

**MODEL PENGERINGAN DAN SIFAT ISOTERMIS TEPUNG LIMBAH  
PONGASI (MINUMAN FERMENTASI BERAS KHAS SUKU TOLAKI)**



**SALEH ALI AHFI  
G042222001**



**MAGISTER KETEKNIKAN PERTANIAN  
FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2024**

**TESIS**

**MODEL PENGERINGAN DAN SIFAT ISOTERMIS  
TEPUNG LIMBAH PONGASI (MINUMAN FERMENTASI  
BERAS KHAS SUKU TOLAKI)**



**Oleh:**

**SALEH ALI AHFI**

**NIM. G042222001**

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

**2024**

**MODEL PENGERINGAN DAN SIFAT ISOTERMIS  
TEPUNG LIMBAH PONGASI (MINUMAN FERMENTASI  
BERAS KHAS SUKU TOLAKI)**

**TESIS**

diajukan untuk memenuhi salah satu syarat untuk  
menyelesaikan studi pada Magister Keteknikan Pertanian



Disusun Oleh:

**SALEH ALI AHFI**

**NIM. G042222001**

**MAGISTER KETEKNIKAN PERTANIAN  
FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2024**

**Model Pengeringan dan Sifat Isotermis Tepung Limbah Pongasi  
(Minuman Fermentasi Beras Khas Suku Tolaki)**

**SALEH ALI AHFI**

**G042222001**

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian Magister pada 30 April 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Program Studi Magister Keteknikan Pertanian  
Fakultas Pertanian  
Universitas Hasanuddin  
Makassar

Mengesahkan:

**Pembimbing Utama**

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

**Pembimbing Pendamping**

Dr. rer. nat. Olly Sanny Hutabarat, STP., M.Si.  
NIP. 19790513 200912 2 003

**Ketua Program Studi**

Dr. Iqbal, S.T.P., M.Si.  
NIP. 19781225 200212 1 001



**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 “Model Pengeringan Dan Sifat Isotermis Tepung Limbah Pongasi (Minuman Fermentasi Beras Khas Suku Tolaki)” adalah benar karya saya dengan arahan dari Prof. Dr. Ir. Salengke, M.Sc. dan Dr. rer. nat. Olly Sanny Hutabarat, S.T.P., M.Si. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apapun pada perguruan tinggi manapun. 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 dipublikasikan dalam *Cabrea Journal* sebagai artikel berjudul “*Drying Characteristic and Sorption Isotherm of Solid Waste From Rice Fermentation*”. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

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



Makassar, 30 April 2024

*Saleh*  
SALEH ALI AHFI  
G042222001

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Sang Pencipta **Allah Subhanahu Wata'ala** yang telah mencurahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis ini dengan baik. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan dan penyelesaian Tesis ini tidak terlepas dari keterlibatan berbagai pihak baik secara langsung maupun dalam bentuk moril. Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan permohonan maaf, terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada yang terhormat:

1. **Kedua Orang Tua, Istri, Anak dan saudara/saudari** yang telah memberikan motivasi dalam penyelesaian Tesis ini.
2. **Prof. Dr. Ir. Salengke, M.Sc.** selaku ketua komisi pembimbing atas bimbingan, arahan, masukan, teladan, perhatian, nasehat, kesempatan dan waktunya yang telah dicurahkan selama proses penyusunan tesis mulai dari awal hingga selesai.
3. **Dr. rer. nat. Olly Sanny Hutabarat, S.T.P., M.Si** selaku anggota komisi pembimbing atas dukungan arahan, masukan, support, dan motivasinya yang senantiasa memberikan masukan dalam penyusunan Tesis ini.
4. **Prof. Dr. Ir. Mursalim, IPU, ASEAN, Eng., Dr. Abdul Aziz, S.T.P., M.Si dan Diyah Yumeina R.D, S.T.P., M. Agr., Ph.D.** selaku dosen penguji yang senantiasa memberikan arahan, saran dan masukan untuk perbaikan tesis ini.
5. Bapak Ibu Dosen dan Staff Departemen Teknologi Pertanian atas supportnya selama penelitian dan penyusunan tesis ini.
6. Teman-teman seperjuangan S2 Kak Kartini, Kak Irma Amaliyah Indriyani, Kak A. Andry Juniawan Amal dan Saudari Asnidar Mastam yang telah memberikan banyak pengalaman hidup, berbagi kisah dan telah membantu dalam penyelesaian tesis ini baik tenaga, ide dan doa.

Semoga Allah SWT senantiasa membalas kebaikan mereka dengan kebaikan dan pahala yang berlipat ganda, Aamiin.

### **Abstract**

**SALEH ALI AHFI.** “Model Pengeringan dan Sifat Isotermis Tepung Limbah Pongasi (Minuman Fermentasi Beras Khas Suku Tolaki)”. (Dibimbing Oleh **Prof. Dr. Ir. Salengke, M.Sc.** and **Dr. rer. nat. Oly Sanny Hutabarat, STP., M.Si.**).

Keragaman budaya merupakan bagian dari kearifan lokal bangsa Indonesia salah satunya yaitu pangan. Salah satu suku di Indonesia yang memiliki kearifan lokal dibidang pangan yaitu suku Tolaki asal Sulawesi Tenggara dengan pangan kebanggaan yaitu Pongasi. Pongasi merupakan minuman beralkohol berasal dari beras yang difermentasi dalam wadah kedap udara. Dalam proses produksi pongasi akan menghasilkan limbah yang umumnya langsung dibuang, namun limbah pongasi memiliki potensi sebagai tepung beras modifikasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik pengeringan limbah padat pongasi dengan tiga suhu ( $40^{\circ}$ ,  $50^{\circ}$  dan  $60^{\circ}$  C), kecepatan udara 1 m/s. Hasil Penelitian menunjukkan Karakteristik pengeringan limbah padat pongasi memperlihatkan kurva fase falling rate period tanpa melalui fase constant period. Diffusivitas Air Effektif pengeringan limbah padat pongasi memperlihatkan nilai yang besar berkisar  $5,810 \times 10^{-7}$  sampai  $1,433 \times 10^{-6}$ . Rasio kadar air dapat dimodelkan dengan baik maenggunakan 3 model (Newton, Page dan Henderson/Pabis), namun model terbaik diantara ketiganya adalah model Page. Karakteristik sifat isotermis dari tepung limbah pongasi memperlihatkan jenis kurva sigmoid. Model sorpsi isotermis tepung limbah padat pongasi terbaik adalah model Chung Pfost pada suhu  $30^{\circ}$ C dan model Oswin suhu  $40^{\circ}$ C.

Kata Kunci: Limbah Pongasi, Model Pengeringan, Sifat Isotermis.

### **Abstract**

**SALEH ALI AHFI.** *“Drying Model and Sorption Isotherm of Pongasi Waste Flour (Alcoholic Drink made of fermentation of rice)”*. (Supervised by **Prof. Dr. Ir. Salengke, M.Sc.** and **Dr. rer. nat. Olly Sanny Hutabarat, STP., M.Si.**).

*Many traditional foods in Indonesia have cultural value because they become part of tradition. People of Tolaki tribe from Southeast Sulawesi has such food which they call Pongasi. Pongasi is an alcoholic drink made from fermentation of rice in an airtight container. The pongasi production process, produces solid waste that generally disposed. The solid waste has the potential to be used as modified rice flour because it has gone through a fermentation process which reduces sugar in the rice. This study aims to drying characteristic and sorption isotherm of pongasi. Determine drying was conducted using a Batch Dryer at three temperatures (40°, 50° and 60° C) and at air velocity of 1 m/s. The results showed that the drying characteristics of pongasi solid waste was solely in the falling rate period without presence of a constant period. The effective water diffusivity during drying varied from  $5.810 \times 10^{-7}$  to  $1.475 \times 10^{-6}$ . Moisture ratio can be well modeled using 3 models (Newton, Page and Henderson/Pabis), but the best model was Page model. The isothermic characteristics of Pongasi waste flour show a sigmoid curve. The best isothermic sorption model for Pongasi solid waste flour was the Chung Pfof model at storage temperature of 30° C and the Oswin model at storage temperature of 40° C.*

*Keywords: Pongasi Solid Waste, Drying Model, Sorption Isotherm*



## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN SAMPUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN .....</b>	<b>iv</b>
<b>UCAPAN TERIMA KASIH .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vi</b>
<b><i>ABSTRACT</i> .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xii</b>
<b>I. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
A. Tepung .....	3
B. Tepung Termodifikasi .....	8
C. Fermentasi .....	9
D. Pengeringan .....	11
E. Alat Pengering <i>Batch Dryer</i> .....	17
F. Model Pengeringan .....	18
G. Sifat Isotermis .....	20
H. Rumusan Masalah .....	23
I. Tujuan dan Manfaat .....	24
J. Kerangka Pikir .....	24
<b>III. METODE PENELITIAN.....</b>	<b>25</b>
A. Lokasi dan Waktu Penelitian.....	25
B. Alat dan Bahan .....	25
C. Prosedur Penelitian .....	26
D. Parameter Pengamatan .....	28
E. Diagram Alir Penelitian .....	32
F. Layout Alat Pengering <i>Batch Dryer</i> .....	33
<b>III. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>34</b>
A. Pengeringan Limbah Padat Pongasi .....	34
1. Kadar Air .....	34
2. Laju Pengeringan .....	37
3. Moisture Rasio (MR) .....	39

4. Difusivitas Air Efektif .....	41
5. Model Pengeringan .....	43
B. Sifat Isotermis Tepung Limbah Padat Pongasi .....	47
1. Pengaruh Suhu dan RH terhadap Kadar Air .....	47
2. Model Sifat Isotermis .....	53
<b>V. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>57</b>
A. Kesimpulan .....	57
B. Saran .....	57
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>58</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>65</b>

## DAFTAR TABEL

	Halaman
1. Standar Mutu Tepung Beras No. 3549:2009 .....	5
2. Kandungan Gizi Beras.....	6
3. Kandungan Gizi Tepung Termodifikasi.....	8
4. Kandungan Gizi Tepung Limbah Pongasi.....	9
5. Model Matematika Pengeringan .....	19
6. Model Matematika Sifat Isotermis.....	21
7. Hasil Analisis Persamaan Difusivitas Air Efektif.....	41
8. Hasil Analisis Model Pengeringan .....	44
9. Nilai $R^2$ , MSE dan RMSE .....	44
10. Kadar Air bb (%) Penyimpanan Suhu 30 ° C .....	47
11. Kadar Air bb (%) Penyimpanan Suhu 40 ° C .....	48
12. Kadar Air bk (%) Penyimpanan Suhu 30 ° C .....	48
13. Kadar Air bk (%) Penyimpanan Suhu 40 ° C .....	48
14. Konstanta dan $R^2$ Model Isotermis Suhu 30° C.....	53
15. Konstanta dan $R^2$ Model Isotermis Suhu 40° C .....	54

**DAFTAR GAMBAR**

	Halaman
1. Tepung .....	4
2. Jalur Fermentasi .....	10
3. <i>Batch Dryer</i> .....	18
4. Jenis Kurva Sorpsi Isotermis .....	22
5. Jenis Kurva Sorpsi Isotermis Breaneur .....	23
6. Kerangka Pikir.....	24
7. Diagram Alir Pnelitian .....	32
8. Layout <i>Batch Dryer</i> .....	33
9. Grafik Pengeringan suhu 40°C, 50°C dan 60°C .....	35
10. Grafik Laju Pengeringan .....	38
11. Grafik MR.....	40
12. Grafik MR Prediksi .....	46
13. Grafik Kadar Air bk (%) Sifat Isotermis .....	51
14. Eksperimen Model Isotermis .....	55

**DAFTAR LAMPIRAN**

	Halaman
1. Pengeringan Suhu 40° C.....	65
2. Pengeringan 50 ° C.....	83
3. Pengeringan 60 ° C.....	95
4. Kesesuaian Model Pengeringa .....	104
5. Kadar Air Sifat Isotermis Tepung .....	105
6. Model Isotermis .....	109
7. Dokumentasi .....	113
8. Riwayat Hidup.....	117
9. Grafik Pengeringan suhu 40°C, 50°C dan 60°C .....	35

## BAB I. PENDAHULUAN

Keragaman berbagai jenis pangan yang memiliki nilai budaya menjadi bagian dari kearifan lokal bangsa Indonesia. Kearifan lokal pangan Indonesia merupakan warisan budaya yang diwariskan secara turun-temurun yang terbentuk dari berbagai aspek kehidupan masyarakat yang mencakup penggunaan bahan alami, teknik-teknik pengolahan tradisional, serta sistem pertanian yang ramah lingkungan (Suryaningsih dan Saraswati, 2020). Kearifan lokal pangan sebagai sumber daya yang sangat berharga dan dapat menjadi basis pengembangan sistem pangan berkelanjutan dalam mencapai ketahanan pangan nasional.

Salah satu suku di Indonesia yang memiliki kearifan lokal dibidang pangan yaitu suku Tolaki asal Sulawesi Tenggara dengan pangan kebanggaan bernama pongasi. Pongasi merupakan minuman khas suku Tolaki yang biasa dikonsumsi dalam berbagai acara adat seperti acara pernikahan dimana akan dilakukan persulangan atau meminum pongasi bersama antara tokoh adat perwakilan (*tolea*) pengantin pria dan wanita sebagai simbol bahwa mahar telah diterima oleh pihak mempelai wanita.

Pongasi adalah minuman hasil fermentasi dari beras setengah matang dengan memakai ragi NKL (disebut *Otulu* dalam budaya Tolaki) dengan kandungan mikroorganisme *Amylomyces* sp., *Aspegilus* sp., *Mucor* sp., *Saccharomyces*

sp. dan *Candida* sp (Winarni, 1998) yang akan disimpan dalam wadah kedap udara selama 3-7 hari. Dalam proses produksi pongasi akan menghasilkan limbah yang umumnya akan langsung dibuang, namun limbah pongasi memiliki potensi yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku alternatif dalam upaya diversifikasi pangan lokal dan menghasilkan produk lain yang dapat bernilai ekonomi.

Salah satu produk yang dapat dihasilkan dari diversifikasi limbah pongasi adalah tepung. Tepung dari limbah pongasi dapat diklasifikasikan sebagai tepung beras termodifikasi karena melalui proses fermentasi. Berdasarkan penelitian tentang tepung termodifikasi dengan fermentasi yang telah dilakukan terjadi perubahan nilai fisikokimia seperti pada beberapa penelitian berikut diantaranya Modifikasi Beras dengan Menggunakan Konsentrasi Asam Laktat Berbeda (Rossa *et al.*, 2015) dan Karakteristik Fisik dan Sensoris Tepung Tape Beras Hitam Berdasarkan Variasi Pengolahan dan Konsentrasi Ragi (Sulistyo *et al.*, 2018). Tepung limbah pongasi dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam pembuatan makanan misalnya *cookies*, *brownies*, *muffin*, tart, mie, bolu dan lainnya.

Proses pembuatan tepung limbah pongasi tidak lepas dari proses pengeringan sehingga perlunya kajian lebih lanjut mengenai karakteristik pengeringan. Setelah limbah pongasi telah kering dan telah melewati proses penepungan

umumnya langsung dilakukan penyimpanan sehingga perlunya kajian lebih lanjut mengenai terkait sifat isothermis tepung limbah pongasi. Hal tersebut yang menjadi latar belakang penulis melakukan penelitian tesis yang berjudul “Model Peningkatan dan Sifat Isothermis Tepung Limbah Pongasi (Minuman Fermentasi Beras Khas Suku Tolaki)”.

### **A. Tepung**

Tepung adalah bahan pangan yang dihasilkan dari penggilingan biji-bijian, umbi-umbian dan sebagainya hingga menjadi partikel-partikel halus dengan ukuran tertentu. Umumnya tepung memiliki karakteristik fisik dan kimia yang berbeda tergantung pada bahan baku yang digunakan. Tepung biasanya digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan berbagai produk pangan seperti roti, mie, biskuit dan sebagainya (Siswanto *et al.*, 2019). Jenis tepung yang paling sering digunakan dalam berbagai macam pembuatan pangan yaitu terigu, berdasarkan data yang diterbitkan oleh Badan Pusat Statistik (BPS) pada bulan Januari hingga November 2022 menunjukkan total impor gandum Indonesia mencapai 8,43 juta ton dimana gandum merupakan bahan utama dalam pembuatan tepung terigu.





Gambar 2. Tepung  
(Sumber : Mahanani, 2020)

Menurut Gunawan (2020) ada beberapa faktor yang menyebabkan ketergantungan terhadap tepung terigu antara lain: (1) pertumbuhan industri makanan yang berbanding lurus dengan kebutuhan akan tepung terigu misalnya industri roti dan mie, (2) tepung terigu yang diimpor di Indonesia dapat diperoleh dengan harga yang lebih murah dibandingkan dengan tepung beras atau tepung jagung, (3) makanan yang berbasis tepung terigu merupakan bagian dari kebiasaan masyarakat Indonesia. Sehingga perlunya upaya dalam mempromosikan penggunaan tepung alternatif misalnya tepung beras.

Badan Standarisasi Nasional (BSN) melalui SNI 3549-2009 syarat mutu ditentukan dari karakteristik yang mencakup keadaan (tekstur, aroma, warna), kadar air, kadar abu, keasaman (pH), keberadaan benda asing/serangga dan campuran pati jenis lain selain pati beras. Standar mutu dari tepung beras tersaji pada Tabel 1.

Tabel 1. Standar Mutu Tepung Beras No. 3549:2009

<b>Kriteria</b>	<b>Persyaratan</b>
Tekstur	serbuk halus
Aroma	Normal
Warna	putih, khas tepung beras
Air	maks 13%
Abu	maks 1%
Benda Asing	tidak ada
Serangga	tidak ada
Jenis peti lain selain pati beras	tidak ada
Ayakan	80 mesh
Ph	5-7

**Sumber : Badan Standarisasi Nasional (2009).**

### **1. Beras**

Berdasarkan data dari FAO (*Food and Agriculture Organization of The United Nations*) menunjukkan bahwa pada tahun 2021, China, India, Indonesia, Bangladesh dan Vietnam merupakan lima negara dengan produksi beras terbesar didunia dengan total produksi 368 juta ton. Berdasarkan data BPS produksi padi 54,75 juta ton yang terjadi kenaikan 0,61 % dibanding tahun 2021 sebesar 54,42 juta ton. Menurut Yuliana *et al.*, (2016) bahwa tepung beras mengandung vitamin B kompleks, asam folat, magnesium dan fosfor. Kandungan serat pada tepung

beras juga relatif tinggi sehingga dapat membantu menjaga kesehatan pencernaan. Selain itu, tepung beras memiliki potensi sebagai bahan pangan fungsional karena patinya yang tinggi dapat membantu dalam mengontrol gula darah dan kolesterol dalam tubuh. Adapun kandungan gizi dari beras dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kandungan Gizi Beras

No.	Zat Gizi	Satuan	Kandungan (per 100 gr)
1.	Air	%	11,51 - 12,86
2.	Abu	%	0,50 - 0,80
3.	Lemak	%	0,53 - 0,88
4.	Protein	%	6,47 - 7,56
5.	Karbohidrat	%	77,73 - 80,31
6.	Serat Kasar	%	0,38 - 0,80
7.	Kalsium	Mg	2,61 - 8,09
8.	Magnesium	Mg	27,94 - 45,70
9.	Natrium	Mg	1,57 - 4,69
10.	Kalium	Mg	48,33 - 112,24
11.	Besi	Mg	0,16 - 0,51
12.	Tembaga	Mg	0,08 - 0,20
13.	Seng	Mg	0,61 - 1,19

Sumber : Lestari *et al.*, (2020).

Berdasarkan penjelasan tersebut maka beras memiliki potensi untuk dapat dijadikan sebagai tepung substitusi terigu untuk beberapa produk yang tidak

memerlukan gluten seperti pada penelitian Wijaya *et al.*, (2017) bahwa tepung beras dapat digunakan sebagai bahan baku substitusi dalam pembuatan *cookies*. Potensi tersebut dapat berjalan lancar jika didukung dengan ketegasan dan kebijakan pemerintah tentang pembatasan impor.

## **2. Pongasi**

Pongasi adalah salah satu minuman tradisional fermentasi beras putih dengan ragi (yeast) khas masyarakat Tolaki di Sulawesi Tenggara yang biasa disajikan dalam berbagai kegiatan budaya (Udu, 2018). Selain itu, pongasi sering dijadikan sebagai salah satu mata pencaharian khususnya perempuan dalam membantu perekonomian keluarga dengan menjual pongasi, namun penjualan pongasi harus dilakukan secara sembunyi-sembunyi yang disebabkan adanya larangan dari pihak kepolisian yang menganggap sebagai minuman keras yang mengandung alkohol yang dapat memabukkan dan dianggap ilegal karena tidak memiliki pita bea cukai sebagai dasar penjualan minuman beralkohol (Syamsumarlin, 2012).

Limbah padat yang dihasilkan dari pembuatan pongasi memiliki potensi dalam pembuatan tepung termodifikasi dimana karakteristik yang dihasilkan akan berbeda jika dibandingkan dengan tepung beras tanpa modifikasi, hal tersebut terjadi karena pada saat proses

fermentasi bahan terjadi berbagai perombakan sifat fisik, kimia dan fungsional (Aini *et al.*, 2016).

## B. Tepung Termodifikasi (*Modifed Flour*)

Tepung temodifikasi (*Modifed flour*) adalah tepung yang telah mengalami perubahan sifat fisik, kimia atau biologis melalui pengolahan tertentu yang dibuat menjadi berbagai jenis bahan baku dengan tujuan untuk meningkatkan fungsionalitas dan kualitasnya dalam berbagai aplikasi makanan. Terdapat metode modifikasi tepung berbagai metode diantaranya *Heta Moisture Treatment* (HMT), *Drum Dryer*, penambahan reagen (asam klorida) dan fermentasi (Siswoyo *et al.*, 2020). Namun, pada penelitian ini hanya terfokus pada modifikasi dengan fermentasi pada limbah pongasi. Adapun kandungan gizi dari tepung setelah fermentasi dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Kandungan Gizi Tepung Termodifikasi

No.	Komposisi (%)	Jenis-jenis Tepung Modifikasi Fermentasi					
		Tepung Jagung <sup>(a)</sup>		Tepung Sorgum <sup>(b)</sup>		Tepung Gadung <sup>(c)</sup>	
		Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah
1	Air	-	-	9,20	12,00	-	-
2	Abu	1,23	1,24	-	-	0,80	1,17
3	Lemak	2,30	2,45	-	-	0,30	0,39
4	Karbohidrat	80,97	79,36	70,09	60,08	-	91,51
5	Protein	11,23	11,91	8,29	11,08	0,90	6,93
6	Serat	5,26	5,05	-	-	-	-

Sumber : <sup>(a)</sup> Sari *et al.*, (2016), <sup>(b)</sup> Haryani *et al.*, (2021), <sup>(c)</sup> Widiyanti dan Kumoro (2017).

Pada tabel 3, maka dapat dilihat bahwa pada penelitian terdahulu tentang tepung modifikasi fermentasi terjadi kenaikan kandungan gizi khususnya pada kadar protein, lemak dan abu (mineral). Sehingga berdasarkan penjelasan ilmiah tersebut maka hasil fermentasi limbah pongasi juga dapat digunakan dalam pembuatan tepung beras termodifikasi (*Modified rice flour*). Adapun kandungan gizi dari tepung limbah pongasi dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Kandungan Gizi Tepung Limbah Pongasi

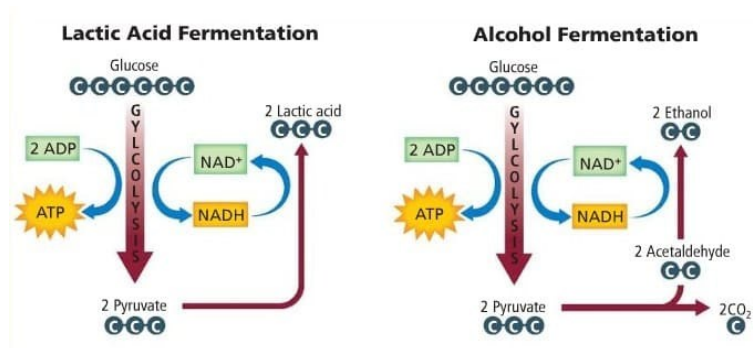
No.	Karakteristik	Tepung Beras	Tepung Limbah Pongasi
1	Air (%)	10,80	7,08
2	Abu (%)	0,73	1,12
3	Lemak (%)	0,68	0,96
4	Protein (%)	9,71	16,29
5	Karbohidrat (%)	78,08	74,55
6	Kelarutan (%)	12,23	9,77
7	<i>Swelling Power</i> (g/g)	6,17	6,78
8	Serat Kasar (%)	5,42	3,69

Sumber : Makmur *et al.*, 2021

### C. Fermentasi

Fermentasi merupakan suatu cara untuk mengubah substrat menjadi produk tertentu yang dikehendaki dengan menggunakan bantuan mikroorganisme yang menghasilkan produk yang biasanya dimanfaatkan sebagai minuman atau makanan. Fermentasi telah dikenal dan digunakan sejak

lama sejak jaman kuno. Tujuan fermentasi menjadikan suatu makanan lebih tahan lama, mengawetkan makanan dengan menghasilkan beberapa asam laktat, asam asetat dan alkohol dalam jumlah yang cukup banyak serta memperkaya nutrisi makanan atau minuman dengan menambahkan beberapa asam amino, protein dan vitamin (Kurniawan, 2023). Adapun jalur fermentasi dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Jalur Fermentasi (Kurniawan, 2023)

Fermentasi adalah proses biokimia yang melibatkan mikroorganisme yang menghasilkan enzim (biokatalisator) dalam proses penguraian senyawa organik sehingga menghasilkan senyawa baru seperti gas, alkohol, asam organik (asam laktat, asam asetat) atau senyawa lainnya (Alfiah *et al.*, 2019). Dimana pada fermentasi asam laktat glukosa mengalami glycolysis menjadi asam piruvat yang akan langsung diubah menjadi asam laktat, namun berbeda pada fermentasi alkohol dimana asam piruvat akan diubah menjadi acetaldehyde sebelum menjadi alkohol dan akan

menghasilkan produk sampingan yaitu gas CO<sub>2</sub> (Kurniawan, 2023).

#### **D. Pengerinan**

Pengerinan adalah proses pemindahan air dari bahan mentah ke udara dengan bantuan suhu atau tekanan udara sampai mencapai titik kadar air keseimbangan. Pengerinan digunakan dalam proses pengolahan makanan dan bahan mentah lainnya yang bertujuan untuk meningkatkan umur simpan dan mempertahankan kualitas produk dengan cara membuat mikroorganisme dan enzim menjadi tidak aktif. Hasil pengerinan yang optimal dapat memenuhi sifat fisik-kimia yang memenuhi standar kualitas serta dapat dikemas dan disimpan dalam jangka waktu yang lama (Lima dan Susanto, 2020). Media pengerinan diantaranya pengerinan konvensional dengan sinar matahari, pengerinan oven, pengerinan kabinet, pengerinan drum, pengerinan vakum, pengerinan beku dan pengerinan gelombang mikro (Musfaridah, 2017).

Pengerinan dalam proses pembuatan tepung limbah pongasi sebagai tepung beras modifikasi sangat penting untuk memenuhi SNI 3549:2009 kadar air <13 %, agar dapat disimpan lebih lama serta menghasilkan produk dengan kualitas yang lebih baik. Secara umum pengerinan yang paling sering diterapkan yaitu penggunaan sinar matahari karena lebih sederhana dan ekonomis. Terdapat



beberapa faktor yang mendukung proses pengeringan yaitu suhu dan kelembaban udara. Kedua faktor tersebut berperan penting terhadap laju pengeringan dimana proses penyerapan akan berhenti jika kelembapan relatif dan kelembapan bahan telah tercapai. Adapun beberapa parameter yang mempengaruhi waktu yang dibutuhkan untuk proses pengeringan, antara lain:

#### 1. Pengaruh Suhu Udara Pengering

Suhu pengering merupakan faktor penentu laju pengeringan bahan, dimanapun semakin tinggi suhu yang digunakan pada pengeringan maka semakin cepat laju pengeringan. Pengeringan dengan menggunakan suhu yang terlalu tinggi dapat merusak fisik bahan. Pengeringan tepung dengan menggunakan aliran udara pengering yang baik adalah antara 60 °C sampai 75 °C. Pengeringan pada suhu di bawah 60 °C mikroba dan jamur yang merusak produk masih hidup, sehingga daya awet dan mutu produk rendah. Namun pada suhu udara pengering di atas 75 °C menyebabkan struktur kimiawi dan fisik produk rusak, karena perpindahan panas dan massa air yang cepat yang berdampak perubahan struktur sel. (Rahmayanti (2015) dan Setiyo (2003) dalam Darita, 2023).

#### 2. Kelembaban Relatif (RH)

Kelembaban udara adalah rasio jumlah uap air yang terkandung dalam udara pada suhu dan tekanan tertentu

dibandingkan dengan jumlah maksimum uap air yang dapat terkandung pada suhu dan tekanan yang sama. Ketika udara pengering masuk ke ruangan, maka akan menyerap uap air dari benda yang ingin dikeringkan dan dari udara ruangan tersebut hal ini akan mengurangi jumlah uap air yang terkandung dalam uap air di ruangan dan pada akhirnya akan menurunkan kelembaban relatif udara pengeringan. Dengan menurunkan kelembaban udara pengering, maka pengeringan akan menjadi lebih efektif dan dapat menghasilkan produk yang lebih berkualitas. Namun, perlu diingat bahwa kelembaban relatif udara yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kurangnya efektivitas pengeringan (Aini *et al.*, 2014).

### 3. Kecepatan Aliran Udara Pengering

Kecepatan aliran udara pengering adalah salah satu dari beberapa faktor yang berpengaruh terhadap proses pengeringan secara mekanik. Dimana udara pengering juga berpengaruh pada kecepatan perpindahan panas ke dalam molekul bahan sehingga temperatur di dalam molekul bahan menjadi meningkat. Peningkatan tersebut menyebabkan tekanan uap air dalam molekul bertambah sehingga air yang terkandung dalam bahan mudah keluar ke permukaan bahan. Laju aliran udara pengeringan berfungsi untuk membawa energi panas yang selanjutnya mentransferkannya ke bahan dan membawa uap air keluar

ruang pengering. Laju pengeringan yang cepat dapat terjadi jika udara pengering memiliki kandungan panas yang lebih seragam dengan volume dan laju aliran udara yang lebih besar sehingga memiliki kekuatan yang lebih besar pula untuk menembus lapisan bahan. (Mahayana (2012) dan Widyotomo dan Mulato (2005) dalam Darita (2023).

#### 4. Kadar Air dan MR (*moisture rasio*)

Selama proses pengeringan, bahan pangan akan kehilangan kadar air yang dibedakan menjadi dua yaitu kadar air basis basah ( $K_{abb}$ ) dan kadar air basis kering ( $K_{abk}$ ) yang saling terhubung dengan *moisture rasio* atau rasio kelembapan. Kadar air basis basah merupakan kadar air dari suatu bahan pangan basah. Sedangkan, kadar air basis kering merupakan jumlah air yang terdapat dalam suatu padatan kering yang telah mencapai berat konstan. *Moisture Rasio* (MR) merupakan rasio uap air dan massa udara kering yang terkandung dalam udara. Persamaan kadar air basis basah ( $K_{abb}$ ), kadar air basis kering ( $K_{abk}$ ) dan Rasio kelembapan atau *moisture ratio* sebagai berikut (Mukmin *et al.*, 2021) :

$$K_{abb} (\%) = \frac{W_t - W_d}{W_t} \times 100 \%$$

$$K_{abk} (\%) = \frac{W_t - W_d}{W_d} \times 100 \% \text{ atau } K_{abk} (\%) = \frac{K_{abb}}{1 - K_{abb}}$$

$$MR (\text{Moisture Ratio}) = \frac{K_{abk} \text{ pada waktu } (t) - KA \text{ kesetimbangan}}{K_{abk} \text{ awal bahan} - KA \text{ kesetimbangan}}$$

Keterangan :

$Ka_{bb}$  = Kadar air basis basah (%)

$Ka_{bk}$  = Kadar air basis basah (%)

$Wt$  = berat awal (gram)

$Wd$  = berat padatan kering (gram)

#### 5. Laju pengeringan

Laju pengeringan merupakan jumlah uap air yang dilepaskan keudara persatuan waktu yang dipengaruhi oleh sifat pangan seperti ketebalan, bentuk, ukuran, kadar air dan lainnya. Proses pengeringan juga tidak lepas dari laju pengeringan, laju pengeringan merupakan gambaran seberapa cepat pengeringan berlangsung. Umumnya laju pengeringan dibagi menjadi dua yaitu laju pengeringan konstan dan penurunan laju pengeringan (Mujumdar *et al.*, 1994). Total laju pengeringan dapat diperkirakan dengan persamaan :

$$\text{Laju Pengeringan} = \frac{W_{t-1} - W_t(t)}{t}$$

Keterangan :

$W_t(t)$  = berat bahan basah (gram) pada waktu (t)

$W_{t-1}$  = berat bahan basah (gram) sebelum waktu

t = waktu yang digunakan (menit)

#### 6. Difusivitas Air Efektif

Difusivitas digunakan untuk menunjukkan aliran air dari bahan dalam sebuah proses pengeringan pada tahap

*Falling Rate Period*, pengurangan kandungan air diatur oleh pergerakan difusi molekuler. Koefisien difusivitas molekuler ditung dengan modifikasi matematika sesuai dengan Hukum Fick Kedua dengan asumsi bahwa bahan tersebut memiliki geometri slab, dimana perpindahan air terjadi melalui proses difusi. Dengan mengansumsikan perubahan air tanpa perubahan volume, difusivitas konstan, distribusi kadar air awal seragam dan tahanan diabaikan, maka persamaan 5 dapat menjadi Persamaan 6 (Syah, 2020).

$$\frac{\delta M}{\delta t} = D_{eff} V^2 M$$

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(\frac{-(2n+1)^2 \pi^2 D_{eff} \cdot t}{4L^2}\right)$$

Dimana  $D_{eff}$  : difusivitas efektif ( $m^2/s$ ),  $M$  : kadar air (%bk),  $t$  : waktu (s),  $MR$ : Moisture Rasio,  $L$  : ketebalan bahan (m). Dari persamaan tersebut dapat disederhanakan menjadi persamaan 7.

$$\ln MR = \ln\left(\frac{8}{\pi^2}\right) - \left(\frac{\pi^2 D_{eff} \cdot t}{4L^2}\right)$$

Perhitungan difusivitas efektif dilakukan dengan cara plot  $\ln MR$  terhadap waktu sehingga menghasilkan garis lurus dengan kemiringan (*slope*) tertentu sehingga dapat memperoleh nilai *Difusivitas Air Efektif* ( $D_{eff}$ ) seperti persamaan berikut :

$$Slope = - D_{eff} \left(\frac{\pi^2}{4L^2}\right)$$

$$D_{eff} = - Slope \left(\frac{4L^2}{\pi^2}\right)$$

Data yang digunakan dalam penentuan *Difusivitas Air Efektif* ( $D_{eff}$ ) adalah data pada fase awal pengeringan dimana kurva MR selama waktu masih memperlihatkan garis yang relatif linear.

#### **E. Alat Pengering *Batch Dryer***

*Batch dryer* adalah sebuah mesin pengering yang digunakan untuk mengeringkan bahan dalam jumlah besar secara bertahap. Alat ini biasa digunakan untuk mengeringkan alat seperti biji-bijian, kacang-kacangan, rempah-rempah dan sebagainya. Mesin ini bekerja dengan cara mengalirkan udara panas melalui bahan yang akan dikeringkan dalam suatu ruangan atau kompartemen khusus. Selama proses pengeringan, udara panas yang dihasilkan akan menguapkan kelembaban dalam bahan dan akan diuapkan melalui sistem exhaust. *Batch dryer* biasanya digunakan dalam skala industri dan pertanian dan dapat membantu meningkatkan efisiensi dan efektivitas dalam pengeringan bahan (Zhang *et al.*, 2019).



Gambar 4. *Batch Dryer*

Sumber : Darita (2023)

## F. Model Pengeringan

Model pengeringan adalah suatu model matematika yang digunakan untuk memprediksi laju pengeringan suatu bahan atau produk. Tujuan dari model ini adalah untuk mengoptimalkan laju pengeringan sehingga dapat meningkatkan efisiensi dan kualitas produk yang dihasilkan. Model matematik pengeringan juga dapat digunakan untuk mempelajari efek dari berbagai parameter proses pengeringan. Selain itu, model matematika pengeringan juga dapat memperkirakan waktu yang diperlukan dalam mencapai kelembaban yang diinginkan Model matematika pengeringan yang paling umum digunakan adalah Newton

(*Exponential*), Page dan Henderson & Pabis (*Approximate form of diffusion*). (Kashaninejad *et al.*, 2007).

Tabel 5. Model Matematika Pengeringan

No	Nama Model	Model Matematika
1	Newton	$M_r = \exp(-kt)$
2	Henderson and Pabis	$M_r = a \exp(-kt)$
3	Page	$M_r = \exp(-kt^n)$
4	Logarithmic	$M_r = a \exp(-kt) + c$
5	Wang and Singh	$M_r = 1 + at + bt^2$
6	Two-terms	$M_r = a \exp(-k_1t) + b \exp(-k_2t)$
7	Diffusion Approach	$M_r = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$
8	Verma <i>et al</i>	$M_r = a \exp(-k_1t) + (1-a) \exp(-k_2t)$
9	Modified Henderson and Pabis	$M_r = a \exp(-kt) + b \exp(-gt) + c \exp(-ht)$
10	Midilli <i>et al</i>	$M_r = a \exp(-kt^n) + bt$
11	Aghbashlo <i>et al</i>	$M_r = \exp(-k_1t/1 + k_2t)$
12	Modified Page	$M_r = \exp[-(kt)^n]$
13	Two-terms Exponential	$M_r = a \exp(-kt) + (i - a) \exp(-kbt)$
14	Hii <i>et al</i>	$M_r = a \exp(-kt^n) + c \exp(-gt^n)$
15	Thompson	$M_r = A + Bt + Ct^2$
16	Fick's second law	$\delta M / \delta t = D[\delta^2 M / \delta r^2 + (2/r)(\delta M / \delta r)]$
17	Single-term	$M_r = A \exp(-kt)$
18	Three-terms exponential	$M_r = a \exp(-kt) + b \exp(-k_1t) + c \exp(-k_2t)$

Sumber : Meisami, *et al.*, 2010



## G. Sifat Isotermis

Sifat Isotermis adalah suatu data yang menunjukkan hubungan antara kadar air bahan dengan kelembaban relatif atau aktivitas air berdasarkan suhu tertentu (Aini *et al.*, 2014). Isoterm sorpsi air sangat penting untuk merancang proses pengeringan, terutama dalam penentuan titik akhir pengeringan serta dalam menentukan stabilitas bahan pangan selama penyimpanan (Adawiyah dan Soekarto, 2010). kurva ISA dapat digunakan untuk menentukan sifat-sifat produk, parameter pengeringan, pengemasan dan penyimpanan pangan. Selain itu kurva ini juga dapat digunakan untuk menentukan masa simpan suatu bahan pangan berdasarkan batas kritis yang harus dicapai (Cahyanti, 2008). Hubungan antara aktivitas air ( $a_w$ ) dan kadar air kesetimbangan dapat dijelaskan dengan menggunakan kurva model matematika. Kurva model matematika yang digunakan untuk memprediksikan/membandingkan hubungan kurva eksperimen dan kurva prediksi. Berikut ini beberapa model matematika kurva isotermis yang dapat digunakan :

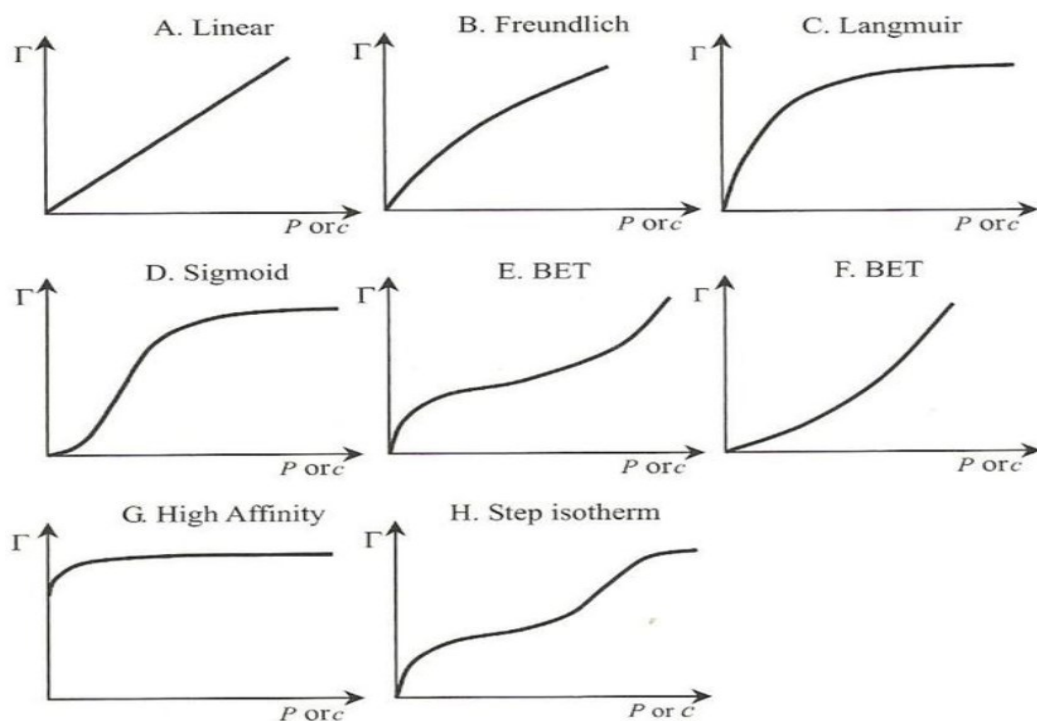
Tabel 6. Model Matematika Sifat Isotermis

No.	Nama Model Sifat Isotermis	Model
1	BET (1940)	$W = \frac{Mm.C.Ka_w}{(1-Ka_w)(1-Ka_w+C.Ka_w)}$
2	Hasley (1948)	$W = \frac{-A}{T \ln a_w}$
3	Henderson (1952)	$W = A[-\ln (B \log (1-a_w))]$
4	Oswin (1946)	$W = A\left[\frac{a_w}{1-a_w}\right]^B$
5	Anderson (1946)	$W = \frac{ABC.a_w}{1 + (B - 2)Ca_w + (1-B)C^2a_w}$
6	Smith (1947)	$W = A + B \log (1 - a_w)$
7	Kuhn (1964)	$W = \left(\frac{A}{\ln a_w}\right) + B$
8	Chung & Pfof (1967)	$W = A \ln \left[\frac{B}{\ln a_w}\right]$

Sumber : Setiaboma *et al.*, 2020

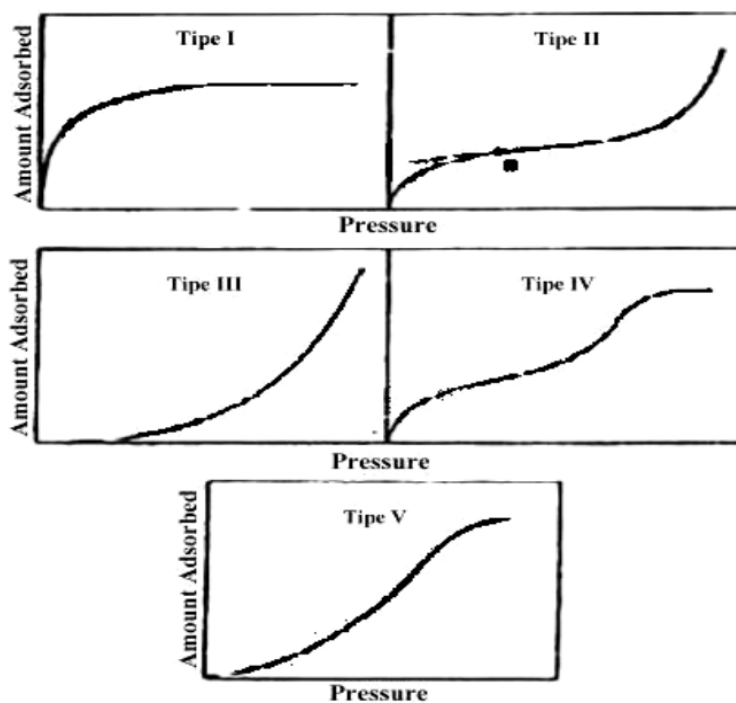
Model kurva isotermis diatas dapat diterapkan pada bahan pangan, model Oswin, Henderson, Hasley, Chung-Pfof, GAB dan BET adalah model yang paling sering digunakan dalam memprediksi isoterm penyerapan air. Model yang biasa digunakan dalam menggambarkan kurva serapan dan termodinamika adalah BUT, GAB dan *Caurie* (Aini *et al.*, 2014). Model *Oswin*, *Kuhn*, *Chung-Pfof*, *Hasley*, *Henderson*, *Caurie* adalah kurva yang dapat menggambarkan isotermis penyerapan air pada produk kering. Model persamaan ini digunakan berdasarkan model persamaan sebelumnya, model tersebut dapat menggambarkan jalannya isoterm serapan air pada rentang nilai aktivitas yang luas. Berbeda pada model GAB dan BET yang digunakan pada uji coba, karena model ini biasa

digunakan pada aktivitas air yang cukup besar ( $\pm 0,9$ ) sedangkan umumnya aktivitas air pada tepung cenderung kecil (Fadila, 2023).



Gambar 5. Jenis Kurva Sorpsi Isotermis

Sumber : Dharmawijaya (2018)



Gambar 6. Kurva Sorpsi Isotermis Brunaur

Sumber : Prasodjo (2010)

## H. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada tesis ini yaitu :

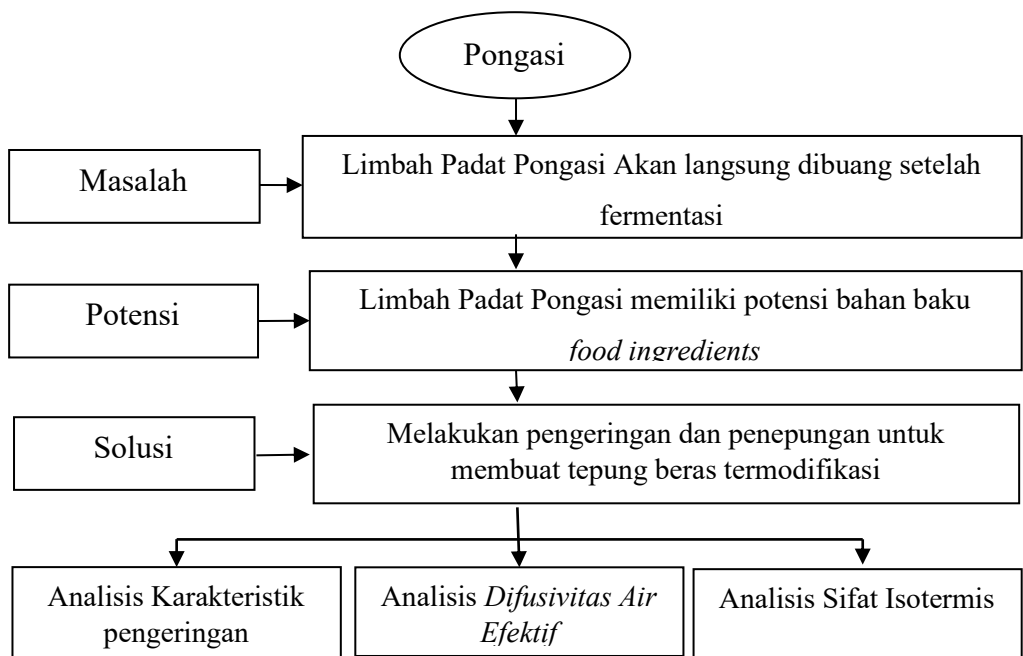
1. Bagaimana karakteristik pengeringan limbah padat pongasi ?
2. Bagaimana Difusivitas Air selama pengeringan ?
3. Bagaimana pengaruh suhu terhadap sifat isotermis tepung limbah padat pongasi ?

## I. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dan model pengeringan limbah padat pongasi, difusivitas air efektif selama pengeringan dan sifat isothermis tepung limbah pongasi.

Manfaat penelitian ini adalah sebagai bahan informasi tentang model pengeringan limbah pongasi dan sifat isothermis tepungi limbah pongasi.

## J. Kerangka Pikir



Gambar 1. Kerangka Pikir