2005).

Tabel 2. standar mutu pati sagu (*Native Sago Starch*) SIRIM

Karakteristik	Persyaratan
Kadar air (%), maks.	13.0
Total abu (%b/b), maks.	0.20
pH ekstrak larutan	4.5-6.5
Serat kasar (% b/b), maks.	0.1
Viskositas (BU, suspensi 6% berat kering), maks.	600
Warna (nilai L), min.	90
Ukuran partikel (% lolos ayakan 125 atau 120 mesh), min.	99

Sumber: SIRIM Standard MS 470:1992 dalam Widaningrum (2005).

2.2 Aktivitas Air

Istilah aktivitas air (a_w) digunakan untuk menggambarkan kondisi air dalam bahan pangan. Istilah ini menunjukkan jumlah air yang tidak terikat atau bebas dalam sistem dan dapat menunjang reaksi biologis atau kimiawi. Aktivitas air merupakan faktor kunci bagi pertumbuhan mikroba, produksi racun, reaksi enzimatik, dan reaksi kimia lainnya. Air dalam bahan berperan sebagai bahan pereaksi dan pelarut dalam komponen (Fitria, 2007).

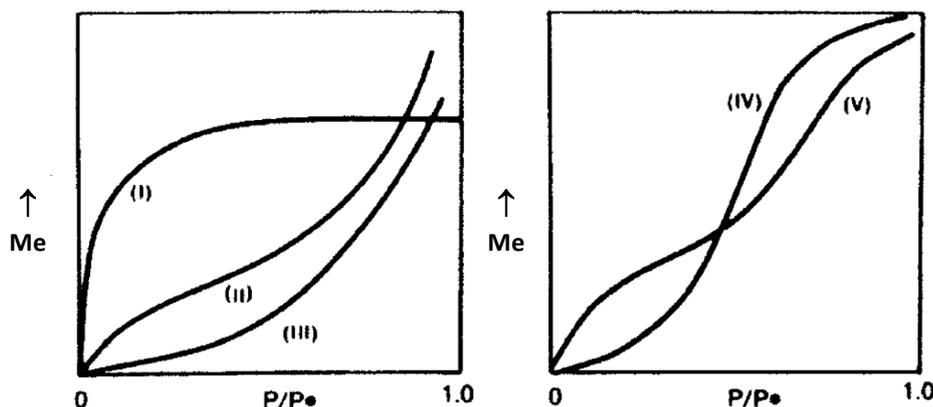
Menurut derajat keterikatannya dalam bahan pangan, air dibagi dalam empat tipe, yaitu tipe I, tipe II, tipe III, dan tipe IV. Tipe I adalah molekul air yang terikat pada molekul lain melalui suatu ikatan hidrogen yang berenergi besar, tetapi sebagian air ini dapat dihilangkan dengan cara pengeringan biasa. Tipe II merupakan molekul air yang membentuk ikatan hidrogen dengan molekul air lain yang terdapat dalam mikrokapiler. Air jenis ini lebih sukar dihilangkan dan penghilangan air tipe II akan mengakibatkan penurunan a_w . Tipe III adalah air yang secara fisik terikat dalam jaringan matriks bahan seperti membran, kapiler, serat, dan lain-lain. Air tipe III inilah yang sering disebut dengan air bebas. Air tipe ini mudah diuapkan dan dapat dimanfaatkan untuk pertumbuhan mikroba dan media bagi reaksi-reaksi kimiawi. Tipe IV adalah air yang tidak terikat dalam jaringan suatu bahan atau air murni. Apabila air dalam bahan pangan terikat kuat dengan komponen bukan air, maka air tersebut lebih sukar digunakan untuk aktivitas mikrobiologis maupun aktivitas kimia (Fitria, 2007).

Sementara itu, atas dasar adsorpsi *van der Waals* pada berbagai substrat padat, Brunauer *et al.* (1940) mengklasifikasikan isoterm adsorpsi menjadi lima tipe umum (Gambar 2). Tipe I adalah Langmuir, dan Tipe II adalah isoterm adsorpsi berbentuk Sigmoid; namun, tidak ada nama khusus yang dilampirkan pada tiga jenis lainnya. Tipe II dan III berhubungan erat dengan Tipe IV dan V, kecuali adsorpsi maksimum terjadi pada tekanan yang lebih rendah dari tekanan uap gas. Jika padatan itu berpori sehingga memiliki permukaan internal, maka ketebalan lapisan teradsorpsi pada dinding pori-pori tentu dibatasi oleh lebar pori-pori (Muhtaseb *et al.*, 2002).

Kadar air dalam bahan pangan berkaitan erat dengan daya awet produk. Pengurangan air baik dalam pengeringan atau penambahan bahan lain bertujuan untuk mengawetkan bahan pangan sehingga dapat tahan terhadap kerusakan kimiawi maupun mikrobiologi. Aktivitas air merupakan faktor penting yang mempengaruhi kestabilan makanan kering selama penyimpanan. Secara umum

dapat dikatakan bahwa kadar air dan aktivitas air sangat berpengaruh dalam penentuan umur simpan suatu produk pangan karena faktor ini akan mempengaruhi sifat fisik, sifat fisiko-kimia, perubahan-perubahan kimia, kerusakan mikrobiologis, dan perubahan enzimatik terutama pada makanan yang tidak diolah. Sifat-sifat yang dimaksud di atas diantaranya, kekerasan, kekeringan, dan pencoklatan non-enzimatik. Menurut Labuza (1982), hubungan antara aktivitas air dan mutu makanan yang dikemas adalah sebagai berikut:

1. Pada selang aktivitas air sekitar 0.7 – 0.75 atau lebih, mikroorganisme berbahaya dapat mulai tumbuh dan produk menjadi beracun.
2. Pada selang aktivitas air sekitar 0.6 – 0.7, jamur dapat mulai tumbuh.
3. Aktivitas air sekitar 0.35 – 0.5 dapat menyebabkan makanan ringan hilang kerenyahannya.
4. Pada selang aktivitas air 0.4 – 0.5, produk pasta yang terlalu kering akan mudah hancur dan rapuh selama dimasak atau karena guncangan mekanis



Gambar 1. Lima tipe adsorpsi isoteremis *van der Waals* (Muhtaseb *et al*, 2002)

Secara matematis, aktivitas air (a_w) dari suatu bahan pangan dinyatakan sebagai perbandingan antara tekanan uap air pada bahan pangan (P) dengan tekanan uap air murni (P_0) pada suhu yang sama. Persamaannya adalah sebagai berikut (Fitria, 2007):

$$a_w = \frac{P}{P_0}$$

Dalam keadaan setimbang, aktivitas air sering dihubungkan dengan kelembaban relatif keseimbangan (*equilibrium relative humidity* atau ERH) dari lingkungan, yaitu kelembaban udara saat terjadinya kadar air kesetimbangan sehingga dapat dirumuskan sebagai (Fitria, 2007):

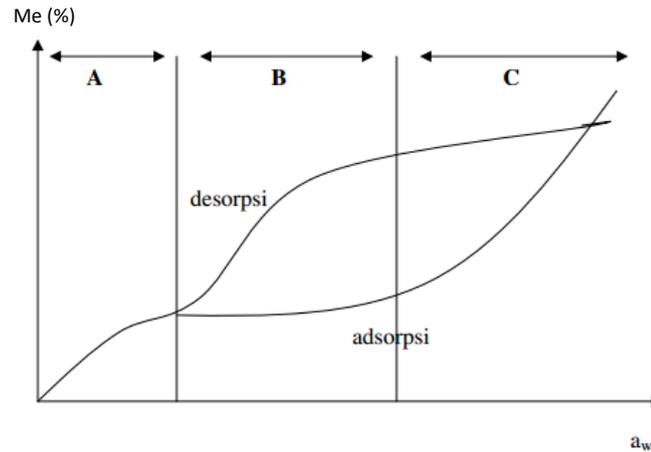
$$aw = \frac{ERH}{100}$$

Aktivitas air (aw) menunjukkan sifat bahan itu sendiri, sedangkan ERH menggambarkan sifat lingkungan di sekitarnya yang berada dalam keadaan seimbang dengan bahan tersebut. Dengan kata lain, peranan air dalam pangan biasanya dinyatakan dalam kadar air dan aktivitas air, sedangkan peranan air di udara dinyatakan dalam kelembaban relatif dan kelembaban mutlak. Bertambah atau berkurangnya kandungan air suatu bahan pangan pada suatu keadaan lingkungan sangat tergantung pada ERH lingkungannya (Fitria, 2007).

2.3 Kadar Air Keseimbangan Dan Sorpsi Isotermis

Kadar air keseimbangan adalah kadar air suatu bahan setelah berada pada kondisi lingkungannya dalam periode waktu yang lama. Pengertian lain menyebutkan bahwa kadar air keseimbangan merupakan kadar air bahan pangan ketika tekanan uap air dari bahan tersebut dalam kondisi setimbang dengan lingkungannya dimana produk sudah tidak mengalami perubahan atau pengurangan bobot produk. Pengertian ini sejalan dengan definisi lain yang juga menyebutkan bahwa kadar air keseimbangan suatu bahan adalah kadar air bahan tersebut saat tekanan uap air bahan dalam kondisi setimbang dengan lingkungannya, sedangkan kelembaban relatif pada saat terjadinya kadar air keseimbangan dinyatakan sebagai kelembaban relatif keseimbangan (*equilibrium relative humidity*). Kadar air keseimbangan penting untuk menentukan bertambah atau berkurangnya kadar air bahan pada kondisi suhu tertentu. Jika kelembaban relatif udara lebih tinggi dibandingkan kelembaban relatif bahan pangan maka bahan tersebut akan menyerap air (adsorpsi). Sebaliknya jika kelembaban relatif udara lebih rendah dari kelembaban relatif bahan maka bahan akan menguapkan air yang dikandungnya (desorpsi) (Fitria, 2007).

Gambar 3 menjelaskan bahwa kurva sorpsi isothermis ini dapat dibagi menjadi beberapa bagian tergantung dari keadaan air dalam bahan pangan tersebut. Daerah A menyatakan adsorpsi air bersifat satu lapis adsorpsi molekul air (*monolayer*), daerah B menyatakan terjadinya penambahan lapisan-lapisan di atas satu lapis molekul air (*multilayer*) dan daerah C merupakan daerah dimana kondensasi air pada pori-pori bahan mulai terjadi (Fransisca, 2010).



Gambar 2. Kurva sorpsi isotermis secara umum (Fransisca, 2010)

Penentuan kadar air kesetimbangan dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu metode statis dan metode dinamis. Berdasarkan metode statis, kadar air kesetimbangan bahan diperoleh pada keadaan udara diam dengan cara meletakkan sampel dalam tempat yang kondisi suhu dan RH-nya terkontrol. Metode statis biasanya digunakan untuk keperluan penyimpanan karena pada umumnya udara di sekitar bahan relatif tidak bergerak (diam). Pada metode statis, tercapainya kadar air kesetimbangan ditandai dengan konstannya bobot bahan. Bobot bahan dikatakan konstan apabila selisih bobot antara tiga kali penimbangan berturut-turut tidak lebih dari 2 mg/g untuk kondisi $RH \leq 90\%$ dan tidak lebih dari 10 mg/g untuk kondisi $RH > 90\%$ (Fransisca, 2010).

Lain halnya dengan metode dinamis, kadar air kesetimbangan diperoleh ketika bahan diletakkan pada kondisi udara bergerak. Metode ini digunakan pada proses pengeringan. Pergerakan udara dibutuhkan untuk mempercepat pengeringan dan menghindari penjejukan uap air di sekitar bahan (Fransisca, 2010).

Pengetahuan tentang sorpsi isotermis suatu bahan pangan akan sangat membantu sekali dalam penentuan jenis pengemas yang dibutuhkan dan memprediksikan karakteristik kondisi penyimpanan yang sesuai serta masa simpannya, sehingga pertumbuhan mikroba yang sering menyebabkan kerusakan bahan pangan dapat dihindari. Selain itu berguna juga untuk menghitung waktu pengeringan, memprediksikan kondisi keseimbangan dalam suatu campuran produk dengan nilai a_w yang berbeda (Fitria, 2007).

2.4 Model Persamaan Sorpsi Isothermis

Model matematika mengenai kadar air kesetimbangan atau sorpsi isothermis telah banyak dikemukakan oleh para ahli baik secara teoritis, semi teoritis, maupun empiris. Namun model matematik yang dikembangkan pada umumnya tidak dapat mencakupi keseluruhan kurva sorpsi isothermis dan hanya dapat memprediksi kurva sorpsi isothermis pada salah satu dari ketiga daerah sorpsi isothermis. Selain itu penggunaan model sorpsi isothermis juga sangat tergantung dari tujuan pemakai, misalnya jika ingin mendapatkan kemulusan kurva yang tinggi maka model yang sederhana dan lebih sedikit jumlah tetapannya yang dievaluasi akan lebih mudah penggunaannya (Fransisca, 2010).

Beberapa kendala yang sering dihadapi dalam menyusun suatu persamaan yang dapat menjelaskan kurva sorpsi isothermis pada keseluruhan selang a_w yang ada dan dapat diplikasikan untuk berbagai jenis bahan, yaitu (Fransisca, 2010):

1. Perubahan a_w pada bahan pangan dipengaruhi oleh kombinasi berbagai macam faktor yang masing-masing mendominasi dalam selang-selang a_w yang berbeda.
2. Sorpsi isothermis suatu bahan pangan menggambarkan kemampuan higroskopis yang kompleks dan dipengaruhi oleh interaksi baik fisik maupun kimia antara komponen-komponen bahan pangan tersebut yang diinduksi oleh proses pemanasan atau perlakuan awal lainnya.
3. Pada saat bahan pangan menyerap air dari lingkungannya, bahan pangan tersebut umumnya akan mengalami perubahan baik perubahan fisik, kimia, dan lainnya.

Ada lebih dari 200 model sorpsi isothermis produk tersedia, namun tidak ada satu pun model yang mampu menggambarkan dengan baik untuk seluruh produk pangan dengan kisaran RH dan suhu yang luas. Ketepatan setiap model tergantung pada kisaran nilai a_w dan jenis bahan penyusun produk pangan tersebut (Fransisca, 2010).

Ada banyak model dalam berbagai literatur untuk menggambarkan kondisi isothermal penyerapan air pada produk-produk pangan. Meskipun demikian, beberapa model juga sudah banyak digunakan dan diterapkan oleh peneliti. Adapun beberapa model yang cukup sering digunakan dalam hal ini dapat dilihat pada tabel 2 (Sormoli and Langrish, 2014).

Tabel 3. Model yang umum digunakan untuk menyesuaikan isoterm sorpsi

Name of the model	Equation
GAB (Guggenheim–Andersen–de Boer)	$X_e = \frac{X_m \cdot c \cdot k \cdot a_w}{(1-k \cdot a_w)(1-k \cdot a_w + c \cdot k \cdot a_w)}$
BET	$X_e = \frac{X_m \cdot c \cdot a_w}{[(1-a_w) + (c-1) \cdot (1-a_w) \cdot a_w]}$
Halsey	$X_e = \left(-\frac{A}{\ln a_w} \right)^{\frac{1}{B}}$
Peleg	$X_e = A \cdot a_w^B + C \cdot a_w^D$
Oswin	$X_e = A \cdot \left(\frac{a_w}{1-a_w} \right)^B$
Caurie	$X_e = \exp(A + B \cdot a_w)$
Iglesias and Chirife	$X_e = A + B \cdot \left(\frac{a_w}{1-a_w} \right)$
Smith	$X_e = A - B \cdot (\ln(1 - a_w))$
White and Eiring	$X_e = \frac{1}{(A+B \cdot a_w)}$
Henderson	$a_w = 1 - \exp(-B \cdot X_e^A)$
Kuhn	$X_e = \frac{A}{\ln a_w} + B$

Sumber: Sormoli and Langrish (2014).

Keterangan:

X_e = Kadar air kesetimbangan (%),

A = Nilai kontanta,

B = Nilai konstanta.

a_w = Aktifitas air atau RH (%).

2.5 Kemasan

Pengemasan merupakan salah satu cara untuk mempertahankan kesegaran dan kualitas bawang daun sehingga nilai jual tetap tinggi. Pengemasan yang baik dapat memberikan daya tarik tersendiri bagi konsumen, memudahkan penyimpanan, memudahkan saat penataan pemasaran terutama penataan di supermarket. Oleh karena itu, produk pasca panen memerlukan penanganan khusus oleh industri maupun masyarakat (konsumen) untuk melindungi produk dari kerusakan dan memperpanjang masa simpan (Saragih, 2016).

Penggunaan plastik sebagai bahan kemasan dapat memperpanjang masa simpan produk segar, terutama produk hortikultura, dimana kemasan plastik memberikan perubahan gas-gas atmosfer dalam kemasan itu sendiri yang berbeda dengan atmosfer udara normal yang mana dapat memperlambat perubahan fisiologis yang berhubungan dengan pemasakan dan pelayuan. Pemilihan ketebalan kemasan plastik adalah hal yang kritis karena berhubungan dengan permeabilitas terhadap O₂, CO₂, dan uap air, yang artinya sebagai salah

satu cara untuk mempertahankan kelembaban udara sekitar produk (Saragih, 2016).

Plastik sendiri sampai sekarang masih banyak digunakan karena merupakan bagian yang sangat penting dalam industri pengemasan. Plastik polietilen (PE) jenis LDPE dan plastik polipropilen (PP) merupakan jenis pengemas plastik fleksibel yang paling umum ditemukan dan memiliki sifat ketahanan yang baik terhadap air, kuat, ringan, penahan oksigen yang cukup baik, transparan, harganya relatif murah, dan mudah diperoleh dipasaran (Lobo dkk, 2017).

Polietilen merupakan bahan kemasan yang penting karena harganya relatif murah, kuat, transparan dan mudah direkatkan atau dibentuk dengan panas. Polietilen dibedakan atas polietilen berkerapatan tinggi dan polietilen berkerapatan rendah. Polietilen berkerapatan tinggi mempunyai sifat permeabilitas rendah dan stabilitas tinggi terhadap panas, biasanya untuk kemasan yang bersifat kaku. Polietilen berkerapatan rendah sangat fleksibel pembentukan dan penggunaannya sehingga baik untuk kemasan sebagai kantong (Septianingrum, 2008).

Polietilen dibuat dengan cara polimerisasi dari gas etilen yang merupakan hasil samping dari industri minyak dan batu bara. Polietilen densitas rendah (PEDR) dihasilkan dari proses polimerisasi pada tekanan tinggi. Polietilen densitas rendah adalah bahan yang bersifat kuat, agak tembus cahaya, fleksibel dan permukaannya terasa agak berlemak. Pada suhu kurang dari 60°C, sangat resisten terhadap sebagian besar senyawa kimia. Diatas suhu tersebut polimer ini menjadi larut dalam pelarut hidrokarbon dan hidrokarbon klorida. Daya proteksinya terhadap uap air tergolong baik, namun kurang baik bagi gas-gas yang lain seperti oksigen (Septianingrum, 2008).

Polietilen densitas tinggi (PEDT) yang dihasilkan dengan polimerisasi pada tekanan dan suhu rendah (50°C-75°C) memakai katalisator Ziegler, sifat lebih kaku, lebih keras, kurang tembus cahaya, dan kurang terasa berlemak. Plastik ini mempunyai daya tahan lebih baik terhadap minyak dan lemak, titik lunak lebih tinggi, akan tetapi daya tahan terhadap pukulan (impact) dan permeabilitas uap airnya lebih rendah (Septianingrum, 2008).

2.6 Umur Simpan

Secara umum penentuan umur simpan atau *shelf life* dapat dilakukan dengan menggunakan metode *Extended Storage studies* (ESS). Pengujian umur simpan dengan metode *Accelerated Storage Shelf Life* atau biasa disebut dengan metode

ASLT dilakukan dengan cara menyimpan produk pada kondisi lingkungan yang bisa mempercepat penurunan kualitas produk (suhu, RH). Periode pengujian dengan metode ini bisa dilakukan dengan lebih cepat dengan nilai keakuratan yang relatif tinggi (Asiah *et al.*, 2018).

Tingkat keakuratan perhitungan umur simpan dapat dilihat dari seberapa besar penyimpangan data ESS dengan ASLT. Sebelum menggunakan metode ASLT, perlu ditetapkan beberapa asumsi dan parameter yang mendukung model. Penentuan umur simpan produk dengan metode ASLT dapat dilakukan dengan melakukan beberapa pendekatan, yaitu pendekatan kadar air kritis yang memperhatikan kriteria produk yang kadaluarsa dan pendekatan semi empiris dengan persamaan *Arrhenius* (Asiah *et al.*, 2018).

a. Pendekatan kadar air kritis

Model pendugaan umur simpan dengan metode ini tepat jika digunakan pada produk yang sensitif atau mudah mengalami kerusakan karena penyerapan air pada produk pangan. Parameter penurunan kualitas produk dapat dilihat dari nilai kadar air, tingkat kerenyahan, kelengketan atau parameter air yang menunjukkan adanya penyerapan air pada produk pangan. Umur simpan produk dengan menggunakan pendekatan kadar air kritis dapat diprediksi dengan menggunakan persamaan Labuza (Asiah *et al.*, 2018).

b. Pendekatan rumus *Arrhenius*

Model pendekatan pendugaan umur simpan dengan metode empiris persamaan *Arrhenius* biasanya tepat digunakan untuk produk produk yang mudah rusak diakibatkan terjadinya reaksi kimia (reaksi oksidasi, reaksi maillard, denaturasi protein dan lainnya). Secara umum, reaksi kimia dapat terjadi lebih cepat terjadi ketika terjadi peningkatan suhu. Persamaan *Arrhenius* mampu menggambarkan korelasi antara perubahan parameter kualitas produk terhadap suhu penyimpanan untuk memprediksi percepatan kerusakan produk ketika disimpan di suhu yang lebih ekstrim. Untuk mendapatkan korelasi yang tepat, setidaknya diperlukan 3 suhu penyimpanan produk dan dengan rentang waktu pengujian minimal 5 titik, yaitu 1 titik awal penyimpanan, 3 titik tengah penyimpanan dan 1 titik akhir dimana produk diduga telah mengalami kerusakan (Asiah *et al.*, 2018).