

**PENGEMBANGAN TEKNOLOGI PENGOLAHAN UBI KAYU
MENJADI PATI DAN TEPUNG UBI KAYU TERMODIFIKASI
SEBAGAI UPAYA PENINGKATAN EFISIENSI
SUMBERDAYA DAN PRODUKSI BERSIH**

(Disertasi)

Oleh

**SURFIANA
NPM 1634171005**



**PROGRAM DOKTOR ILMU PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

**PENGEMBANGAN TEKNOLOGI PENGOLAHAN UBI KAYU
MENJADI PATI DAN TEPUNG UBI KAYU TERMODIFIKASI
SEBAGAI UPAYA PENINGKATAN EFISIENSI
SUMBERDAYA DAN PRODUKSI BERSIH**

Oleh

SURFIANA

Disertasi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
DOKTOR ILMU PERTANIAN**

Pada

**Program Doktor Ilmu Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**PROGRAM DOKTOR ILMU PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

PENGEMBANGAN TEKNOLOGI PENGOLAHAN UBI KAYU MENJADI PATI DAN TEPUNG UBI KAYU TERMODIFIKASI SEBAGAI UPAYA PENINGKATAN EFISIENSI SUMBER DAYA DAN PRODUKSI BERSIH

Oleh

SURFIANA

Hasil olahan utama dari ubi kayu yang dapat diaplikasikan pada berbagai produk olahan pangan adalah dalam bentuk pati dan tepung ubi kayu. Selama ini, pati dan tepung ubi kayu dihasilkan melalui proses yang terpisah tergantung pada tujuan produk akhir yang diinginkan. Untuk itu, perlu dikembangkan proses yang dapat menghasilkan pati dan tepung ubi kayu secara terintegrasi didalam satu kesatuan proses. Istilah terintegrasi digunakan untuk menyatakan bahwa proses yang dilaksanakan untuk menghasilkan pati dan tepung ubi kayu dilakukan secara bersamaan dalam satu rangkaian proses yang utuh.

Secara umum penelitian bertujuan untuk mengembangkan teknologi pengolahan ubi kayu menjadi pati dan tepung ubi kayu termodifikasi secara terintegrasi dan ramah lingkungan. Secara khusus penelitian ini bertujuan untuk: (1) Melakukan kajian pengembangan teknologi pengolahan ubi kayu secara terintegrasi untuk menghasilkan pati dan tepung ubi kayu termodifikasi; (2) Melakukan karakterisasi pati dan tepung ubi kayu termodifikasi yang dihasilkan dari pengembangan teknologi pengolahan ubi kayu secara terintegrasi; dan (3) Melakukan kajian terhadap efisiensi pemanfaatan sumberdaya dan beban pencemaran yang dihasilkan dari pengembangan teknologi pengolahan ubi kayu secara terintegrasi. Penelitian menggunakan Rancangan Acak Kelompok Lengkap (RAKL) faktorial dua faktor dengan tiga kali ulangan. Faktor pertama adalah sistem perendaman yaitu perendaman dalam air mengalir/*system continue* dan perendaman dalam air tidak mengalir/*system batch*. Faktor kedua adalah lama fermentasi yang terdiri dari tiga taraf, yaitu lama fermentasi 24 jam, 48 jam, dan 72 jam. Homogenitas data diuji menggunakan uji Bartlett, sedang kementambahan data diuji menggunakan uji Tukey. Data kemudian diolah dengan sidik ragam untuk mengetahui keragaman dan pengaruh perlakuan, kemudian diuji lanjut menggunakan uji Beda Nyata Jujur (BNJ) pada taraf 5% untuk mengetahui perbedaan antar perlakuan.

Beberapa hal penting yang dapat disimpulkan dari penelitian ini adalah: (1) Teknologi pengolahan ubi kayu menjadi pati dan tepung ubi kayu termodifikasi secara terintegrasi dalam satu kesatuan proses secara utuh dapat dikembangkan

sebagai salah satu model proses pengolahan ubi kayu untuk menghasilkan pati ubi kayu termodifikasi dan tepung ubi kayu termodifikasi dengan karakteristik produk yang spesifik, efisien dalam penggunaan sumberdaya (air sebagai bahan pembantu) dan limbah cair yang lebih sedikit; (2) Pati ubi kayu yang dihasilkan merupakan pati ubi kayu termodifikasi yang memiliki karakteristik kadar air 6,04-7,84%; HCN 1,20-2,17 mg/kg; amilosa 28,81-40,04%; derajat putih 91,34-94,04; nilai *swelling power* 13,28-14,35 b/b; karakteristik amilografi pasting pati dengan *peak viscosity* >600BU; *pasting temperature* 68,9-70,5°C; *breakdown viscosity* semakin menurun dengan semakin lama fermentasi yaitu 424,0-256,0 BU; *setback viscosity* semakin meningkat dengan lamanya fermentasi 146,5-238,5 BU; serta morfologi granula pati berukuran 2,93 – 21,30 µm. Tepung ubi kayu yang dihasilkan merupakan tepung ubi kayu termodifikasi dengan karakteristik kadar air 6,19-8,12%; HCN 5,92-8,57 mg/kg (ppm); amilosa 30,39-33,32%; derajat putih 90,41-91,56; nilai *swelling power* 14,43-17,44 b/b; karakteristik amilografi pasting tepung dengan *peak viscosity* >500 BU; *pasting temperature* 69,4-71,5°C; *breakdown viscosity* semakin menurun dengan bertambahnya lama fermentasi yaitu 238,0-191,5 BU; *setback viscosity* semakin meningkat sebesar 151,5-207,0 BU; serta morfologi granula pati pada tepung berukuran 4,30 – 21,88 µm. Air limbah yang dihasilkan 3,0-3,3 m³/ton produk untuk perendaman *system continue* dan 2,3-3,0 m³/ton produk untuk perendaman *system batch*, kandungan COD air limbah tertinggi pada perendaman *system batch* yaitu 10.290 mg/liter, pH 3,8-5,4, dan *total suspended solid* (TSS) 0,05-1,09%. Hasil ini jauh lebih sedikit dibandingkan dengan air limbah industri tapioka konvensional.

Kata kunci: Pati dan tepung ubi kayu termodifikasi, produksi bersih, teknologi pengolahan ubi kayu terintegrasi

ABSTRACT

MODIFIED CASSAVA FLOUR AND STARCH TECHNOLOGY EMERGENCE TO ACCELERATE RESOURCE EFFICIENCY AND CLEAN PRODUCTION

BY

SURFIANA

The main cassava product which could be applied in various food product were cassava flour and starch. Cassava flour and starch were produce in separate process depend on the process purpose regularly. Therefore we need to develop an integrated cassava flour and starch technology in one way process. It was defined as renewal processing as a whole unified technology therefor one single processing could gain two products at once namely starch and cassava flour.

In general, this research was to develop an integrated cassava production to gain modified cassava flour and starch in one way eco friendly process. Praticularly the objective of this research were to (1) study the integrated cassava flour and starch technology, (2) Characterized modified cassava flour and starch produced from integrated cassava technology, and (3) study the used of cassava source and pollution load that generated from integrated cassava technology. Two factor Complete Randomized Block Design (CRBD) was used in this research in three replications. The first factor was two soaking methods, i.e., soaking in flowing water/continuous system (P1) and soaking in static water/batch system (P2). The second factor were the fermentation time (T) i.e., of 24 hours (T1), 48 hours (T2), and 72 hours (T3). The data homogeneity and data additivity were tested using Bartlett's Test and Tukey Test respectively. The data were subjected to analysis of variance to test the effect of the treatments, and further tested using honestly significant different (HSD) at 5% level.

Some important results in this research that can be concluded were (1) integrated cassava flour and starch technology could be applied in cassava technology production with some advantages i.e. eco-friendly and clean technology, produced specific cassava flour and starch characteristic, (2) the characteristics of modified cassava starch from this technology were 6,04-7,84% moisture content; HCN level between 1,20-2,17 mg/kg (ppm); 28,81-40,04% amylose content; 91,34-94,04 whiteness degree; 13,28-14,35 w/w swelling power value; pasting amylograph with peak viscosity>600 BU; 68,9-70,5°C pasting temperature; breakdown viscosity which decreases with increasing fermentation time 424,0-256,0 BU; setback viscosity which increases with increasing fermentation time 146,5-238,5 BU; 2,93 – 21,30 µm morphology of starch granules size. The characteristics of modified cassava flour from this technology were: 6,19-

8,12% moisture content; HCN level between 5,92-8,57 mg/kg (ppm); 30,39-33,32% amylose content; 90,41-91,56 whiteness degree; 14,43-17,44 w/w swelling power value; pasting amylograph with peak viscosity >500BU; pasting temperature 69,4-71,5°C; breakdown viscosity decreases with increasing fermentation time 238,0-191,5 BU; setback viscosity increases with increasing fermentation time 151,5-207,0 BU; 4.30 – 21.88 µm morphology of flour granules size; (3) This technology gain 3.0-3.3 m³/ton of product for continue system and 2.3-3.0 m³/ton in batch system. The highest wastewater COD content was 10,290 mg/liter , wastewater pH 3.8-5.4, wastewater and a total suspended solid (TSS) content of 0.05-1.09 percent. The characteristics of the wastewater produced include a total content of lactic acid bacteria of 2.7x10¹⁰ CFU/ml; The lowest immersion water pH was 3.8; the amount of liquid waste produced is 1 liter/kg of cassava; the highest HCN content is 50 mg/kg (ppm); The highest wastewater COD content was 10,290 mg/L (in the batch system after 72 hours of fermentation); wastewater pH 3,8-5,45; and 05-1,09% total suspended solid. This result is more less than conventional tapioca industrial wastewater.

Keywords: Clean production, integrated process, modified cassava starch and flour

Judul Disertasi

: PENGEMBANGAN TEKNOLOGI
PENGOLAHAN UBI KAYU MENJADI
PATI DAN TEPUNG UBI KAYU
TERMODIFIKASI SEBAGAI UPAYA
PENINGKATAN EFISIENSI SUMBER
DAYA DAN PRODUKSI BERSIH

Nama Mahasiswa

: SURFIANA

Nomor Pokok Mahasiswa

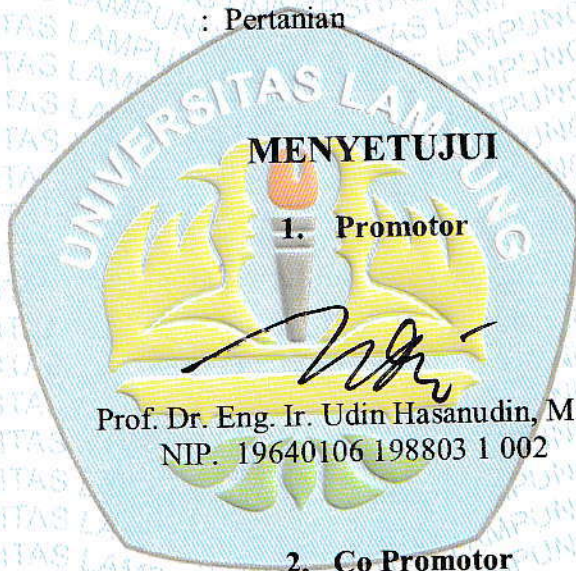
: 1634171005

Program Studi

: Doktor Ilmu Pertanian

Fakultas

: Pertanian



2. Co Promotor

Taput

Dr. Ir. Tanto Pratondo Utomo, M.Si.
NIP. 19680807 199303 1 002

Seljanah


Ir. Siti Nurdjanah, M.Sc., Ph.D.
NIP. 19620720 198603 2 001

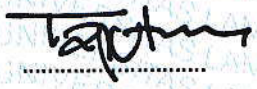
3. Ketua Program Studi Doktor Ilmu Pertanian

[Signature]
Dr. Ir. Slamet Budi Yuwono, M.S.
NIP 19641223 199403 1 003

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Prof. Dr. Eng. Ir. Udin Hasanudin, M.T. 


Sekretaris : Dr. Ir. Tanto Pratondo Utomo, M.Si. 

Anggota : Ir. Siti Nurdjanah, M.Sc., Ph.D. 



2. Dekan Fakultas Pertanian




Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si.
NIP. 19611020 198603 1 002

3. Direktur Pascasarjana Universitas Lampung


Prof. Dr. Ahmad Saudi Samosir, S.T., M.T.
NIP. 19710415 199803 1 005

Tanggal Lulus Ujian Disertasi : 20 Maret 2023

PERNYATAAN ORISINALITAS DISERTASI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya di dalam disertasi ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar Pustaka.

Bandar Lampung, Maret 2023

Yang menyatakan,



SURFIANA
NPM 1634171005

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Tanjung Karang pada tanggal 13 Januari 1968, merupakan anak ke delapan dari dua belas bersaudara dari bapak Hi. Sudjadi (almarhum) dan ibu Hj. Sanikem (almarhumah).

Penulis lulus Pendidikan di Sekolah Dasar (SD) Negeri 15 Sukajawa Bandar Lampung pada tahun 1981, Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 1 Bandar Lampung pada tahun 1984, dan Sekolah Menengah Atas (SMA) Negeri 1 Bandar Lampung pada tahun 1987.

Pada tahun 1987, penulis diterima di Program Studi Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung dan lulus pada tahun 1991. Tahun 1994, penulis diterima sebagai Pegawai Negeri Sipil di Politeknik Negeri Lampung, khususnya sebagai dosen di Program Studi Teknologi Pangan Jurusan Teknologi Pertanian. Pada tahun 1997, penulis mendapatkan Beasiswa Pendidikan Pascasarjana (BPPS) S2 di Institut Pertanian Bogor pada Program Studi Ilmu Pangan dan lulus pada Januari 1991 dengan meraih gelar Magister Sains (M.Si.). Selanjutnya penulis melanjutkan Pendidikan Program Doktor (S3) pada Program Doktor Ilmu Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung pada tahun 2016 dan selesai pada Maret 2023.

Karya kecil ini kupersembahkan untuk:

**Suamiku tercinta dan tersayang
Dr. (Cand) Wan Ruslan Abdul Ghani, S.E., M.Si.**

**Anak-anakku tersayang:
Wan Ahmad Rulianzahdi Hidayatullah
Incik Rosana Agustien Putri, S.PW.K
Wan Ahmad Ilhamzakky
Wan Ahmad Dzakwan Hammam**

PRAKATA

Bismillah. Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhana Wataa'ala atas segala rahmat, nikmat, dan karunia yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penyusunan Disertasi dengan judul **“Pengembangan Teknologi Pengolahan Ubi Kayu Menjadi Pati dan Tepung Ubi Kayu Termodifikasi Sebagai Upaya Peningkatan Efisiensi Sumberdaya dan Produksi Bersih”** sebagai salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk memperoleh gelar Doktor Ilmu Pertanian pada Program Doktor Ilmu Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung. Penyusunan disertasi ini tidak terlepas dari bantuan dan keterlibatan berbagai pihak. Untuk itu, dengan kerendahan hati pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M. selaku Rektor Universitas Lampung;
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si. selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung atas segala dukungan, motivasi, saran dan masukan kepada penulis selama kuliah, pelaksanaan penelitian dan penyelesaian disertasi;
3. Bapak Prof. Dr. Ahmad Saudi Samosir, S.T., M.T. selaku Direktur Program Pascasarjana Universitas Lampung;
4. Bapak Dr. Ir. Slamet Budi Yuwono, M.S. selaku ketua Program Studi Doktor Ilmu Pertanian atas segala dukungan dan motivasi yang diberikan kepada penulis selama studi dan penyelesaian disertasi;
5. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Udin Hasanudin, M.T. selaku Ketua Komisi Pembimbing yang dengan segala kesabaran dan ilmu pengetahuan yang ada pada beliau membimbing, memberikan motivasi, masukan, arahan, dan bantuan kepada penulis selama pelaksanaan penelitian hingga penyelesaian penyusunan disertasi ini;

6. Bapak Dr. Ir. Tanto Pratondo Utomo, M.Si., selaku ko-promotor atas bimbingan, masukan, dukungan, dan support yang selalu diberikan kepada penulis selama pelaksanaan penelitian hingga penyelesaian penyusunan disertasi ini;
7. Ibu Ir. Siti Nurdjanah, M.Sc., Ph.D. selaku ko-promotor, yang dengan segala kesabaran dan ilmu pengetahuan yang beliau miliki memberikan bimbingan, arahan, masukan, dan motivasi selama pelaksanaan penelitian hingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan disertasi ini;
8. Bapak Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si. selaku dosen penguji kelayakan dan penguji diluar komisi pembimbing atas segala saran, masukan, dan motivasi yang diberikan kepada penulis selama penyelesaian disertasi ini;
9. Bapak Dr. Ir. Saron, M.Si. selaku penguji luar komisi dan penguji eksternal atas saran dan masukan yang diberikan.
10. Bapak Dr. Ir. Samsul Rizal, M.Si. selaku Sekretaris Program Studi Doktor Ilmu Pertanian atas segala dukungan dan motivasi yang diberikan kepada penulis selama penyelesaian disertasi ini;
11. Bapak dan Ibu Dosen Program Studi Doktor Ilmu Pertanian yang telah memberikan ilmu dan wawasan pengetahuan selama penulis kuliah S3;
12. Bapak Dr. Ir. Beni Hidayat M.Si. yang telah memberikan dukungan, motivasi, dan masukan kepada penulis selama kuliah, pelaksanaan penelitian dan penyelesaian disertasi ini;
13. Bapak dan Ibu Dosen Program Studi Teknologi Pangan yang selalu mendampingi, memberikan dukungan, dan motivasi selama perkuliahan, pelaksanaan penelitian hingga penyelesaian disertasi ini;
14. Keluarga tercinta, suami Dr. (cand) Wan Ruslan Abdul Ghani, S.E., M.Si. Ananda Wan Ahmad Rulianzahdi Hidayatullah, Incik Rosana Agustien Putri, S.PWK., Wan Ahmad Ilhamzakky, dan Wan Ahmad Dzakwan Hammam yang selalu setia menemani, mendukung, mensupport dan mendoakan penulis selama studi, melaksanakan penelitian hingga penyelesaian disertasi ini;
15. Keluarga besar Ayahanda Sudjadi (alm) dan keluarga besar Ayahanda K.H. Wan Zakaria Djauhari (alm) atas doa, dukungan, dan semangat yang selalu

diberikan kepada penulis selama studi, pelaksanaan penelitian hingga penyusunan disertasi ini;

16. Rekan-rekan di Lab Pengelolaan Limbah Agroindustri Unila (Mas Joko), Lab THP Polinela, Lab Analisis Polinela, Belia (alumni THP Unila), dan Rani (alumni Polinela dan S2 THP Unila) atas segala bantuan yang diberikan selama pelaksanaan penelitian;
17. Teruntuk Kiay Ir. Saihul atas bantuan menyediakan bahan baku ubi kayu untuk penelitian;
18. Direktorat Riset dan Pengabdian kepada Masyarakat atas Pendanaan Hibah Penelitian Terapan Vokasi pada Tahun 2022;
19. Serta semua pihak yang telah membantu baik dalam pelaksanaan penelitian dan penulisan disertasi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan disertasi ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, saran, masukan dan perbaikan untuk kesempurnaan disertasi ini dengan segala kerendahan hati akan dijadikan masukan bagi penulis. Semoga disertasi ini dapat memberikan manfaat kepada masyarakat, pemerintah, dan pengembangan ilmu pengetahuan.

Bandar Lampung, Maret 2023

Penulis,

Surfiana

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
ABSTRAK.....	ii
ABSTRACT.....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN DISERTASI.....	vi
HALAMAN PENGESAHAN DISERTASI.....	vii
PERNYATAAN ORISINALITAS DISERTASI.....	viii
RIWAYAT HIDUP.....	ix
PERSEMBAHAN.....	x
PRAKATA.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xviii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Permasalahan.....	6
1.3 Tujuan Penelitian.....	8
1.4 Manfaat Penelitian.....	9
1.5 Nilai Kebaruan dan Kedalaman.....	9
1.6 Capaian Penelitian.....	10
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	11
2.1 Ubi Kayu dan Potensinya.....	11
2.2 Pati dan Tepung Ubi Kayu Termodifikasi.....	14
2.3 Proses Fermentasi dalam Pembuatan Pati dan Tepung Ubi Kayu Termodifikasi.....	17
2.4 Produksi Bersih.....	19

III.	KERANGKA PEMIKIRAN DAN HIPOTESIS.....	21
3.1	Kerangka Pemikiran.....	21
3.2	Hipotesis.....	22
IV.	TAHAPAN DAN RUANG LINGKUP PENELITIAN.....	23
4.1	Pengembangan Teknologi Pengolahan Ubi Kayu menjadi Pati dan Tepung Ubi Kayu Termodifikasi secara Terintegrasi.....	23
4.1.1	Pendahuluan.....	23
4.1.2	Tujuan penelitian.....	24
4.1.3	Bahan dan metode penelitian.....	25
4.1.4	Pelaksanaan penelitian.....	26
4.1.5	Pengamatan.....	27
4.2	Identifikasi dan Karakteristik Pati dan Tepung Ubi Kayu Termodifikasi Melalui Proses Fermentasi Alami secara Terintegrasi.....	30
4.2.1	Pendahuluan.....	30
4.2.2	Tujuan penelitian.....	31
4.2.3	Bahan dan metode penelitian.....	32
4.2.4	Pelaksanaan penelitian.....	33
4.2.5	Pengamatan.....	34
4.3	Kajian Beban Pencemaran Dalam Produksi Pati dan Tepung Ubi Kayu Termodifikasi Melalui Proses Fermentasi Alami Secara Terintegrasi.....	37
4.3.1	Pendahuluan.....	37
4.3.2	Tujuan penelitian.....	38
4.3.3	Bahan dan metode penelitian.....	39
4.3.4	Pelaksanaan penelitian.....	40
4.3.5	Pengamatan.....	41
V	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	45
5.1	Pengembangan Teknologi Pengolahan Ubi Kayu Menjadi Pati dan Tepung Ubi Kayu Termodifikasi Melalui Fermentasi Alami secara Terintegrasi.....	45
5.1.1	Total bakteri asam laktat (BAL).....	47

5.1.2 Nilai pH air perendaman.....	49
5.1.3 Rendemen pati dan tepung ubi kayu termodifikasi.....	50
5.1.4 Jumlah air yang digunakan.....	52
5.2 Identifikasi dan Karakteristik Pati dan Tepung Ubi Kayu Termodifikasi Melalui Proses Fermentasi Alami Secara Terintegrasi.....	54
5.2.1 Kadar air pati dan tepung ubi kayu termodifikasi.....	56
5.2.2 Kadar HCN (asam sianida) pati dan tepung ubi kayu termodifikasi.....	58
5.2.3 Kadar amilosa pati dan tepung ubi kayu termodifikasi...	60
5.2.4 Nilai derajat putih pati dan tepung ubi kayu termodifikasi.....	62
5.2.5 Nilai <i>swelling power</i> pati dan tepung ubi kayu termodifikasi.....	64
5.2.6 Karakteristik amilografi pasting pati dan tepung ubi kayu termodifikasi.....	65
5.2.7 Karakteristik morfologi granula pati dan tepung ubi kayu termodifikasi.....	74
5.3 Kajian Beban Pencemaran dalam Produksi Pati dan Tepung Ubi Kayu Termodifikasi Melalui Teknologi Proses Secara Terintegrasi.....	79
5.3.1 Jumlah limbah cair yang digunakan.....	80
5.3.2 Kadar HCN (asam sianida) air limbah.....	81
5.3.3 Kandungan COD air limbah.....	83
5.3.4 Derajat keasaman (pH) air limbah.....	84
5.3.5 Total padatan tersuspensi air limbah	85
5.4 Pengembangan Teknologi Pengolahan Ubi Kayu menjadi Pati dan Tepung Ubi Kayu Termodifikasi Secara Terintegrasi dan Kaitannya dengan Peningkatan Efisiensi Sumberdaya dan Produksi Bersih.....	86
5.5 Kualitas Air Limbah Hasil Penerapan Teknologi Pengolahan Ubi Kayu Secara Terintegrasi dan Kaitannya dengan Penerapan Produksi Bersih.....	89
VI. KESIMPULAN, SARAN DAN IMPLEMENTASI PENERAPAN.....	92

6.1 Kesimpulan.....	92
6.2 Saran.....	93
6.3 Implementasi Penerapan.....	93
DAFTAR PUSTAKA.....	94
LAMPIRAN.....	105

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Data produksi ubi kayu Indonesia tahun 2014-2018.....	1
2. Data produksi ubi kayu Provinsi Lampung Tahun 2021.....	2
3. Komposisi kimia ubi kayu varietas <i>Kasetsart</i> umur 9 bulan.....	3
4. Rekayasa proses modifikasi pati dan tepung ubi kayu.....	5
5. Beberapa varietas ubi kayu unggulan	12
6. Rancangan perlakuan penelitian.....	26
7. Karakteristik amilografi pasting pati ubi kayu termodifikasi	68
8. Karakteristik amilografi pasting tepung ubi kayu termodifikasi.....	69
9. Karakteristik pati berdasarkan SNI dan hasil penelitian.....	87
10. Karakteristik tepung ubi kayu termodifikasi beberapa hasil penelitian.....	89
11. Beban pencemaran air limbah yang dihasilkan dari pengolahan ubi kayu secara terintegrasi.....	90

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Pohon industri ubi kayu.....	13
2. Struktur rantai linier molekul amilosa.....	15
3. Struktur titik percabangan amilopektin.....	15
4. Struktur amilopektin pada daerah kristalin (1) dan amorf (2).....	16
5. Diagram alir proses produksi pati dan tepung ubi kayu termodifikasi (modifikasi metode pembuatan beras aruk (Santoso <i>et al.</i> , 2012) dan pembuatan <i>garri</i> (Ogbo dan Okafor, 2015)).....	29
6. Diagram alir proses produksi pati dan tepung ubi kayu termodifikasi dan limbah yang dihasilkan (modifikasi metode pembuatan beras aruk (Santoso <i>et al.</i> , 2012) dan pembuatan <i>garri</i> (Ogbo dan Okafor, 2015)).....	44
7. Produk pati ubi kayu termodifikasi dan tepung ubi kayu termodifikasi.....	47
8. Nilai rata-rata total bakteri asam laktat air perendaman pada metode perendaman <i>system continue</i> dan <i>batch</i> serta berbagai lama fermentasi.....	48
9. Nilai rata-rata pH air perendaman pada metode perendaman <i>system continue</i> dan <i>batch</i> serta berbagai lama fermentasi.....	49
10. Nilai rata-rata rendemen pati ubi kayu termodifikasi pada metode perendaman <i>system continue</i> dan <i>batch</i> serta berbagai lama fermentasi.....	51
11. Nilai rata-rata rendemen tepung ubi kayu termodifikasi pada metode perendaman <i>system continue</i> dan <i>batch</i> serta berbagai lama fermentasi.....	52
12. Nilai rata-rata jumlah air yang digunakan pada metode perendaman <i>system continue</i> dan <i>batch</i> serta berbagai lama fermentasi.....	54
13. Nilai rata-rata kadar air pati ubi kayu termodifikasi pada metode perendaman <i>system continue</i> dan <i>batch</i> serta berbagai lama fermentasi.....	56

14. Nilai rata-rata kadar air tepung ubi kayu termodifikasi pada metode perendaman <i>system continue</i> dan <i>batch</i> serta berbagai lama fermentasi.....	57
15. Nilai rata-rata kadar HCN pati ubi kayu termodifikasi pada metode perendaman <i>system continue</i> dan <i>batch</i> serta berbagai lama fermentasi.....	59
16. Nilai rata-rata kadar HCN tepung ubi kayu termodifikasi pada metode perendaman <i>system continue</i> dan <i>batch</i> serta berbagai lama fermentasi.....	59
17. Nilai rata-rata kadar amilosa pati ubi kayu termodifikasi pada metode perendaman <i>system continue</i> dan <i>batch</i> serta berbagai lama fermentasi.....	61
18. Nilai rata-rata kadar amilosa tepung ubi kayu termodifikasi pada metode perendaman <i>system continue</i> dan <i>batch</i> serta berbagai lama fermentasi.....	62
19. Nilai rata-rata derajat putih pati ubi kayu termodifikasi pada metode perendaman <i>system continue</i> dan <i>batch</i> serta berbagai lama fermentasi.....	63
20. Nilai rata-rata derajat putih tepung ubi kayu termodifikasi pada metode perendaman <i>system continue</i> dan <i>batch</i> serta berbagai lama fermentasi.....	63
21. Nilai rata-rata swelling power pati ubi kayu termodifikasi pada metode perendaman <i>system continue</i> dan <i>batch</i> serta berbagai lama fermentasi.....	64
22. Nilai rata-rata swelling power tepung ubi kayu termodifikasi pada metode perendaman <i>system continue</i> dan <i>batch</i> serta berbagai lama fermentasi.....	65
23. Amilografi pasting pati ubi kayu termodifikasi.....	72
24. Amilografi pasting tepung ubi kayu termodifikasi.....	73
25. Uji SEM pati ubi kayu termodifikasi perlakuan P1T1.....	74
26. Uji SEM pati ubi kayu termodifikasi perlakuan P1T2.....	75
27. Uji SEM pati ubi kayu termodifikasi perlakuan P1T3.....	75
28. Uji SEM pati ubi kayu termodifikasi perlakuan P2T1.....	75
29. Uji SEM pati ubi kayu termodifikasi perlakuan P2T2.....	76
30. Uji SEM pati ubi kayu termodifikasi perlakuan P2T3.....	76

31. Uji SEM tepung ubi kayu termodifikasi perlakuan P1T1	77
32. Uji SEM tepung ubi kayu termodifikasi perlakuan P1T2.....	77
33. Uji SEM tepung ubi kayu termodifikasi perlakuan P1T3.....	77
34. Uji SEM tepung ubi kayu termodifikasi perlakuan P2T1	78
35. Uji SEM tepung ubi kayu termodifikasi perlakuan P2T2.....	78
36. Uji SEM tepung ubi kayu termodifikasi perlakuan P2T3.....	79
37. Nilai rata-rata jumlah air limbah yang dihasilkan pada pengolahan ubi kayu metode perendaman <i>system continue</i> dan <i>batch</i> serta berbagai lama fermentasi.....	80
38. Nilai rata-rata kadar HCN air limbah yang dihasilkan pada pengolahan ubi kayu metode perendaman <i>system continue</i> dan <i>batch</i> serta berbagai lama fermentasi.....	82
39. Nilai rata-rata kandungan COD air limbah yang dihasilkan pada pengolahan ubi kayu metode perendaman <i>system continue</i> dan <i>batch</i> serta berbagai lama fermentasi.....	83
40. Nilai rata-rata derajat keasaman (pH) air limbah yang dihasilkan pada pengolahan ubi kayu metode perendaman <i>system continue</i> dan <i>batch</i> serta berbagai lama fermentasi.....	84
41. Nilai rata-rata total padatan tersuspensi air limbah yang dihasilkan pada pengolahan ubi kayu metode perendaman <i>system continue</i> dan <i>batch</i> serta berbagai lama fermentasi.....	85

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemerintah melalui Badan Ketahanan Pangan Kementerian Pertanian RI, dalam rangka memenuhi ketersediaan pangan strategis dalam negeri untuk mewujudkan ketahanan pangan telah mengembangkan program diversifikasi pangan berbasis kearifan pangan lokal yang difokuskan pada enam pangan lokal sumber karbohidrat non beras yaitu ubi kayu, jagung, sagu, pisang, kentang, dan sorgum (BKP Kementan RI, 2020). Pemerintah berupaya untuk menjaga kebutuhan pangan akibat tingginya kenaikan jumlah penduduk dari tahun ketahun dan mencegah masyarakat mengalami kelaparan akibat pandemi Covid-19. Program diversifikasi pangan ini diharapkan akan membantu masyarakat Indonesia menuju swasembada pangan. Salah satu komoditas unggulan Indonesia adalah ubi kayu. Indonesia merupakan negara penghasil ubi kayu ketiga terbesar di dunia setelah Nigeria dan Thailand (Frediansyah, 2018). Data produksi ubi kayu di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data produksi ubi kayu Indonesia tahun 2014-2018

Provinsi	Produksi (ton)				
	2014	2015	2016	2017	2018
Lampung	8.034.016	7.387.084	6.481.382	5.451.312	6.683.758
Jawa Tengah	3.977.810	3.571.594	3.536.711	3.138.864	3.267.417
Jawa Timur	3.635.454	3.161.573	2.924.933	2.908.417	2.551.840
Jawa Barat	2.250.024	2.000.224	1.792.716	1.901.433	1.635.031
Sumatera Utara	1.383.346	1.619.495	1.228.138	980.879	803.403
DI Yogyakarta	884.931	873.362	1.125.375	1.025.693	859.393
Nusa Tenggara Timur	677.577	637.315	618.281	823.114	853.468
Sulawesi Selatan	478.486	565.958	416.553	368.435	422.601
Sumatera Selatan	220.014	217.807	386.881	539.009	382.043
Sumatera Barat	217.962	208.386	201.201	209.115	201.833
Provinsi Lainnya	1.676.764	1.558.617	1.548.504	1.707.477	1.680.446
Total Indonesia	23.436.384	21.801.415	20.260.675	19.053.748	19.341.233

Sumber : BPS (2019) susunan data telah diubah berdasarkan tinggi angka produksi

Provinsi Lampung merupakan penghasil ubi kayu terbesar di Indonesia, di ikuti oleh Jawa Tengah dan Jawa Timur (Tabel 1) (BPS, 2019). Pada tahun 2021, produksi ubi kayu di Provinsi Lampung masih cukup tinggi yaitu sebesar 6.194.601 ton (Dinas Ketahanan Pangan dan Hortikultura Provinsi Lampung, 2022). Secara rinci data produksi ubi kayu di Provinsi Lampung pada tahun 2021 tersaji pada Tabel berikut.

Tabel 2. Data produksi ubi kayu Provinsi Lampung Tahun 2021

No.	Kabupaten/Kota	Perkiraan Produksi Tahun 2021 (ton)			Jan-Des
		SRI	SRII	SRIII	
1	Lampung Barat	659	1.311	1.299	3.269
2	Tanggamus	1.292	1.262	1.504	4.058
3	Lampung Selatan	30.744	27.836	27.745	86.325
4	Lampung Timur	288.169	294.708	351.182	934.059
5	Lampung Tengah	573.912	698.411	936.196	2.208.519
6	Lampung Utara	354.143	291.528	393.664	1.039.335
7	Way Kanan	165.451	187.844	154.689	507.984
8	Tulang Bawang	193.040	204.543	180.417	578.000
9	Pesawaran	4.381	71.498	17.035	92.914
10	Pringsewu	532	9.382	5.352	15.266
11	Mesuji	13.632	16.255	8.776	38.663
12	Tulang Bawang Barat	203.572	188.195	287.790	679.557
13	Pesisir Barat	1.462	1.454	1.099	4.015
14	Bandar Lampung	607	529	386	1.522
15	Metro	-	659	456	1.115
	PROVINSI	1.831.597	1.995.414	2.367.590	6.194.601

Sumber: Dinas Ketahanan Pangan dan Hortikultura Provinsi Lampung (2022)

Ubi kayu sebagian besar digunakan untuk bahan pangan (53%) dan sisanya sebagai pakan ternak, bahan baku atau bahan tambahan dalam industri pangan, dan sebagai sumber *bioethanol* (Frediansyah, 2018). Indonesia memiliki dua belas varietas ubi kayu unggul yang terdiri atas enam varietas dengan kandungan HCN <40 ppm (sesuai untuk konsumsi langsung) dan enam varietas dengan kandungan HCN >40 ppm (untuk bahan baku industri). Sebagai bahan baku industri, kadar HCN yang tinggi tidak menjadi masalah karena sebagian besar HCN akan hilang pada proses pencucian, pemanasan, maupun pengeringan.

Ubi kayu lebih fleksibel bila digunakan sebagai bahan dasar yang akan diolah menjadi berbagai produk pangan. Ubi kayu tergolong ke dalam golongan karbohidrat yang mengandung pati dengan komponen utama amilopektin 80-90% dan amilosa 10-20% tergantung pada varietas dan umur panen (Winarno, 2004; Hidayat *et al.*, 2009; dan Nurdjanah *et al.*, 2020). Hasil penelitian Nurdjanah *et al.* (2020) menyatakan bahwa kadar pati dan komposisi pati (kandungan amilosa dan amilopektin) pada ubi kayu sangat dipengaruhi oleh umur panen, jenis varietas dan interaksi antara keduanya. Hal ini juga berpengaruh terhadap sifat dan karakteristik pati yang dihasilkannya. Komposisi kimia ubi kayu segar varietas *Kasetsart* (UJ-5) yang ditanam secara monokultur dengan umur panen sembilan bulan dapat dilihat pada Tabel 3 berikut. Pemanenan ubi kayu varietas *Kasetsart* pada umur lebih dari sembilan bulan karena telah memiliki kandungan pati yang maksimal antara 19-30% (Hafsah, 2003).

Tabel 3. Komposisi kimia ubi kayu varietas *Kasetsart* umur 9 bulan

Parameter	Jumlah (%)
Karbohidrat	37,51
Protein	1,07
Lemak	0,08
Air	59,91
Serat kasar	0,87
Abu	0,56

Sumber: Arief *et al.* (2022)

Hasil olahan utama dari ubi kayu yang dapat diaplikasikan pada berbagai produk olahan pangan adalah dalam bentuk pati dan tepung ubi kayu. Berbagai metode pengolahan ubi kayu menjadi pati dan tepung ubi kayu telah dilakukan untuk mendapatkan sifat dan karakteristik pati dan tepung ubi kayu yang dapat diaplikasikan dalam berbagai produk olahan pangan secara luas. Keterbatasan sifat fungsional pati dan tepung ubi kayu alami seperti menurunnya sifat viskositas setelah gelatinisasi, kurangnya kemampuan membentuk pasta dan gel, serta memiliki stabilitas rendah terhadap suhu, kondisi asam atau perlakuan mekanis (Bergthaller and Hollmann 2007; Hidayat *et al.*, 2009; Husniati dan Widhyastuti, 2013) menyebabkan perlu dilakukan rekayasa proses untuk meningkatkan sifat fungsionalnya (Dudu *et al.*, 2019).

Lebih jauh lagi rekayasa proses pengolahan pati dan tepung ubi kayu termodifikasi menjadi penting dilakukan untuk membentuk dan meningkatkan sifat-sifat fungsional yang penting untuk diaplikasikan di industri (Kaur *et al.*, 2007 dan Fitriah *et al.*, 2018). Pengolahan pati ubi kayu tradisional umumnya meliputi tahap pengupasan, pencucian, pamarutan, pemerasan/ekstraksi pati, pengendapan untuk mendapatkan *slurry* (pati ubi kayu), pengeringan, penggilingan, pengayakan hingga diperoleh pati ubi kayu atau tapioka (Mustafa, 2016), sedangkan, pengolahan tepung ubi kayu tradisional maupun termodifikasi tidak mengikutsertakan pati yang terlarut di dalam filtrat setelah tahap ekstraksi. Pati yang dihasilkan dibuang atau digunakan sebagai produk samping. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk memperbaiki karakteristik pati dan tepung ubi kayu, namun modifikasi yang dilakukan secara terpisah antara proses produksi pati ubi kayu termodifikasi atau tepung ubi kayu termodifikasi. Beberapa rekayasa proses untuk memodifikasi karakteristik pati dan tepung ubi kayu yang telah dilakukan peneliti dapat dilihat pada Tabel 4. Proses rekayasa baik secara fisik maupun kimiawi masih banyak menimbulkan masalah lingkungan terutama jumlah limbah padat dan residu bahan kimia yang digunakan. Saat ini, metode pengolahan pati yang lebih ramah lingkungan seperti metode fermentasi lebih banyak dipelajari karena memiliki prospek yang lebih menguntungkan dan lebih ramah lingkungan.

Teknologi modifikasi pati yang utama adalah secara fisik, kimia, enzimatis, dan genetik. Modifikasi kimia (asetilasi, oksidasi, ikatan silang, hidrosipropilasi, dan esterifikasi) banyak digunakan oleh industri untuk memodifikasi pati asli. Namun perlakuan secara kimia dapat berbahaya bagi konsumen, lingkungan dan bahkan dibatasi penggunaannya (seperti di bidang makanan dan farmasi). Saat ini, preferensi konsumen dan industri telah berfokus pada teknologi modifikasi yang lebih “ramah lingkungan” dan produk yang berkelanjutan.

Strategi untuk menghilangkan atau mengurangi limbah sebelum terjadi (*preventive strategy*), lebih baik daripada strategi pengolahan limbah atau pembuangan limbah yang telah ditimbulkan (*treatment strategy*). Produksi bersih (*cleaner production*) menjadi strategi yang tepat untuk diterapkan pada industri tapioka dengan tujuan melakukan efisiensi penggunaan sumber daya (bahan baku, energi, dan air) serta mengurangi limbah serta emisi. Berkel (2000) menyatakan bahwa ada lima tipe

pengecehan dalam pelaksanaan produksi bersih yaitu modifikasi produk, substitusi input, modifikasi teknologi, *good housekeeping*, dan daur ulang di tempat.

Modifikasi teknologi melalui pengembangan teknologi terintegrasi, dimana proses pengolahan dilaksanakan dalam satu kesatuan yang utuh untuk menghasilkan pati dan tepung ubi kayu termodifikasi diharapkan berperan di dalam penerapan produksi bersih.

Tabel 4. Rekayasa proses modifikasi pati dan tepung ubi kayu

No	Produk	Bahan baku	Metode Modifikasi	Pustaka
1	Tepung ubi kayu (pangan)	Ubi kayu dalam bentuk serpihan	Umbi singkong dikupas, dihaluskan, dipres menggunakan alat press hidrolik, dan ampas dihaluskan difermentasi menggunakan <i>Strain</i> murni <i>S. cerevisiae</i> selama 3 hari.	Oboh and Akindahunsi (2005) <i>Journal of Food Composition and Analysis</i> , 18, 731–738.
2	Tepung ubi kayu dan Gari (pangan)	Ubi kayu parut	Ubi kayu dikupas, cuci, dan diparut. Ampas ddiletakkan dalam baki dengan ketebalan lapisan 2 cm difermentasi menggunakan <i>S. cerevisiae</i> dan <i>R. oryzae</i> .	Oboh and Elusiyani (2007) <i>African Journal of Biotechnology</i> , 6(18), 2150–2157.
3	Pati ubi kayu termodifikasi	Suspensi pati	Fermentasi dengan <i>Lactobacillus manihotivorans</i> dan <i>L. fermentum</i> yang diisolasi dari gatot	Jayus <i>et al.</i> (2016) Prosiding Seminar Hasil Pertanian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi
4	Pati ubi kayu termodifikasi	Suspensi bubur ubi kayu	Fermentasi terendam (<i>sub-merged</i>) bubur ubi kayu di inokulasi dengan kultur campuran <i>S. cerevisiae</i> dan <i>L. plantarum</i>	Kustyawati <i>et al.</i> (2017) <i>Microbiology Indonesia</i> , 11 (3): 103-109.
5	Tepung ubi kayu termodifikasi	Mocaf (tepung)	Tepung ubi kayu termodifikasi (mocaf) difermentasi menggunakan starter mocaf dan perlakuan lama fermentasi	Putri <i>et al.</i> (2018) <i>Jurnal Agroteknologi</i> , Vol. 12 No. 01 (2018)
6	Pati ubi kayu termodifikasi	Ubi kayu dalam bentuk potongan	Ubi singkong, dicuci dengan 250 ppm klorin, kupas, potong, ditambahkan air (2L per kg) digiling, biarkan 24 jam pada 4°C kemudian disaring. Pati dikeringkan dengan oven suhu 40°C hingga kering.	Díaz <i>et al.</i> (2018) <i>LWT - Food Science and Technology</i> (2018), doi: 10.1016/j.lwt.2018.03.029
7	Pati ubi kayu termodifikasi	Pati ubi kayu komersil	Penelitian ini meneliti dan mengoptimalkan kondisi kelembaban, suhu, dan waktu sehubungan dengan sifat pati singkong. Kondisi yang optimal untuk pati singkong masing-masing 27%, 120° C dan 21 menit.	Dudu <i>et al.</i> (2019) <i>International Journal of Biological Macromolecules</i> 133 (2019) 1219-1227

Tabel 4. Lanjutan

No	Produk	Bahan baku	Metode Modifikasi	Pustaka
8	Pati ubi kayu termodifikasi	Pati ubi kayu komersil	Modifikasi melalui pemberian perlakuan pH sebelum pemberian panas-kelembaban (HMT).	Chatpapamon <i>et al.</i> (2019) <i>Polymers</i> 215 (2019) 338-347.
9	Pati ubi kayu termodifikasi	Ubi kayu parut	Modifikasi dilakukan melalui hidroksiopropilasi menggunakan propilena oksida (8, 10, dan 12%) yang dilanjutkan ikat silang dengan kombinasi sodium tripolipospat (STTP) dan sodium fosfat (STMP) dengan rasio 2%; 5%.	Faridah dan Thonthowi (2020) <i>Jurnal Mutu Pangan</i> Vol. 7(1): 30-37, 2020.
10	Tepung ubi kayu modifikasi rendah amilosa	Ubi kayu dalam bentuk chip 1 mm	Ubi kayu, diiris tipis dengan ketebalan 1 mm, diblansing, ditiriskan, dikeringkan, dan digiling menjadi tepung. Modifikasi secara fisik dengan pemanasan	Pratiwi <i>et al.</i> (2020) <i>Jurnal Penelitian Pascapanen Pertanian</i> Volume 17 No.2 September 2020:47 - 55
11	Pati ubi kayu termodifikasi	Pati singkong komersil	Modifikasi melalui pemberian ozon (O ₃) dan perlakuan pemanasan kering (DHT)	Lima <i>et al.</i> (2021) <i>Journal International Journal of Biological Macromolecules</i> (2018), https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.11.046
12	Tepung ubi kayu termodifikasi	Tepung singkong alami	Tepung singkong alami dimodifikasi menggunakan fermentasi spontan dan <i>heat moisture treatment</i>	Pasca <i>et al.</i> (2022) <i>Jurnal Mutu Pangan</i> Vol. 8(2): 97-1014

1.2 Rumusan Permasalahan

Pati adalah karbohidrat yang merupakan polimer glukosa, dan terdiri atas amilosa dan amilopektin. Pemanfaatan pati alami masih sangat terbatas karena sifat fisik dan kimianya kurang sesuai untuk digunakan secara luas pada produk pangan. Modifikasi sifat pati melalui perlakuan fisik, kimia, atau kombinasi keduanya akan meningkatkan penggunaan produk ini menjadi lebih luas sekaligus meningkatkan nilai ekonomisnya.

Tepung ubi kayu yang telah dimodifikasi atau dikenal dengan *Modified Cassava Flour* (Mocaf) merupakan produk ubi kayu yang masih terus dikembangkan sampai saat ini. Mocaf merupakan produk turunan dari tepung ubi kayu menggunakan prinsip modifikasi tepung ubi kayu secara fermentasi. Mocaf

memiliki sifat fisik yang lebih baik dibandingkan tepung ubi kayu dalam hal viskositas, kemampuan membentuk gel, kapasitas rehidrasi, dan kelarutan (Frediansyah, 2018).

Selama ini, pati dan tepung ubi kayu dihasilkan melalui proses yang terpisah tergantung pada tujuan produk akhir yang ingin diperoleh. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk memperbaiki karakteristik fisik, kimia, dan sifat-sifat fungsional pati dan tepung ubi kayu yang dihasilkan. Salah satu metode yang digunakan untuk memodifikasi karakteristik dan sifat fungsional tepung dan pati ubi kayu adalah metode fermentasi. Penelitian-penelitian terdahulu menunjukkan bahwa proses fermentasi akan meningkatkan kelarutan dan *swelling power*, meningkatkan viskositas dan suhu gelatinisasi. Metode fermentasi dianggap aman dan ramah lingkungan sehingga sejalan dengan isu *green technology* dan permintaan terhadap pati dengan sifat fungsional yang lebih baik. Proses fermentasi yang terlibat pada pengolahan tepung dan pati ubi kayu memberikan efek yang menjanjikan untuk dikembangkan sebagai teknologi pengolahan ubi kayu ramah lingkungan. Perbedaan karakteristik pati dan tepung ubi kayu mengakibatkan aplikasinya ke produk akan berbeda-beda, tergantung dari mutu produk yang diharapkan. Potensi aplikasi pati dan tepung ubi kayu pada produk pangan dapat dilihat dari keunggulan karakteristik yang dimilikinya.

Tahapan perendaman merupakan salah satu tahapan proses yang penting dalam produksi pati dan tepung ubi kayu termodifikasi yang juga berfungsi sebagai tahap fermentasi untuk memperbaiki karakteristik pati dan tepung ubi kayu yang dihasilkan. Putri *et al.* (2018) menyatakan bahwa lama fermentasi berpengaruh terhadap karakteristik mocaf yang dihasilkan terutama derajat putih, *swelling power*, dan sifat sineresis. Sedangkan produk *garri* adalah produk tepung granular dengan rasa fermentasi asam lengket yang terbuat dari umbi ubi kayu segar yang digelatinisasi. Lama fermentasi ubi kayu berpengaruh terhadap kualitas *garri* yang dihasilkan, baik sifat sensoris maupun atribut mutu lainnya termasuk faktor anti nutrisi. (Irtwange and Achimba, 2009; Olaoye *et al.*, 2015).

Namun proses yang berkembang saat ini, masih dengan tujuan menghasilkan produk utama berupa pati atau tepung ubi kayu. Untuk itu, perlu dikembangkan proses yang dapat menghasilkan pati dan tepung ubi kayu

termodifikasi secara bersamaan di dalam satu proses yang terintegrasi. Istilah terintegrasi digunakan untuk menyatakan bahwa proses yang dilaksanakan untuk menghasilkan pati dan tepung ubi kayu dilakukan secara bersamaan dalam satu rangkaian proses yang utuh. Proses pengolahan pati dan tepung ubi kayu yang terintegrasi termasuk proses yang ramah lingkungan (*clean process*) karena menghasilkan limbah cair yang lebih sedikit. Pengembangan proses yang mengadopsi proses pembuatan pati dan tepung ubi kayu yang digabungkan dalam satu proses produksi akan mengefisienkan produk utama yang dihasilkan, energi yang digunakan, serta limbah dan beban pencemaran yang dihasilkan menjadi berkurang.

1.3 Tujuan Penelitian

Secara umum penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan teknologi pengolahan ubi kayu menjadi pati dan tepung ubi kayu termodifikasi secara terintegrasi dan ramah lingkungan.

Secara khusus penelitian ini bertujuan untuk:

- (1) Mengembangkan teknologi pengolahan ubi kayu secara terintegrasi untuk menghasilkan pati dan tepung ubi kayu termodifikasi
- (2) Melakukan karakterisasi pati dan tepung ubi kayu termodifikasi yang dihasilkan dari pengembangan teknologi pengolahan ubi kayu secara terintegrasi
- (3) Melakukan kajian terhadap efisiensi pemanfaatan sumberdaya ubi kayu dan beban pencemaran yang dihasilkan dari pengembangan teknologi pengolahan ubi kayu secara terintegrasi.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini antara lain:

- (1) Menghasilkan teknologi pengolahan ubi kayu menjadi pati dan tepung ubi kayu termodifikasi secara terintegrasi yang lebih ramah lingkungan dan bernilai tambah tinggi.
- (2) Diperolehnya sumber pangan pokok alternatif berupa pati dan tepung ubi kayu termodifikasi yang dihasilkan dari proses pengolahan ubi kayu yang terintegrasi dan ramah lingkungan.
- (3) Diperolehnya pati dan tepung ubi kayu termodifikasi dengan karakteristik unggul yang dapat diaplikasikan secara luas pada produk pangan.
- (4) Meningkatkan efisiensi proses pemanfaatan sumberdaya ubi kayu.

1.5 Nilai Kebaruan dan Kedalaman

Penelitian terkait teknologi proses pembuatan pati ubi kayu termodifikasi dan tepung ubi kayu termodifikasi telah banyak dilakukan untuk memperbaiki masing-masing sifat dan karakteristiknya. Modifikasi terhadap pati ubi kayu antara lain di laporkan oleh Faridah dan Thonthowi (2020), yang memodifikasi pati ubi kayu melalui proses gabungan hidrosipropilasi dengan fosfat-ikat silang. Penelitian yang dilakukan Castro *et al.* (2020), memberikan tekanan tinggi untuk menghasilkan pati termodifikasi, serta penelitian Widyatmoko *et al.* (2018) menghasilkan pati termodifikasi secara fermentasi menggunakan khamir *Indigenus* Tapi, dan Kartikasari *et al.* (2016) memodifikasi pembuatan pati termodifikasi secara biologi. Penelitian terkait pembuatan tepung ubi kayu termodifikasi, juga telah banyak dilakukan, antara lain dilaporkan oleh Putri *et al.* (2018) menghasilkan mocaf menggunakan perbedaan metode penggilingan basah dan kering dengan berbagai lama waktu fermentasi, dan Hidayat *et al.* (2009) telah menghasilkan tepung ubi kayu termodifikasi dengan cara pragelatinisasi parsial. Namun, umumnya produk yang dihasilkan hanya satu produk saja, apakah berupa pati ubi kayu termodifikasi atau tepung ubi kayu termodifikasi yang dikenal dengan Mocaf.

Beberapa hal yang menjadi kebaruan dalam penelitian ini adalah:

- (1) Pengembangan teknologi pengolahan ubi kayu yang terintegrasi menjadi pati dan tepung ubi kayu termodifikasi di dalam satu kesatuan sistem pengolahan yang lebih ramah lingkungan.
- (2) Kajian terhadap karakteristik fisik, kimia, mikrostruktur dan sifat fungsional pati dan tepung ubi kayu termodifikasi melalui proses fermentasi secara alami di dalam proses pengolahan yang terintegrasi.
- (3) Kajian terhadap beban pencemaran yang dihasilkan dari sistem pengolahan ubi kayu termodifikasi secara terintegrasi.

1.6 Capaian Penelitian

Beberapa capaian hasil penelitian antara lain:

- (1) Publikasi hasil penelitian dengan judul “*Physicochemical Characteristics and Pasting Properties of Modified Cassava Starch and Flour by Integrated Processing Technology*” pada *Journal Food Science and Technology* 11(1): 7-18, 2023. *Horizon Research Publishing Corporation, USA*.
- (2) Draft jurnal dengan judul “*Fermentation Profile and Morphological Modified Cassava Starch Granules Characteristic Proceeds by Integrated Cassava Processing Technology*”.
- (3) Draft jurnal dengan judul “Evaluasi Kualitas Air Limbah yang Dihasilkan dari Pengembangan Teknologi Pengolahan Ubi Kayu Terintegrasi melalui Proses Fermentasi Alami”.
- (4) Draft Paten Sederhana dengan judul “Metode Pembuatan Pati dan Tepung Ubi Kayu Termodifikasi Melalui Penerapan Proses Fermentasi Alami secara Terintegrasi”.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Ubi Kayu dan Potensinya

Ubi kayu (*Manihot esculenta*) atau yang dikenal dengan nama Singkong merupakan tanaman yang memiliki peran penting dalam sistem pangan global yang menyediakan ketahanan pangan di negara-negara berkembang (Scott *et al.*, 2000). Saat ini, komoditas ubi kayu memainkan peran penting sebagai makanan pokok bagi jutaan orang di dunia karena kandungan karbohidratnya yang tinggi (Blagbrough *et al.*, 2010). Tahun 2019, ubi kayu menduduki urutan tanaman penting ke enam di dunia setelah gandum, beras, jagung, kentang, dan barley (Saranraj *et al.*, 2019).

Indonesia merupakan negara yang kaya akan sumber daya alam. Salah satu kekayaan alam Indonesia adalah ubi kayu. Tahun 2018, produksi ubi kayu Indonesia mencapai 19.341.233 ton (BPS, 2019) sehingga menjadikan Indonesia sebagai produsen ubi kayu ketiga di dunia setelah Nigeria dan Thailand.

Ubi kayu merupakan salah satu sumber karbohidrat utama bagi jutaan orang sehingga menjadi makanan pokok ketiga setelah beras dan jagung. Awalnya, ubi kayu dianggap sebagai “makanan orang marjinal”, tetapi ubi kayu saat ini telah tumbuh secara signifikan dalam dunia pertanian. Penghasil utama ubi kayu di Indonesia adalah Jawa (56,6%), diikuti Provinsi Lampung (20,5%), dan provinsi lainnya (22,9%). Ubi kayu memainkan peran penting dalam ketahanan pangan karena sifatnya yang menguntungkan seperti toleran terhadap kekeringan dan kemampuannya untuk tumbuh di lingkungan marjinal, sedangkan tanaman lain memiliki kelemahan untuk tumbuh. Hal ini, menjadikan ubi kayu sebagai tanaman prioritas negara-negara berkembang karena memiliki toleransi tinggi terhadap kekeringan dan kondisi iklim yang keras, dan mampu tetap produktif ditanah miskin unsur hara dan tanah marjinal.

Di Indonesia, 53% ubi kayu digunakan sebagai produk pangan, dan sisanya digunakan sebagai pakan ternak, bahan baku industri pangan, dan sebagai bahan

baku bioethanol. Beberapa varietas tanaman ubi kayu yang umumnya di tanam di Indonesia dan Provinsi Lampung adalah varietas UJ-5 (*Kasetsart*) yang mampu berproduksi tinggi dan memiliki kadar pati yang tinggi (Asnawi dan Arief, 2008). Beberapa varietas ubi kayu yang banyak di tanam di Provinsi Lampung dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Beberapa varietas ubi kayu unggulan

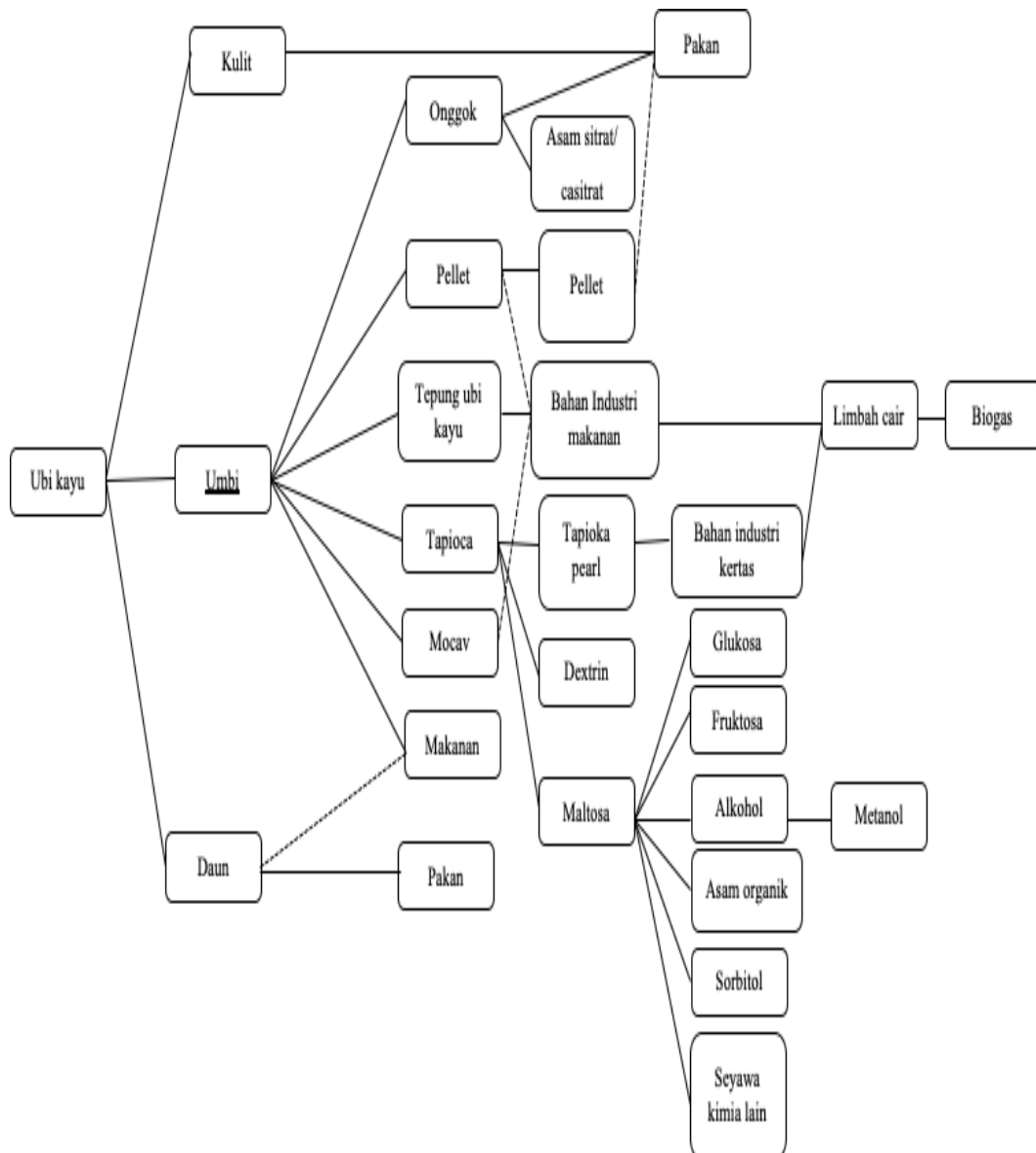
Varietas	Umur (bulan)	Kadar pati (%)	Produksi (ton/ha)
UJ-3 (Thailand)	8 - 10	25 – 30	35 – 40
UJ-5 (<i>Kasetsart</i>)	10 – 12	30 – 36	45 – 60
Malang-6	9 – 10	25 – 32	35 – 38
Barokah (Lokal)	9 - 10	25 – 30	35 – 40

Sumber: Asnawi dan Arief (2008)

Salah satu varietas unggul yang banyak di tanam di Provinsi Lampung adalah UJ-5 (*Kasetsart*) yang dilepas pada tahun 2000 dengan umur panen 9–10 bulan, hasil rata-rata produksi 31 ton/ha, memiliki kandungan HCN >100 (mg/kg), kadar pati 19–30% basis basah; rendeman tepung 46%. Karakter lain yang dimiliki varietas UJ-5 (*Kasetsart*) adalah termasuk umbi pahit dengan daging umbi berwarna putih (Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi, 2016). Perbedaan varietas dan umur panen akan mempengaruhi sifat fisikokimia ubi kayu yang dihasilkan. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Nurdjanah *et al.* (2020) yang menyatakan bahwa umur panen akan mempengaruhi sifat fisikokimia ubi kayu yang dihasilkan.

Saat ini, ubi kayu menjadi salah satu trend industri pangan Indonesia karena bentuk pati ubi kayu termodifikasi dan tepung ubi kayu termodifikasi atau yang biasa disebut *Modified Cassava Flour* (Mocaf). Mocaf merupakan produk turunan dari tepung ubi kayu yang menggunakan prinsip modifikasi tepung ubi kayu selama fermentasi. Mocaf memiliki sifat fisik yang lebih baik dibandingkan tepung ubi kayu alami dalam hal viskositas, kemampuan membuat gel, kapasitas rehidrasi, dan kelarutan. Selain itu, mocaf memiliki aroma dan sifat sensorik yang lebih disukai sebagai hasil fermentasi. Aroma aslinya ditutupi oleh senyawa organik yang mudah

menguap seperti asam laktat, asam asetat atau alkohol. Keunggulan lainnya adalah produknya bisa cepat dicerna saat tertelan karena strukturnya yang sederhana yang terbentuk sebagai hasil fermentasi mikroba. Kualitas mocaf bergantung pada metode yang digunakan. Beberapa produk olahan yang dapat dihasilkan dari tanaman ubi kayu dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Pohon industri ubi kayu

Sumber: Hasil pembaruan dari pedoman budidaya ubi kayu di Indonesia (Saleh *et al.*, 2016)

2.2 Pati dan Tepung Ubi Kayu Termodifikasi

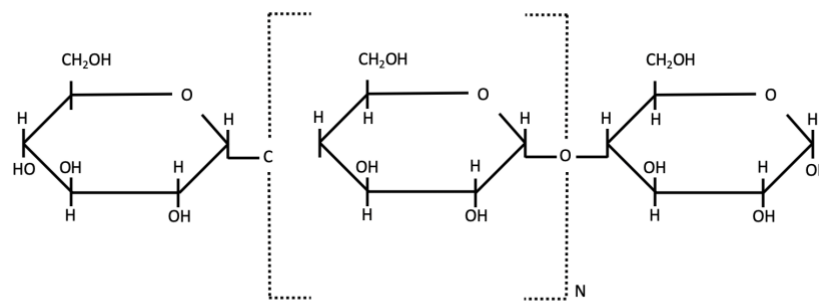
Saat ini, ubi kayu menjadi salah satu trend industri pangan Indonesia karena bentuk modifikasinya yang disebut mocaf dapat memberikan karakteristik yang hampir sama dengan tepung terigu (tepung gandum). Fakta tersebut membuat nilai ekonomi ubi kayu menjadi semakin meningkat. Produk antara yang memiliki potensi untuk dikembangkan dan memiliki nilai ekonomis tinggi adalah pati dan tepung ubi kayu. Pati adalah salah satu sumber energi yang penting bagi manusia. Pati merupakan polisakarida cadangan glukosa yang ada dalam tanaman yang merupakan konstituen umum dari tanaman tingkat tinggi ditemukan di daun, akar, pucuk dan umbi. Pati disimpan sebagai butiran dengan berbagai bentuk, ukuran, dan komposisi yang berbeda tergantung pada bahan baku sumber pati.

Pati merupakan makronutrien dalam beberapa makanan dan persediaan 50-80% kalori yang dikonsumsi oleh sebagian besar masyarakat (Copeland *et al.*, 2009). Secara umum, pati terdiri dari dua glukukan, amilosa linear dan amilopektin bercabang, yang sifat fisikokimia dan struktur halus molekuler memainkan peran penting dalam menentukan kualitas makanan berbasis pati dan produk non-makanan. Pati tersusun oleh 2 kelompok polisakarida yaitu amilosa (20-30%) dan amilopektin yang merupakan komponen utama sebagian besar pati (70-80%) dengan panjang rantai rata-rata 20-30 monomer dengan derajat polimerisasi sekitar 10.000-100.000 (Bergthaller and Hollmann, 2007). Kandungan amilosa, pati resisten, gelatinisasi pati, sifat retrogradasi dan parameter granula dipengaruhi oleh varietas dan lokasi tempat tumbuh tanaman (Tappiban *et al.* 2020). Butiran pati juga mengandung sejumlah kecil (0,5-2% b/b) polisakarida non pati, lipid, protein, dan abu (Copeland *et al.*, 2009).

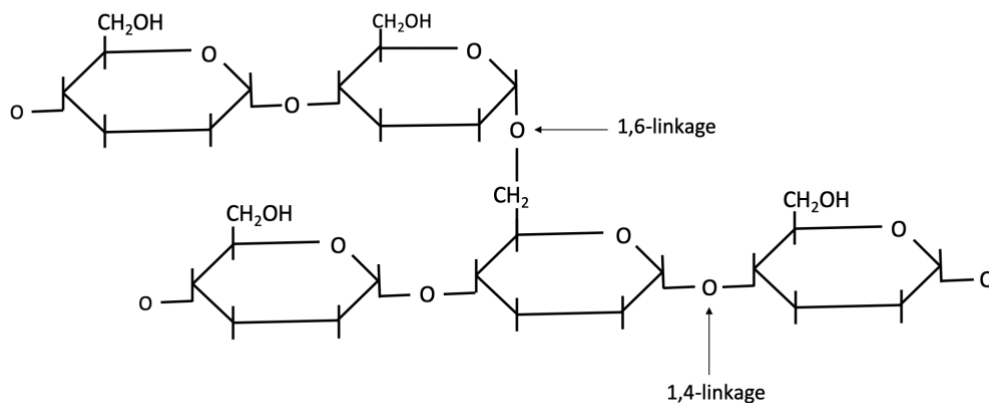
Pati dapat dikategorikan dengan beberapa cara yang berbeda. Menurut Santana and Meireles (2015), pati dapat diklasifikasikan sebagai konvensional atau non-konvensional menurut sumber botaninya. Beberapa contoh sumber konvensional adalah jagung, gandum, dan beras, sementara pati dari apel dan kacang polong dianggap sebagai non-konvensional.

Kriteria lain untuk mengklasifikasikan pati adalah cepat dicerna, lambat dicerna, atau pati resisten sesuai dengan kecepatan hidrolisis oleh enzim pencernaan. Pati resisten didefinisikan sebagai fraksi pati, yang lolos dari pencernaan di usus kecil dan masuk ke usus besar di mana sedikit banyak difermentasi oleh mikroflora usus. Pati resisten dianggap sebagai komponen fungsional makanan karena manfaat kesehatan yang diberikannya setelah dikonsumsi. Cara ketiga untuk mengklasifikasikan pati berdasarkan tidak adanya modifikasi (pati asli) atau dimodifikasi (pati yang dimodifikasi).

Bao *et al.* (2020) dalam Tappiban *et al.* (2020) menyatakan bahwa struktur molekuler adalah salah satu faktor yang paling penting yang mempengaruhi sifat fungsional pati. Struktur kimia amilosa dan amilopektin dapat dilihat pada Gambar 2 dan 3.

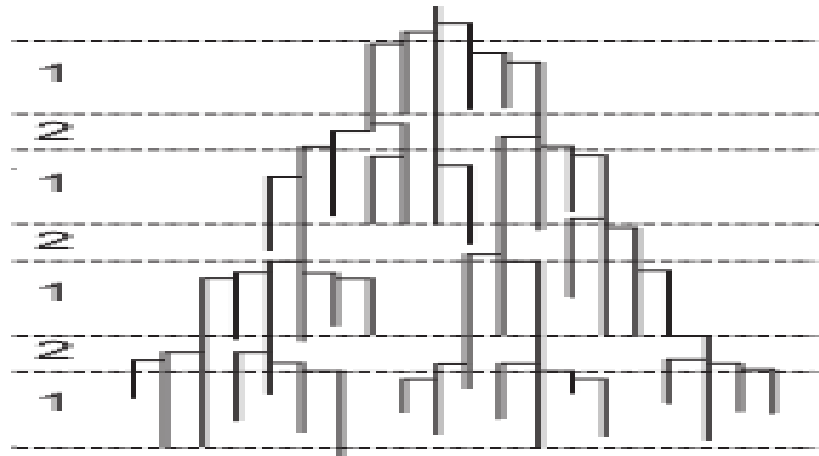


Gambar 2. Struktur rantai linier molekul amilosa
Sumber: Beynun and Roels (1985)



Gambar 3. Struktur titik percabangan amilopektin
Sumber: Beynun and Roels (1985)

Selain itu, pati terdiri dari bagian yang bersifat kristalin dan amorf, dengan letak berselang membentuk cincin berlapis mengelilingi hilum. Bagian kristalin berisi ikatan pendek dari amilopektin yang berklaster-klaster. Bagian amorf berisi percabangan amilopektin dan amilosa (Liu, 2005). Model molekul amilopektin pada daerah kristalin dan amorf dapat dilihat pada Gambar berikut.



Gambar 4. Struktur amilopektin pada daerah kristalin (1) dan amorf (2)
Sumber: Liu (2005)

Pati alami memiliki beberapa kekurangan seperti tidak larut dalam air, kurangnya pasta atau gel yang halus dan stabil dari retrogradasi, stabilitas rendah terhadap suhu yang lebih tinggi dan stabilitas rendah terhadap keasaman. Untuk memanfaatkan pati lebih luas dalam pembuatan produk pangan atau untuk aplikasi industri, telah banyak dikembangkan teknik-teknik untuk mengoptimalkan sifat pati untuk tujuan tertentu. Pati dapat dimodifikasi secara fisik, kimiawi, ikat silang, dan penambahan mikroba melalui proses fermentasi. Penyiapan bahan baku merupakan salah satu langkah penting dalam menghasilkan pati termodifikasi yang berkualitas.

Selain pati, dihasilkan pula tepung ubi kayu termodifikasi (Mocaf) merupakan produk turunan dari tepung ubi kayu menggunakan prinsip modifikasi tepung ubi kayu selama fermentasi. Mocaf memiliki sifat fisik yang lebih baik dibandingkan tepung ubi kayu alami dalam hal viskositas, kemampuan membentuk gel, kapasitas rehidrasi, dan kelarutan.

Selain itu, mocaf memiliki aroma dan sensorik yang lebih disukai sebagai hasil fermentasi. Aroma aslinya ditutupi oleh senyawa organik yang mudah menguap seperti asam laktat, asam asetat atau alkohol. Keunggulan lainnya adalah produknya bisa cepat dicerna karena strukturnya sederhana yang terbentuk sebagai hasil fermentasi mikroba. Mocaf dihasilkan melalui berbagai cara, akan tetapi dapat menghasilkan karakteristik yang serupa. Masyarakat Amerika Latin sangat menyukai tepung ubi kayu untuk dibuat produk makanan yang digoreng, roti keju tradisional, dan makanan panggang lainnya (Lacerda *et al.*, 2005). Di Indonesia, tepung ubi kayu termodifikasi (Mocaf) banyak digunakan untuk berbagai jenis olahan pangan antara lain *bakery*, *cake*, *cookies* dan makanan yang digoreng, dipanggang, dan sejenisnya.

Secara umum, mocaf diproduksi dengan tahapan: (1) persiapan, (2) pengupasan, pencucian, pengirisan/pemotongan, dan perendaman, (3) fermentasi, (4) pengeringan, penggilingan, pengemasan dan penyimpanan. Tepung mocaf mempunyai aroma, rasa, sifat kimia dan sifat fisik yang berbeda dari tepung ubi kayu konvensional. Karakteristik tepung ubi kayu mengalami perbaikan selama fermentasi mikroba dan penambahan perlakuan fisik. Selain itu, mocaf tidak memiliki kandungan gluten sehingga aman untuk orang yang memiliki intoleransi pada gluten (*gluten intolerant*). Hal ini adalah awal mula berkembangnya gangguan autoimun yang disebut penyakit *celiac*. Selain itu, kehadiran gluten bagi orang yang menderita penyakit *celiac* dapat merusak vili di saluran pencernaan manusia (Frediansyah, 2018).

2.3 Proses Fermentasi dalam Pembuatan Pati dan Tepung Ubi Kayu Termodifikasi

Fermentasi adalah salah satu metode pengolahan tradisional yang sudah digunakan sejak berabad-abad yang lalu. Proses fermentasi bertujuan untuk meningkatkan nilai nutrisi produk, meningkatkan rasa dan flavor makanan, meningkatkan nilai nutrisi produk, serta memperpanjang umur simpan produk pangan. Selama proses fermentasi, mikroorganisme secara fungsional mengubah konstituen kimia bahan baku sehingga meningkatkan nilai nutrisi produk dan memperbaiki rasa dan tekstur serta berpotensi menyehatkan dengan adanya senyawa bioaktif.

Selain itu, fermentasi merupakan teknik pengawetan pangan yang banyak dipakai di berbagai negara, antara lain Amerika Latin terutama Kolombia dan Brasil, Indonesia, serta Afrika yang melibatkan komunitas dari beragam spesies mikroorganisme dan bersifat *reproducible*, dapat dilakukan berulang kali dengan hasil yang serupa. Tujuan lain proses fermentasi dilakukan adalah untuk detoksifikasi makanan anti-nutrisi, impartasi aroma, rasa dan tekstur yang baik pada produk fermentasi. Fermentasi juga merupakan salah satu cara yang lebih murah untuk meningkatkan kualitas protein ubi kayu (Etsuyankpa *et al.*, 2015). Menurut Flibert *et al.* (2016), produk makanan fermentasi ubi kayu sudah sejak lama dilakukan dan dikonsumsi masyarakat Afrika. Berbagai produk fermentasi bertujuan untuk meningkatkan sifat fungsional pati, peningkatan aroma dan rasa, pengurangan komponen anti-nutrisi, serta penurunan nilai HCN yang ada pada tanaman ubi kayu.

Produk fermentasi dari ubi kayu memainkan peran sosial ekonomi yang penting di beberapa negara berkembang terutama di Benua Afrika dan Amerika Latin. Di Indonesia, produk fermentasi dari ubi kayu membantu ketahanan pangan masyarakat dengan menyediakan bahan pangan pokok alternatif. Proses fermentasi yang diterapkan pada pembuatan pati ubi kayu termodifikasi dan tepung ubi kayu termodifikasi, baik secara alami maupun dengan penambahan starter mikroba akan melibatkan Bakteri Asam Laktat (BAL) yang merupakan bakteri yang paling umum ada dalam produk pangan fermentasi. Secara luas BAL telah diaplikasikan pada fermentasi pangan di seluruh dunia dan diketahui bahwa BAL juga termasuk ke dalam mikroorganisme yang aman bagi manusia dengan status GRAS (*Generally Recognized as Safe*) (FDA, 2001; Yam *et al.*, 2015).

Bakteri asam laktat merupakan bakteri yang tersebar luas dan banyak dijumpai di lingkungan yang kaya akan karbohidrat, seperti tumbuhan, pangan fermentasi dan jaringan mukosa pada manusia, tanah dan hewan laut. BAL merupakan salah satu kelompok yang mendominasi selama fermentasi alami ubi kayu. Fardiaz (1988) menyatakan bahwa bakteri asam laktat terdiri dari dua kelompok yaitu bakteri asam laktat homofermentative, antara lain *Streptococcus*, *Pediococcus* dan beberapa spesies *Lactobacillus*, serta kelompok bakteri asam laktat heterofermentatif, antara lain *Leuconostoc* dan beberapa spesies

Lactobacillus. BAL dapat menghasilkan aktivitas enzim amilase secara maksimum pada suhu ruang (25-37⁰C) dan pada pH asam. Aktivitas enzim merupakan kemampuan enzim di dalam mengubah sejumlah mol substrat menjadi produk.

2.4 Produksi Bersih

Berdasarkan proses pengolahannya, industri pati (tapioka) digolongkan dalam dua kelompok yaitu kelompok industri kecil yang menggunakan mesin-mesin sederhana dengan kapasitas produksi rendah, modal kecil dan lebih banyak menggunakan tenaga kerja, dan kelompok kedua merupakan industri besar yang menggunakan mesin-mesin dengan kapasitas produksi besar, modal kuat dan tenaga kerja sedikit. Tahapan proses produksi industri tapioka skala kecil adalah tahap proses pengupasan bahan baku, pencucian bahan baku, pamarutan ubikayu, proses ekstraksi bubur ubikayu, proses pengendapan dalam bak pengendapan, proses penjemuran menggunakan panas matahari, Limbah dari industri pati dan tepung ubi kayu kaya akan bahan organik seperti pati, serat, protein, gula dan sebagainya. Komponen limbah ini merupakan bagian sisa pati yang tidak terekstrak serta komponen selain pati yang terlarut dalam air (Suroso, 2011).

Produksi bersih (*cleaner production*) menjadi suatu alternatif strategis yang dapat diterapkan dalam produksi pati (tapioka), karena jika tidak ditangani secara baik, limbah industri penghasil tapioka akan menghasilkan limbah padat, cair, dan gas yang berpotensi mencemari lingkungan sekitarnya.

Selain itu, dalam penerapan produksi bersih bertujuan membuat penggunaan bahan baku menjadi lebih efisien dan mengurangi jumlah limbah yang dihasilkan. Badan Pengendalian Dampak Lingkungan/Bapedal (1995), mendefinisikan Produksi Bersih sebagai suatu strategi pengelolaan lingkungan yang preventif dan diterapkan secara terus-menerus pada proses produksi, serta daur hidup produk dan jasa untuk meningkatkan eko-efisiensi dengan tujuan mengurangi risiko terhadap manusia dan lingkungan.

Berkel (2000) menyatakan bahwa ada lima tipe pencegahan dalam rangka pelaksanaan produksi bersih yaitu modifikasi produk (*product modification*), penggantian bahan baku (*input substitution*), modifikasi teknologi (*technology modification*), tata kelola yang baik (*good housekeeping*), dan daur ulang di dalam

industri (*on site recycling*). Produksi bersih berarti meningkatkan efisiensi pemakaian bahan baku, energi, mencegah atau mengganti penggunaan bahan-bahan berbahaya dan beracun, serta mengurangi jumlah dan tingkat racun semua emisi dan limbah sebelum meninggalkan proses (Purwanto, 2004). Fauzi *et al.* (2008) menambahkan bahwa untuk industri kecil tapioka sangat membutuhkan introduksiteknologi dengan tujuan memaksimalkan efisiensi proses produksinya. Konsumsi sumberdaya yang tinggi (air dan energi) dalam proses produksi pati, ditambah dengan biaya pengolahan limbah yang tinggi memerlukan integrasi pemulihan sumber daya dengan pengolahan limbah konvensional (Sanchez *et al.*, 2017).

Cleaner production merupakan suatu strategi pengelolaan lingkungan yang bersifat preventif dan terintegrasi untuk mencegah dan atau mengurangi terbentuknya limbah pada sumbernya pada keseluruhan siklus pembuatan suatu produk. Pengertian strategi produksi bersih bermakna sangat luas karena di dalamnya mencakup upaya pencegahan pencemaran, minimalisasi limbah, teknologi bersih, *and of pipe treatment* dan remediasi (Bapedal, 1995). Purwanto (2004) menyatakan bahwa penerapan produksi bersih di industri memadukan pendekatan efisiensi dan pencemaran menjadi dasar bagi pembangunan sektor industri yang berkelanjutan.

III. KERANGKA PEMIKIRAN DAN HIPOTESIS

3.1 Kerangka Pemikiran

Pati dan tepung ubi kayu merupakan salah satu komponen ingredient bahan pangan dengan aplikasi yang luas pada industri pangan dan non pangan. Pati adalah karbohidrat yang merupakan polimer glukosa, yang tersusun atas polisakarida dari molekul α -D-glukosa. Molekul pati terdiri atas fraksi amilosa linear dan amilopektin yang bercabang (Atichokudomchai *et al.*, 2000; Beninca *et al.*, 2008). Pati ubi kayu yang diperoleh dari ekstraksi secara benar akan memberikan warna putih dengan ukuran granula 5-35 μm dengan rata-rata ukurannya diatas 17 μm .

Rekayasa proses dilakukan untuk memperbaiki karakteristik gelatinisasi dan pemasakan, untuk meningkatkan kapasitas menahan air dari dispersi granula pati, meningkatkan karakteristik hidrolis, atau membuat granula pati lebih hidrofobik dari pati aslinya (Bergthaller and Hollman, 2007; Faridah dan Thonthowi, 2020). Dengan demikian, tepung ubi kayu yang dihasilkan dari proses modifikasi memiliki karakteristik yang spesifik tergantung proses pengolahan yang dilaluinya, salah satu contoh adalah tepung *modified cassava flour* (mocaf). Subagio *et al.* (2008) menyatakan bahwa mocaf merupakan tepung ubi kayu yang diproduksi dengan merekayasa sel ubi secara fermentasi. Beberapa rekayasa proses telah dilakukan oleh beberapa peneliti antara lain; Herawati (2011), memodifikasi secara biokimia dengan menambahkan enzim; Putri *et al.* (2018), memodifikasi mocaf dengan perbedaan pada metode penggilingan dan lama fermentasi. Mocaf memiliki sifat fisik yang lebih baik dibandingkan tepung ubi kayu dalam hal viskositas, kemampuan membentuk gel, kapasitas rehidrasi, dan kelarutan. Selain itu, mocaf memiliki aroma dan sensorik yang lebih disukai sebagai hasil fermentasi (Frediansyah, 2018).

Pengembangan proses pengolahan ubi kayu untuk menghasilkan pati dan tepung ubi kayu termodifikasi yang terintegrasi dapat dilakukan dengan cara

perendaman secara alami sehingga proses fermentasi berlangsung secara spontan. Fermentasi bertujuan untuk memperbaiki karakteristik pati dan tepung yang dihasilkan (Diaz *et al.*, 2018; Flibert *et al.*, 2016; Julianti, 2011; dan Subagio, 2010). Lama fermentasi dan suhu fermentasi meningkatkan kandungan amilosa pada pati ubi kayu (Meitha *et al.*, 2016). Proses produksi pati dan tepung ubi kayu yang terintegrasi dapat dilakukan dengan tujuan untuk mengefisienkan sumberdaya yang digunakan dan meminimalkan limbah yang dihasilkan. Hasanudin (2019) menyatakan bahwa sekitar 2,75 m³ air limbah dengan konsentrasi COD rata-rata 9.648 mg/L dihasilkan dari setiap ton ubi kayu di pabrik tapioka skala kecil.

3.2 Hipotesis

Beberapa hipotesis yang diajukan dalam penelitian ini adalah:

- (1) Teknologi pengolahan ubi kayu yang terintegrasi akan menghasilkan pati ubi kayu termodifikasi dan tepung ubi kayu termodifikasi dengan keunggulan karakteristik produk yang spesifik sehingga dapat diaplikasikan secara luas pada produk pangan
- (2) Metode fermentasi alami akan menghasilkan karakteristik dan sifat fungsional pati ubi kayu termodifikasi dan tepung ubi kayu termodifikasi yang lebih spesifik dan unggul.
- (3) Teknologi pengolahan ubi kayu menjadi pati dan tepung ubi kayu termodifikasi yang terintegrasi akan menghasilkan limbah yang lebih sedikit dan ramah lingkungan.

IV. TAHAPAN DAN RUANG LINGKUP PENELITIAN

4.1 Pengembangan Teknologi Pengolahan Ubi Kayu Menjadi Pati dan Tepung Ubi Kayu Termodifikasi secara Terintegrasi

4.1.1 Pendahuluan

Selama ini, produksi pati dan tepung ubi kayu dilakukan secara terpisah tergantung pada produk utama yang akan dihasilkan. Pati dan tepung ubi kayu yang diproses secara tradisional memiliki banyak kekurangan, antara lain tidak larut air, kehilangan viskositas setelah gelatinisasi, kurangnya pasta atau gel yang halus, kurangnya sifat retrogradasi, stabilitas rendah terhadap suhu dan kondisi asam serta tekanan geser mekanis. Proses untuk memperbaiki karakteristik tersebut dilakukan melalui rekayasa proses pengolahan pati dan tepung ubi kayu. Proses pengolahan ubi kayu yang terintegrasi untuk menghasilkan pati dan tepung termodifikasi secara bersamaan melalui proses fermentasi rendam (*sub merge fermentation*) dapat dikembangkan sebagai model teknologi pengolahan ubi kayu. Selama proses fermentasi berlangsung, mikroba yang secara alami ada di bahan (bakteri asam laktat/BAL) akan melakukan metabolisme menghasilkan enzim yang akan mendegradasi komponen pati menjadi molekul yang lebih sederhana. Teknologi ini diharapkan akan menghasilkan *yield* produk dengan karakteristik pati dan tepung ubi kayu yang lebih baik serta limbah yang lebih sedikit, sehingga mampu mengurangi beban pencemaran ke lingkungan.

Hasil penelitian Pingmuangek *et al.* (2017) menunjukkan bahwa proses pengolahan ubi kayu terintegrasi dapat meningkatkan efisiensi sumber daya, mengurangi kerugian serta memulihkan sumber daya dan limbah yang dihasilkan selama proses. Hal ini menunjukkan bahwa model pengolahan terintegrasi selain memastikan produksi lebih bersih juga mengurangi energi yang dibutuhkan. Konsumsi sumber daya yang tinggi (air dan energi) dalam proses produksi pati

ditambah dengan biaya pengolahan limbah yang tinggi memerlukan integrasi pemulihan sumberdaya dengan pengolahan limbah (Sánchez *et al.*, 2017).

Selain memastikan produksi yang lebih bersih dan mengurangi penggunaan energi, konsumsi air, dan polusi yang terkait dengan industri pati ubi kayu. Metode penanganan juga diperlukan untuk fasilitas produksi pati ubi kayu yang mematuhi standar debit. Penelitian Pingmuanglek *et al.* (2017), menunjukkan penggunaan air tawar sebanyak 25.000 ton untuk menghasilkan 1000 ton pati ubi kayu. Konsumsi air dalam proses ekstraksi menyumbang lebih dari 60% dalam rantai produksi, proses ekstraksi dan pemisahan adalah bagian utama karena mengkonsumsi sejumlah besar air dan sebagian besar massa ubi kayu termasuk bubur ubi kayu dipisahkan pada tahap-tahap ini. Lebih dari 81% energi digunakan di pabrik pati termasuk udara panas (53%) dan listrik (28%). Proses pengeringan adalah bagian utama pada penggunaan energi. Proses ini menggunakan panas lebih dari 68% dari total penggunaan energi dalam rantai produksi.

Proses produksi pati dan tepung ubi kayu yang terintegrasi, diharapkan akan mengurangi konsumsi sumberdaya yang digunakan, antara lain air sebagai bahan penolong, air limbah yang dihasilkan, dan energi yang digunakan. Saranraj *et al.* (2019) menyatakan bahwa ubi kayu menjadi sumber karbohidrat yang memiliki banyak kegunaan, terutama sebagai tanaman pangan biasa, tanaman komersial, dan semakin banyak digunakan sebagai pakan ternak, bahan baku untuk keperluan industri, dan juga untuk produk makanan.

4.1.2 Tujuan penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

- (1) Mengetahui pengaruh metode fermentasi menggunakan *system continue* dan *batch* dengan lama fermentasi terhadap sumberdaya yang digunakan seperti bahan baku ubi kayu, jumlah air yang digunakan, serta *yield/rendemen* yang dihasilkan.
- (2) Mengetahui pengaruh metode fermentasi menggunakan *system continue* dan *batch* dengan lama fermentasi terhadap proses fermentasi yang berlangsung seperti indikator pH air rendaman dan total bakteri asam laktat.

4.1.3 Bahan dan metode penelitian

1. Tempat dan Waktu

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Pengelolaan Limbah Agroindustri Fakultas Pertanian dan UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi Universitas Lampung, Laboratorium Teknologi Hasil Pertanian dan Analisis Politeknik Negeri Lampung, serta Laboratorium Balai Besar Teknologi Pati Lampung. Penelitian dilaksanakan dari bulan November 2021 sampai dengan April 2022.

2. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah ubi kayu varietas UJ-5 (*Kasetsart*) yang berumur 9-10 bulan. Ubi kayu diperoleh dari petani di Kabupaten Lampung Tengah. Bahan-bahan lain yang digunakan adalah bahan untuk analisis kimia dan analisis total bakteri asam laktat.

Peralatan utama yang digunakan untuk pengolahan ubi kayu merupakan peralatan yang didesain untuk proses fermentasi dengan *system continue* untuk menghasilkan pati dan tepung ubi kayu termodifikasi, kontainer untuk proses fermentasi *system continue* dan *batch*, timbangan, alat parut listrik, penggiling hammer mill, ayakan dengan ukuran saringan 100 mesh, pH meter, sentrifius, neraca analitik, penangas air, tabung reaksi, serta peralatan lainnya yang akan digunakan untuk analisis kimia dan total bakteri asam laktat.

3. Metode Penelitian

Penelitian terdiri dari beberapa tahapan sebagaimana terlihat pada Gambar 5. Penelitian dilakukan menggunakan Rancangan Acak Kelompok Lengkap (RAKL) faktorial 2 (dua) faktor dengan 3 (tiga) kali ulangan. Faktor pertama adalah *system* perendaman (P) yaitu perendaman dalam air mengalir/*system continue* (P1) dan perendaman dalam air tidak mengalir/*system batch* (P2). Faktor kedua adalah lama fermentasi (T) yang digunakan untuk memproduksi pati dan tepung ubi kayu termodifikasi, yaitu lama fermentasi 24 jam (T1), lama fermentasi 48 jam (T2), dan

lama fermentasi 72 jam (T3). Data yang diperoleh diuji homogenitas ragam dengan uji *Bartlett's*, dilanjutkan analisis ragam pada taraf 5% untuk mengetahui pengaruh perlakuan yang diberikan. Setelah asumsi terpenuhi dan jika berpengaruh nyata dilanjutkan dengan uji Beda Nyata Jujur pada taraf 5%. Tata letak percobaan penelitian dapat dilihat pada Tabel di bawah ini.

Tabel 6. Rancangan perlakuan penelitian

Kelompok I					
P ₁ T ₁	P ₂ T ₁	P ₁ T ₂	P ₂ T ₂	P ₁ T ₃	P ₂ T ₃
Kelompok II					
P ₂ T ₃	P ₁ T ₂	P ₂ T ₂	P ₁ T ₁	P ₁ T ₃	P ₂ T ₁
Kelompok III					
P ₂ T ₁	P ₁ T ₁	P ₁ T ₃	P ₁ T ₂	P ₂ T ₃	P ₂ T ₂

Keterangan:

P₁T₁: Perendaman *system continue* lama fermentasi 24 jam

P₁T₂: Perendaman *system continue* lama fermentasi 48 jam

P₁T₃: Perendaman *system continue* lama fermentasi 72 jam

P₂T₁: Perendaman *system batch* lama fermentasi 24 jam

P₂T₂: Perendaman *system batch* lama fermentasi 48 jam

P₂T₃: Perendaman *system batch* lama fermentasi 72 jam

4.1.4 Pelaksanaan penelitian

Tahapan penelitian yang akan dilakukan meliputi pembuatan pati ubi kayu termodifikasi dan tepung ubi kayu termodifikasi menggunakan teknologi yang terintegrasi yang dikembangkan dari modifikasi metode pembuatan beras aruk (Santoso *et al.*, 2012) dan pembuatan *garri* (Ogbo and Okafor, 2015) dengan tahapan sebagai berikut:

- (1) Penimbangan Ubi kayu sebanyak 10 kg, pengupasan kulit coklat dan putihnya
- (2) Melakukan pencucian ubi kayu hingga bersih (dihitung jumlah air yang digunakan)
- (3) Melakukan pengecilan ukuran ubi kayu menjadi bentuk potongan ubi kayu bulat berukuran 5 cm.

- (4) Perendaman potongan ubi kayu dalam wadah yang telah berisi air dengan jumlah tertentu untuk 2 metode perendaman: (1) perendaman dalam wadah yang berisi air dan dialiri air dengan debit aliran air yang sama untuk *system continue* dan (2) perendaman dalam wadah yang berisi air dengan jumlah tetap untuk *system batch*.
- (5) Perlakuan lama fermentasi selama 24, 48, dan 72 jam.
- (6) Selama proses fermentasi berlangsung, penghitungan jumlah air yang digunakan sebagai bahan pembantu dan jumlah air yang keluar dihitung sebagai limbah.
- (7) Setelah 24, 48, dan 72 jam, potongan ubi kayu diangkat dan ditiriskan untuk selanjutnya diparut dengan menggunakan mesin parut listrik.
- (8) Selanjutnya dilakukan proses ekstraksi pati dengan menambahkan air sebanyak 1:1 dan dilakukan pemisahan filtrat dan *fiber/ampas* dengan kain saring.
- (9) Pengeringan *fiber/ampas* ubi kayu yang diperoleh dalam oven hingga kering (kadar air kurang dari 13%) pada suhu 60°C.
- (10) Pengendapan filtrat dilakukan selama kurang lebih 8 jam, untuk selanjutnya diambil endapan (pati) dan dikeringkan dengan oven suhu 60°C hingga kadar air kurang dari 13%.
- (11) Pati dan tepung ubi kayu termodifikasi yang dihasilkan selanjutnya akan diuji karakteristiknya pada tahapan penelitian selanjutnya.

Teknologi pengolahan pati dan tepung ubi kayu termodifikasi secara lengkap dapat dilihat pada Gambar 5.

4.1.5 Pengamatan

- (1) Total bakteri asam laktat (Hidayah, 2016)

Sebanyak 5 g sampel dimasukkan ke dalam 45 ml larutan NaCl fisiologis 0.85%. Selanjutnya dibuat pengenceran bertingkat 10^{-1} sampai 10^{-7} lalu diinokulasikan pada media *de man rogosa sharpe agar* (MRSA) + CaCO_3 0.5% dengan teknik *double layer* dan diinkubasi pada suhu 37 °C selama 48 jam. Setiap cawan dengan kriteria >30 dan <300 koloni dihitung secara

manual. Jumlah koloni BAL yang ditandai dengan zona bening disekitar koloni dinyatakan sebagai log unit jumlah koloni (cfu) per mili liter sampel.

(2) pH atau total asam air rendaman ubi kayu (menggunakan pH meter)

Pengukuran pH air rendaman diukur secara langsung menggunakan pH meter. Sedangkan pengukuran pH pati dan tepung ubi kayu termodifikasi dilakukan dengan terlebih dahulu membuat suspensi sampel dengan konsentrasi 10%. Selanjutnya, sampel didiamkan agar mengendap pada suhu ruang selama 30 menit. Selanjutnya suspensi pati disentrifius dengan kecepatan 3000 rpm selama 10 menit pada suhu 27°C. Supernatan yang diperoleh di ukur pH nya dengan menggunakan pH meter.

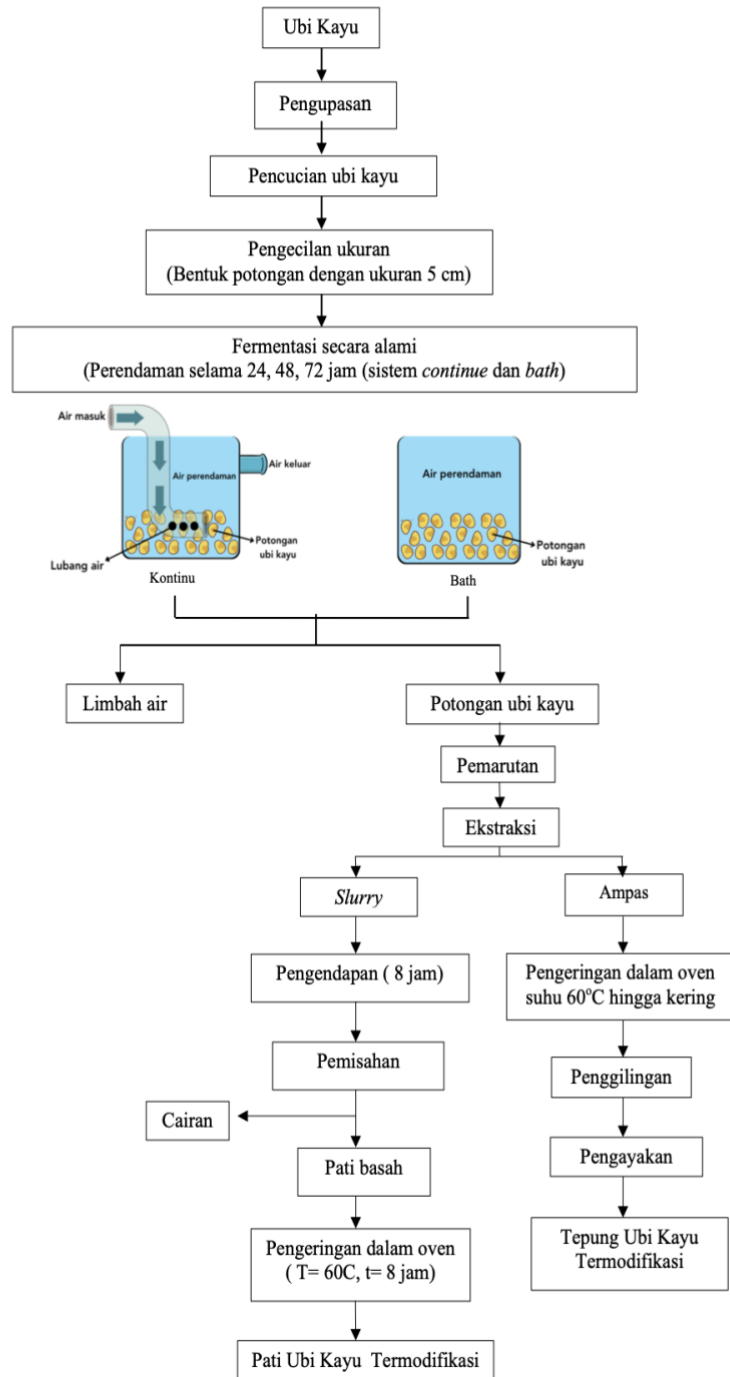
(3) Rendemen pati dan tepung ubi kayu termodifikasi yang dihasilkan

Rendemen pati dan tepung ubi kayu termodifikasi dilakukan dengan membandingkan berat pati ubi kayu termodifikasi hasil ekstraksi atau tepung ubi kayu termodifikasi yang dihasilkan dengan berat umbi ubi kayu yang digunakan.

$$\text{Rendemen} = \frac{\text{Berat pati atau tepung ubi kayu yang dihasilkan (g)}}{\text{Berat bahan baku ubi kayu yang digunakan (g)}} \times 100\%$$

(4) Jumlah air yang digunakan selama proses produksi

Jumlah air yang digunakan untuk proses produksi pati dan tepung ubi kayu termodifikasi dihitung mulai dari air pencucian, air perendaman, dan jumlah air yang dialirkan untuk *system continue*, serta air yang digunakan untuk proses ekstraksi pati.



Gambar 5. Diagram alir proses produksi pati dan tepung ubi kayu termodifikasi (modifikasi metode pembuatan beras aruk (Santoso *et al.*, 2012) dan pembuatan *garri* (Ogbo and Okafor, 2015))

4.2 Identifikasi dan Karakteristik Pati dan Tepung Ubi Kayu Termodifikasi melalui Proses Fermentasi Alami secara Terintegrasi

4.2.1 Pendahuluan

Pati dan tepung ubi kayu merupakan salah satu komponen ingredient bahan pangan dengan aplikasi yang luas pada industri pangan dan non pangan. Pati adalah karbohidrat yang merupakan polimer glukosa, yang tersusun atas polisakarida dari molekul α -D-glukosa, dan merupakan komponen utama dari ubi kayu. Bergthaller and Hollman (2007) menyatakan bahwa pati asli memiliki beberapa kekurangan antara lain tidak larut air, kehilangan viskositas setelah gelatinisasi, kurangnya pasta atau gel yang halus, kurangnya sifat retrogradasi, stabilitas rendah terhadap suhu yang lebih tinggi, dan stabilitas rendah terhadap kondisi asam dan tekanan geser mekanis.

Menurut Zhu (2015), aplikasi produk berbasis ubi kayu, kualitasnya dipengaruhi oleh kualitas pati yang ada di produk olahan ubi kayu tersebut. Oleh sebab itu, banyak rekayasa proses dilakukan untuk memperbaiki karakteristik gelatinisasi dan pemasakan, untuk meningkatkan kapasitas menahan air dari disperse granula pati, meningkatkan karakteristik hidrolis, atau membuat granula pati lebih hidrofobik dari pati aslinya (Bergthaller and Hollman, 2007). Selain itu, jenis varietas dan umur ubi kayu yang dipanen, ikut berperan dalam menentukan sifat fisik dan kimia pati yang dihasilkan. Susilawati *et al.* (2008) menyatakan bahwa sampai umur panen ubi kayu 10 bulan masih terjadi peningkatan jumlah pati yang dikandungnya.

Pati tersusun atas polisakarida dengan molekul α -D-glukosa yang terdiri dari fraksi amilosa linear dan amilopektin yang bercabang. Kedua molekul tersebut berperan terhadap sifat fisik dan kimia pada pati yang akan berpengaruh terhadap tingkat kelarutan dan pembengkakan granula patinya. Beberapa produk olahan yang berbasis ubi kayu menggunakan proses fermentasi sebagai tahap utama dalam proses produksinya adalah tepung *Modified Cassava Flour* (Mocaf), beberapa produk seperti *gari*, *fufu* dan *lafun*, dan sejenisnya. Tujuan dilakukan proses fermentasi antara lain untuk pengayaan substrat biologis dalam hal protein, vitamin, asam amino esensial dan asam lemak esensial. Tujuan lain dilakukan

fermentasi adalah detoksifikasi makanan anti-nutrisi, impartasi aroma, rasa dan tekstur yang baik serta melestarikan produk fermentasi (Etsuyankpa *et al.*, 2015). Proses fermentasi merupakan satu cara yang lebih murah untuk meningkatkan kualitas protein ubi kayu dan produk olahan pangan berbasis ubi kayu.

Tandrianto *et al.* (2014) menyatakan bahwa untuk mendapatkan tepung MOCAF dengan kadar protein terbaik yaitu pada lama fermentasi 72 jam. Lama fermentasi mempengaruhi sifat kimia, amilografi granula dan morfologi pati yang dimodifikasi secara biologi (Kartikasari *et al.*, 2016). Hal ini didukung oleh Oyeyinka *et al.* (2020) yang menyatakan bahwa fermentasi ubikayu secara signifikan mempengaruhi sifat fisikokimia pati yang diekstraksi. Butiran pati memiliki tingkat distorsi yang berbeda tergantung pada lama fermentasi. Beberapa granula pati membentuk gumpalan, swelling power menurun, dan proses gelatinisasi tertunda. Selain itu, pasting pati meningkat dan viskositas akhir meningkat dengan meningkatnya waktu fermentasi. Selain lama fermentasi, metode yang digunakan dalam produksi pati dan tepung ubi kayu termodifikasi (mocaf) memiliki pengaruh terhadap karakteristik pati dan tepung yang dihasilkan. Putri *et al.* (2018) menyatakan bahwa metode penggilingan basah dan kering berpengaruh terhadap karakteristik mocaf yang dihasilkan.

Beberapa karakteristik yang turut berperan dalam penentuan keunggulan pati dan tepung ubi kayu termodifikasi adalah kandungan pati resisten. Pati resisten didefinisikan sebagai fraksi pati yang lolos dari pencernaan di usus kecil dan masuk ke usus besar kemudian difermentasi oleh mikroflora usus. Pati resisten dianggap sebagai komponen makanan fungsional karena memberikan manfaat kesehatan setelah dikonsumsi (Ogbo and Okafor, 2015).

4.2.2 Tujuan penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

- (1) Melakukan kajian Karakteristisasi sifat fisik, kimia, mikrostruktur, dan fungsional pati dan tepung ubi kayu termodifikasi yang dihasilkan melalui teknologi pengolahan yang terintegrasi

- (2) Melakukan kajian hubungan antara lama fermentasi dan sistem perendaman (*system continue* dan *batch*) terhadap sifat fisik, kimia, mikrostruktur, dan fungsional pati dan tepung ubi kayu termodifikasi.

4.2.3 Bahan dan metode penelitian

1. Tempat dan Waktu

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Pengelolaan Limbah Agroindustri Fakultas Pertanian dan UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi Universitas Lampung, Laboratorium Teknologi Hasil Pertanian dan Analisis Politeknik Negeri Lampung, serta Laboratorium Balai Besar Teknologi Pati Lampung. Penelitian dilaksanakan dari bulan November 2021 sampai dengan April 2022.

2. Bahan dan Alat

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah ubi kayu varietas UJ-5 (*kasetsart*) yang berumur antara 9-10 bulan yang diperoleh dari petani ubi kayu di Kabupaten Lampung Tengah. Bahan-bahan lain yang digunakan adalah bahan untuk analisis kimia.

Peralatan yang digunakan untuk pengolahan ubi merupakan peralatan yang didesain untuk proses fermentasi ubi kayu untuk menghasilkan pati dan tepung ubi kayu termodifikasi, timbangan, alat parut listrik, penggiling hammer mill, ayakan dengan ukuran saringan 200 mesh, oven, timbangan, serta peralatan lain yang digunakan untuk analisa antara lain peralatan *Scanning Electron Microscope* (SEM) tipe SEM Zeiss Evo MA 10, *brabender viscograph* tipe *Brabender GmbH & Co.KG*, neraca analitis, dan peralatan gelas lainnya.

3. Metode Penelitian

Penelitian terdiri dari beberapa tahapan sebagaimana terlihat pada Gambar 5. Penelitian dilakukan menggunakan Rancangan Acak Kelompok Lengkap (RAKL) faktorial 2 (dua) faktor dengan 3 (tiga) kali ulangan. Faktor pertama adalah sistem perendaman (P) yaitu perendaman dalam air mengalir/*system continue* (P1)

dan perendaman dalam air tidak mengalir/*system batch* (P2). Faktor kedua adalah lama fermentasi (T) yang digunakan untuk memproduksi pati dan tepung ubi kayu termodifikasi, yaitu lama fermentasi 24 jam (T1), lama fermentasi 48 jam (T2), dan lama fermentasi 72 jam (T3). Data yang diperoleh diuji homogenitas ragam dengan uji *Bartlett's*, dilanjutkan analisis ragam pada taraf 5% untuk mengetahui pengaruh perlakuan yang diberikan. Setelah asumsi terpenuhi dan jika berpengaruh nyata dilanjutkan dengan uji Beda Nyata Jujur pada taraf 5%.

4.2.4 Pelaksanaan penelitian

Tahapan penelitian yang akan dilakukan meliputi pembuatan pati dan tepung ubi kayu termodifikasi secara terintegrasi menggunakan teknologi yang dikembangkan dari modifikasi metode pembuatan beras aruk (Santoso *et al.*, 2012) dan pembuatan *garri* (Ogbo and Okafor, 2015) dengan tahapan sebagai berikut:

- (1) Penimbangan ubi kayu sebanyak 10 kg, pengupasan kulit coklat dan putihnya
- (2) Melakukan pencucian ubi kayu hingga bersih
- (3) Melakukan pengecilan ukuran ubi kayu menjadi bentuk potongan ubi kayu bulat berukuran 5 cm.
- (4) Perendaman potongan ubi kayu dalam wadah yang telah berisi air dengan jumlah tertentu untuk 2 metode perendaman: (1) perendaman dalam wadah yang berisi air dan dialiri air dengan debit aliran air yang sama untuk *system continue* dan (2) perendaman dalam wadah yang berisi air dengan jumlah tetap untuk *system batch*.
- (5) Fermentasi dilakukan selama 24, 48, dan 72 jam.
- (6) Setelah 24, 48, dan 72 jam, potongan ubi kayu dilakukan penirisan untuk selanjutnya diparut dengan menggunakan mesin parut listrik.
- (7) Selanjutnya dilakukan proses ekstraksi dengan menambahkan air sebanyak 1:1, dan dilakukan pemisahan filtrat dan *fiber/ampas* dengan kain saring.
- (8) Pengeringan *fiber/ampas* ubi kayu dalam oven pada suhu 60°C hingga kering (kadar air kurang dari 13%).
- (9) Pengendapan filtrat dilakukan selama kurang lebih 8 jam, untuk selanjutnya diambil endapan (pati) dan dikeringkan dengan oven pada suhu 60°C hingga kadar air kurang dari 13%.

- (10) Pati ubi kayu termodifikasi dan tepung ubi kayu kering termodifikasi yang dihasilkan selanjutnya akan diuji karakteristik sifat fisik, kimia, mikrostruktur, dan sifat fungsionalnya.

4.2.5 Pengamatan

- (1) Kadar air pati dan tepung ubi kayu termodifikasi (metode gravimetri) (AOAC, 2005)

Sampel telah dihaluskan ditimbang sebanyak 1- 2 gram dalam cawan porselin yang telah diketahui beratnya. Dikeringkan dalam oven pada suhu 100-105°C selama 3 jam. Selanjutnya didinginkan dalam desikator dan ditimbang. Lalu dipanaskan kembali selama 30 menit, dinginkan dalam desikator dan ditimbang. Perlakuan ini diulang hingga berat konstan (selisih penimbangan berturut-turut kurang dari 0,2 mg). Pengurangan berat merupakan banyaknya air dalam bahan. Kadar air ditentukan dengan rumus :

$$\% \text{ Air} = \frac{B - C}{A} \times 100\%$$

Keterangan :

A = Berat sampel (g)

B = Cawan + sampel basah (g)

C = Cawan + sampel kering (g)

- (2) Kandungan HCN pati dan tepung ubi kayu termodifikasi

Kadar HCN metode titrimetri (Modifikasi metode AOAC, 2005). Penimbangan sebanyak 10 g sampai dengan 20 g sampel (W) ditimbang ke dalam labu Kjeldahl dan di tambahkan 200 mL air suling serta biarkan selama 2 sampai 4 jam. Sementara itu pasang rangkaian alat penyulingan, sulingkan dan ditampung dengan 150 sampai dengan 160 mL distilat pada erlenmeyer 200 mL yang mengandung larutan NaOH (0,5 gr NaOH dalam 20 mL H₂O) dan larutkan sampai volume tertentu. Kemudian diambil 100 mL distilat dan ditambahkan 8 mL NH₄OH 6 M dan 2 mL larutan KI 5%, titrasi dengan AgNO₃ 0,02 M menggunakan buret mikro sampai terlihat keruh (akan lebih

jelas apabila menggunakan dasar hitam); dan blanko juga dikerjakan. Kadar HCN dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$K.HCN \left(\frac{mg}{kg} \right) = vx + \frac{M}{0,02} \times 1,08x \frac{1000}{W}$$

- (3) Kandungan amilosa pati dan tepung ubi kayu termodifikasi (metode spektrofotometri, AOAC, 2005)

Sampel pati atau tepung ubi kayu ditambahkan sebanyak 100 mg ke dalam labu takar 100 mL, ditambahkan 1 mL etanol 95% dan 9 mL NaOH 1 N. Labu dipanaskan di dalam penangas air selama 10 menit kemudian didinginkan selama 1 jam. Selanjutnya ditambahkan aquades sampai volume 100 mL. Larutan sampel dipipet 5 mL dan ditambahkan 2 mL I₂ dan 1 mL asam asetat. Ditambahkan aquades ke dalam labu takar tersebut sampai volume 100 mL. Kemudian absorbannya diukur pada panjang gelombang 620 nm. Kadar amilosa sampel dihitung berdasarkan rumus berikut:

$$\text{Kadar Amilosa (\%)} = \frac{A_{620} \times fk \times 100 \times 100 \%}{100 - KA \text{ sampel}}$$

$$\text{Dimana } fk = \frac{1}{abs \ 1 \ ppm} \times \frac{1000 \times 20}{1000000}$$

Keterangan:

A₆₂₀ = Absorbansi
 Fk = faktor koreksi
 20 dan 1000 = faktor pengencer
 Ka = kadar air

- (4) Pengukuran derajat putih pati dan tepung ubi kayu termodifikasi (Mawarni dan Widjanarko 2015)

Penentuan nilai derajat putih diukur dengan menggunakan *colour reader*. Sebelum digunakan, *colour reader* dikalibrasi terlebih dahulu dengan standar yaitu kertas putih. Setelah itu, sampel diletakkan pada cawan kemudian menentukan lima titik yang akan diukur untuk mengetahui nilai dL, da, dan db. Nilai L, a, dan b sampel diperoleh dengan menjumlahkan nilai dL, da, dan

db sampel dan standar. Nilai derajat putih (*whiteness*) diketahui dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$W = 100 - \{(100-L)^2 + a^2 + b^2\}^{0,5}$$

(5) *Swelling power* pati dan tepung ubi kayu termodifikasi (Kaur *et al.*, 2011)

Sampel sebanyak 0,1 gram ditambah dengan akuades sebanyak 10 mL dan dicampur hingga homogen. Suspensi tersebut dipanaskan pada suhu 80°C selama 30 menit. Selanjutnya suspensi didinginkan sesaat sebelum disentrifius dengan kecepatan 2500 rpm selama 25 menit. Fraksi endapan ditimbang, kemudian dikeringkan sampai berat konstan. ditimbang. Perhitungan nilai *swelling power* menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Swelling power (b/b)} = \frac{\text{berat pasta basah (g)}}{\text{berat sampel kering (g)}}$$

(6) Karakteristik pasta pati menggunakan *Brabender viscograph*

Karakteristik pasting pati dan tepung ubi kayu termodifikasi dianalisis menggunakan *Brabender viscograph* type Brabender GmbH & Co. KG, Germany. Suspensi sampel (6.0%) diletakkan dalam mangkuk *amylograph*, dan diputar dengan putaran 30-35 putaran per menit sementara suhu ditingkatkan dari 50°C menjadi 92°C dengan laju peningkatan suhu sebesar 1,5°C per menit. Suhu dipertahankan pada 92°C selama 15 menit, dan selanjutnya diturunkan menjadi 50°C dengan laju 1,5°C per menit dan dipertahankan selama 10 menit. Perubahan viskositas pasta dicatat secara kontinu oleh *Brabender viscograph* pada kertas grafik yang ada. Pengamatan yang dilakukan berupa suhu gelatinisasi, suhu saat tercapai viskositas maksimum, viskositas maksimum, viskositas awal pendinginan, viskositas akhir pendinginan, viskositas retrogradasi, dan viskositas balik.

- (7) Sifat Morfologi butiran pati dan tepung ubi kayu termodifikasi (menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM))

Morfologi butiran granula pati ubi kayu termodifikasi dianalisis menggunakan metode *Scanning Electron Microscope* (SEM) menggunakan alat SEM ZEISS EVA MA 10 pada pembesaran 1000, 2500, dan 5000 kali. Sampel bubuk ditempatkan dalam karbon *taped holder* dua sisi. Permukaan sampel dilapisi dengan lapisan tipis emas (Au-Pd) menggunakan *sputter coater* (Quorum) dengan *sputtering time* 60 detik dan *sputtering current* 20 mA. Sampel selanjutnya dimasukkan ke dalam alat SEM dan foto permukaan diambil menggunakan detektor *Secondary Electron* (SE) yang bekerja pada *working distance* (WD) 9,0-9,5 mm; EHT 15 kV.

4.3 Kajian Beban Pencemaran Dalam Produksi Pati dan Tepung Ubi Kayu Termodifikasi Melalui Proses Fermentasi Alami Secara Terintegrasi

4.3.1 Pendahuluan

Di Indonesia, industri pengolahan ubi kayu tersebar diberbagai daerah dengan potensi cukup besar yang didukung oleh ketersediaan bahan baku yang berlimpah. Konsumsi sumber daya yang tinggi berupa air dan energi dalam proses pengolahan ubi kayu (pati) ditambah dengan biaya pengolahan limbah yang tinggi, memerlukan integrasi pemulihan sumber daya (Sa'nchez *et al.*, 2017).

Pengolahan ubi kayu menjadi pati atau tepung umumnya dianggap berkontribusi secara signifikan terhadap pencemaran lingkungan dan gangguan estetika (Ubalua, 2007). Pernyataan ini didukung oleh Suroso (2011), bahwa proses pengolahan pati/tapioka merupakan salah satu proses yang menghasilkan limbah yang berpotensi mencemarkan lingkungan sekitarnya. Proses pengolahan tapioka menggunakan air relatif cukup banyak. Air limbah industri tepung tapioka berasal dari proses pencucian bahan baku (ubi kayu) dan pengendapan pati (Suroso, 2011 dan Djarwanti, 2015). Apabila air limbah tersebut langsung dibuang ke perairan umum akan menimbulkan masalah pencemaran berupa perubahan warna air menjadi kehitaman.

Hal sejalan disampaikan oleh Sa'nchez *et al.* (2017) bahwa proses industri pati ubi kayu menghasilkan polutan yang harus dilakukan penanganan sebelum dibuang ke lingkungan sekitarnya. Bahan limbah dari pengolahan ubi kayu (pati atau tepung) dibagi dalam empat katagori yaitu limbah dari tahap proses pengupasan awal, limbah dari tahap proses penghancuran dan penyaringan (bubur/ampas), residu pati setelah proses pengendapan serta air limbah.

Rendemen tapioka yang dihasilkan dari proses produksi ubi kayu berkisar 20-25% b/b dari bobot ubi kayu yang digunakan. Selain pati, selebihnya adalah limbah padat (*fiber/ampas*), air limbah, dan gas (Suroso, 2011). Menurut Padi and Chimphango (2020), ekstraksi ubi kayu secara komersial menggunakan air sejumlah 18 m³, energi termal 445e695 kWh dan energi listrik 902260 kWh per ton pati yang dihasilkan. Hal ini mengakibatkan volume besar air limbah masih mengandung pati cukup tinggi.

Teknologi pengolahan pati dan tepung ubi kayu yang terintegrasi dalam satu proses pengolahan bertujuan memaksimalkan jumlah produk utama yang dihasilkan yaitu pati dan tepung ubi kayu termodifikasi, kedua produk tersebut menjadi produk utama yang diperhatikan dalam proses pengolahannya. Dengan demikian limbah yang dihasilkan menjadi lebih sedikit yaitu hanya berupa kulit hasil pengupasan dan limbah cair (dari proses pencucian, perendaman, dan pemisahan pati dari limbah cairnya).

4.3.2 Tujuan penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

- (1) Melakukan efisiensi sumberdaya yang digunakan (bahan baku ubi kayu dan air) dalam proses produksi pati dan tepung ubi kayu termodifikasi yang terintegrasi dalam satu proses pengolahan.
- (2) Melakukan kajian terhadap beban pencemaran dalam proses produksi pati dan tepung ubi kayu termodifikasi yang terintegrasi dalam satu proses pengolahan.

4.3.3 Bahan dan metode penelitian

1. Tempat dan Waktu

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Pengelolaan Limbah Agroindustri Fakultas Pertanian dan UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi Universitas Lampung, Laboratorium Teknologi Hasil Pertanian dan Analisis Politeknik Negeri Lampung, serta Laboratorium Balai Besar Teknologi Pati Lampung. Penelitian dilaksanakan dari bulan November 2021 sampai dengan April 2022.

2. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah ubi kayu varietas UJ-5 (*Kasetsart*) yang berumur antara 9-10 bulan yang diperoleh dari petani di Kabupaten Lampung Tengah. Bahan-bahan kimia yang digunakan adalah untuk analisis kimia limbah yang dihasilkan. Peralatan yang digunakan untuk pengolahan pati termodifikasi merupakan peralatan yang didesain untuk proses fermentasi ubi kayu untuk menghasilkan pati dan tepung ubi kayu termodifikasi, serta peralatan lainnya yang akan digunakan untuk analisis.

3. Metode Penelitian

Penelitian terdiri dari beberapa tahapan sebagaimana terlihat pada Gambar 5. Penelitian dilakukan menggunakan Rancangan Acak Kelompok Lengkap (RAKL) faktorial 2 (dua) faktor dengan 3 (tiga) kali ulangan. Faktor pertama adalah sistem perendaman (P) yaitu perendaman dalam air mengalir/*system continue* (P1) dan perendaman dalam air tidak mengalir/*system batch* (P2). Faktor kedua adalah lama fermentasi (T) yang digunakan untuk memproduksi pati dan tepung ubi kayu termodifikasi, yaitu lama fermentasi 24 jam (T1), lama fermentasi 48 jam (T2), dan lama fermentasi 72 jam (T3). Data yang diperoleh diuji homogenitas ragam dengan uji *Bartlett's*, dilanjutkan analisis ragam pada taraf 5% untuk mengetahui pengaruh perlakuan yang diberikan. Setelah asumsi terpenuhi dan jika berpengaruh nyata dilanjutkan dengan uji Beda Nyata Jujur pada taraf 5%.

4.3.4 Pelaksanaan penelitian

Tahapan penelitian yang akan dilakukan meliputi pembuatan pati dan tepung ubi kayu terintegrasi menggunakan teknologi yang dikembangkan dari modifikasi metode pembuatan beras aruk (Santoso *et al.*, 2012) dan pembuatan *garri* (Ogbo and Okafor, 2015) dengan tahapan sebagai berikut:

- (1) Penimbangan ubi kayu sebanyak 10 kg, pengupasan kulit coklat dan putihnya
- (2) Melakukan pencucian ubi kayu hingga bersih
- (3) Melakukan pengecilan ukuran ubi kayu menjadi bentuk potongan ubi kayu bulat berukuran 5 cm.
- (4) Perendaman potongan ubi kayu dalam wadah yang telah berisi air dengan jumlah tertentu untuk 2 metode perendaman: (1) perendaman dalam wadah yang berisi air dan dialiri air dengan debit aliran air yang sama untuk *system continue* dan (2) perendaman dalam wadah yang berisi air dengan jumlah tetap untuk *system batch*.
- (5) Fermentasi dilakukan selama 24, 48, dan 72 jam.
- (6) Setelah 24, 48, dan 72 jam, potongan ubi kayu dilakukan penirisan untuk selanjutnya diparut dengan menggunakan mesin parut listrik.
- (7) Selanjutnya dilakukan proses pengestraksian dengan menambahkan air sebanyak 1:1, dan dilakukan pemisahan filtrat dan *fiber/ampas* dengan menggunakan kain saring.
- (8) Pengeringan *fiber/ampas* ubi kayu dalam oven pada suhu 60°C hingga kering (kadar air kurang dari 13%).
- (9) Pengendapan filtrat dilakukan selama kurang lebih 8 jam, untuk selanjutnya diambil endapan (pati) dan dikeringkan dengan oven suhu 60°C hingga kadar air kurang dari 13%.
- (10) Limbah yang dihasilkan dihitung jumlahnya dan diuji kualitasnya.

Tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 6.

4.3.5 Pengamatan

- (1) Jumlah limbah cair yang dihasilkan pada setiap tahapan proses produksi pati dan tepung ubi kayu termodifikasi (air pencucian, air perendaman, dan air hasil ekstraksi pati ubi kayu)
- (2) Residu HCN pada pati ubi kayu termodifikasi dan tepung ubi kayu termodifikasi

Kadar HCN metode titrimetri (Modifikasi metode AOAC, 2005). Penimbangan sebanyak 10 g sampai dengan 20 g sampel (W) ditimbang ke dalam labu Kjeldahl dan di tambahkan 200 mL air suling serta biarkan selama 2 sampai 4 jam. Sementara itu pasang rangkaian alat penyulingan, sulingkan dan ditampung dengan 150 sampai dengan 160 mL distilat pada erlenmeyer 200 mL yang mengandung larutan NaOH (0,5 gr NaOH dalam 20 mL H₂O) dan larutkan sampai volume tertentu. Kemudian diambil 100 mL distilat dan tambahkan 8 mL NH₄OH 6 M dan 2 mL larutan KI 5%, titrasi dengan AgNO₃ 0,02 M menggunakan buret mikro sampai terlihat keruh (akan lebih jelas apabila menggunakan dasar hitam); dan blanko juga dikerjakan. Kadar HCN dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$K.HCN \left(\frac{mg}{kg} \right) = vx + \frac{M}{0,02} \times 1,08x \frac{1000}{W}$$

- (3) Analisis COD (*Chemical Oxygen Demand*) pada limbah cair (SNI 06-6989.15-2004)

Prosedur analisis COD pada limbah cair adalah sebagai berikut: pemipetan 10 mL sampel uji, masukan kedalam Erlenmeyer 250 mL. kemudian ditambahkan 0,2 gr serbuk HgSO₄ dan beberapa batu didih, selanjutnya ditambahkan 5 mL larutan kalium dikromat, K₂Cr₂O₇ 0,25 N. Kemudian ditambahkan 15 mL pereaksi asam sulfat – perak sulfat perlahan-lahan sambil didinginkan dalam air pendingin. Hubungkan dengan pendingin *liebig* dan didihkan diatas *hot plate* selama 2 jam. Dinginkan dan cuci bagian dalam dari pendingin dengan air suling hingga volume contoh uji menjadi lebih kurang 70 mL. Dinginkan

sampai temperatur kamar, tambahkan indikator ferroin 2 sampai dengan 3 tetes, titrasi dengan larutan FAS 0,1 N sampai warna merah kecoklatan, catat kebutuhan larutan FAS. Lakukan Langkah yang sama pada pembuatan blangko (tanpa sampel) Kadar COD pada sampel dapat dihitung menggunakan rumus:

$$COD \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(A - B)(N)(8000)}{ml \text{ Contoh} - Uji}$$

Keterangan:

A = volume larutan FAS yang dibutuhkan untuk blanko, mL

B = volume larutan FAS yang dibutuhkan untuk contoh, mL

N = normalitas larutan FAS

- (4) Mengukur derajat keasaman (pH) limbah cair yang dihasilkan (pH meter)

Bilas elektroda dengan air bebas mineral, selanjutnya keringkan dengan tisu halus. Celupkan elektroda ke dalam contoh uji sampai pH meter menunjukkan pembacaan yang stabil. Catat hasil pembacaan skala atau angka pada tampilan dari pH meter. Catat suhu pada saat pengukuran pH dan laporkan hasilnya. Bilas kembali elektroda dengan air bebas mineral setelah pengukuran .

- (5) Mengukur total padatan tersuspensi limbah cair (Metode Gravimetri, SNI 06-6989.3-2004)

Prosedur analisis TSS pada limbah cair adalah sebagai berikut: limbah cair disaring menggunakan penyaring vakum. Basahi saringan dengan sedikit air suling. Pengadukan sampel uji dengan pengaduk magnetik untuk memperoleh contoh uji yang lebih homogen. Pipet contoh uji dengan volume tertentu, pada waktu contoh diaduk dengan pengaduk magnetik. Pencucian kertas saring atau saringan dengan 3 x 10 mL air suling, biarkan kering sempurna, dan lanjutkan penyaringan dengan vakum selama 3 menit agar diperoleh penyaringan sempurna. Contoh uji dengan padatan terlarut yang tinggi memerlukan pencucian tambahan. Pindahkan kertas saring secara hati-hati dari peralatan penyaring dan pindahkan ke wadah timbang aluminium sebagai penyangga. Jika digunakan cawan *gooch* pindahkan cawan dari rangkaian alatnya. Keringkan dalam oven setidaknya selama 1 jam pada suhu 103°C sampai dengan 105°C, dinginkan dalam desikator untuk menyeimbangkan suhu dan

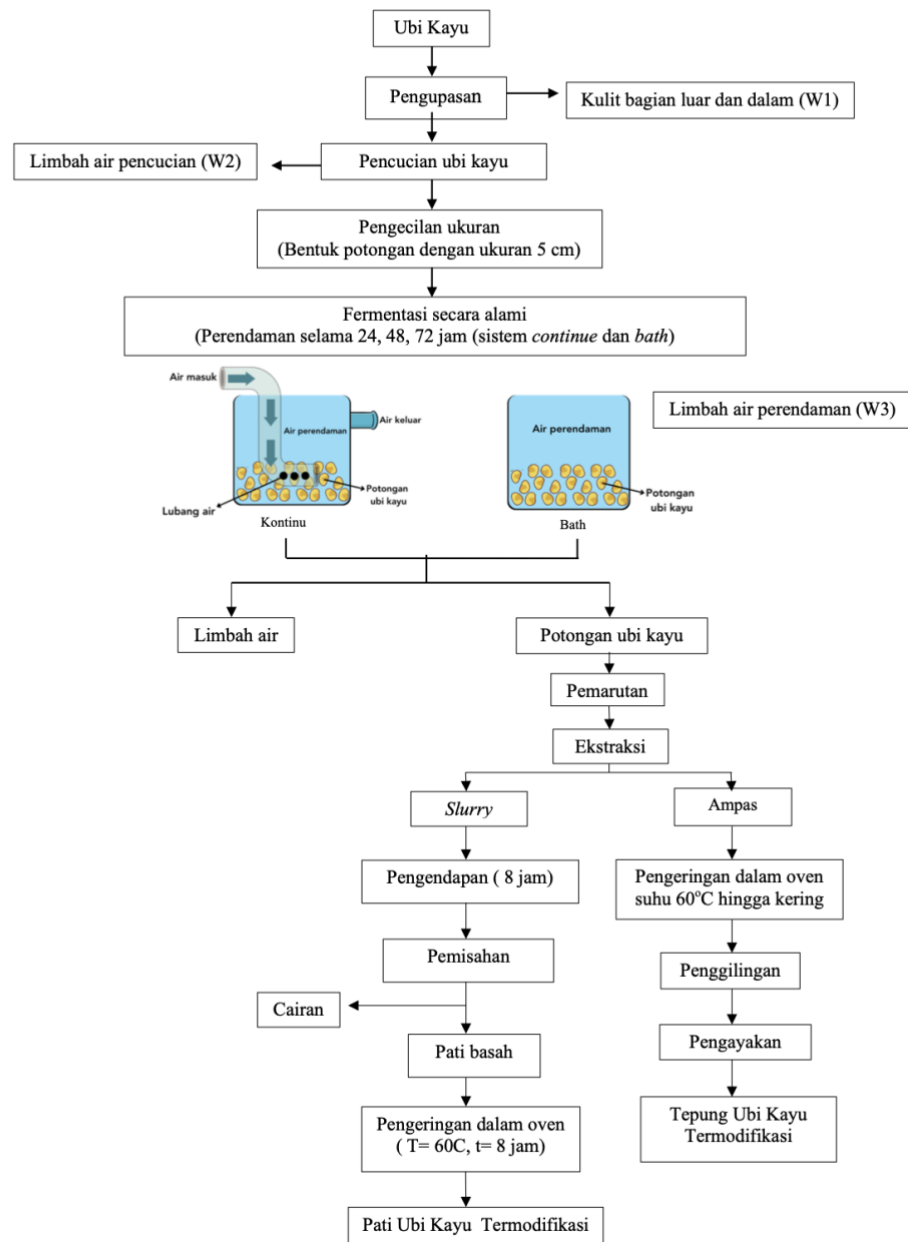
timbang. Ulangi tahapan pengeringan, pendinginan dalam desikator, dan lakukan penimbangan sampai diperoleh berat konstan atau sampai perubahan berat lebih kecil dari 4% terhadap penimbangan sebelumnya atau lebih kecil dari 0,5 mg. Perhitungan TSS dapat menggunakan rumus:

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(A - B) \times 1000}{Vol \text{ Sampel uji (ml)}}$$

Keterangan:

A = berat kertas saring + residu kering (mg)

B = berat kertas saring (mg)



Gambar 6. Diagram alir proses produksi pati dan tepung ubi kayu termodifikasi dan limbah yang dihasilkan (modifikasi metode pembuatan beras aruk (Santoso *et al.*, 2012) dan pembuatan *garri* (Ogbo and Okafor, 2015))

VI. KESIMPULAN, SARAN, DAN IMPLEMENTASI PENERAPAN

6.1 Kesimpulan

Beberapa hal penting yang dapat disimpulkan dari penelitian ini antara lain:

- (1) Teknologi pengolahan ubi kayu menjadi pati dan tepung ubi kayu termodifikasi secara terintegrasi dalam satu kesatuan proses secara utuh dapat dikembangkan sebagai salah satu model proses pengolahan ubi kayu untuk menghasilkan pati ubi kayu termodifikasi dan tepung ubi kayu termodifikasi dengan karakteristik produk yang spesifik, efisien dalam penggunaan sumberdaya dan limbah cair yang lebih sedikit.
- (2) Pati ubi kayu yang dihasilkan merupakan pati ubi kayu termodifikasi yang memiliki karakteristik kadar air 6,04-7,84%; HCN 1,20-2,17 mg/kg (ppm); amilosa 28,81-40,04%; derajat putih 91,34-94,04; nilai *swelling power* 13,28-14,35 b/b; karakteristik amilografi pasting pati dengan *peak viscosity* >600 BU; *pasting temperature* 68,9-70,5°C; *breakdown viscosity* semakin menurun dengan semakin lama fermentasi yaitu 424,0-256,0 BU; *setback viscosity* semakin meningkat dengan lamanya fermentasi 146,5-238,5 BU; serta morfologi granula pati berukuran 2,93 – 21,30 µm. Tepung ubi kayu yang dihasilkan merupakan tepung ubi kayu termodifikasi dengan karakteristik kadar air 6,19-8,12%; HCN 5,92-8,57 mg/kg (ppm); amilosa 30,39-33,23%; derajat putih 90,41-91,56; nilai *swelling power* 14,43-17,44 b/b; karakteristik amilografi pasting tepung dengan *peak viscosity* >500 BU; *pasting temperature* 69,4-71,5°C; *breakdown viscosity* semakin menurun dengan bertambahnya lama fermentasi yaitu 238,0-191,5 BU; *setback viscosity* semakin meningkat sebesar 151,5-207,0 BU; serta morfologi granula pati pada tepung berukuran 4,30 – 21,88 µm.

- (3) Air limbah yang dihasilkan sebesar 3,0-3,3 m³/ton produk untuk perendaman *system continue* dan 2,3-3,0 m³/ton produk untuk perendaman *system batch*, kandungan COD air limbah tertinggi pada perendaman *system batch* yaitu 10.290 mg/liter, pH 3,8-5,4, dan kandungan *Total Suspended Solid* (TSS) 0,05-1,09 mg/liter.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, saran yang diberikan untuk kajian penelitian selanjutnya antara lain:

- (1) Perlu kajian lebih lanjut terhadap kesesuaian karakteristik pati ubi kayu termodifikasi dan tepung ubi kayu termodifikasi yang dihasilkan dari penerapan teknologi pengolahan ubi kayu secara terintegrasi terhadap aplikasinya pada berbagai pangan dan non pangan.
- (2) Perlu kajian terhadap peningkatan skala produksi dari skala laboratorium menjadi skala pilot plant dengan kapasitas produksi yang lebih besar.

6.3 Implementasi Penerapan

Berdasarkan hasil penelitian terhadap karakteristik pati dan tepung ubi kayu termodifikasi yang dihasilkan dari penerapan teknologi pengolahan ubi kayu secara terintegrasi, beberapa hal yang dapat diimplementasikan adalah:

- (1) Pati ubi kayu termodifikasi yang dihasilkan memiliki nilai *peak viscosity* yang tinggi >500 BU, *breakdown viscosity* yang semakin menurun 400-250 BU, dan nilai *setback viscosity* yang meningkat 150-170 BU. Hal ini menunjukkan pati ubi kayu termodifikasi yang dihasilkan cocok untuk produk yang membutuhkan viskositas tinggi dan stabilitas terhadap gesekan (*shear stress*).
- (2) Tepung ubi kayu termodifikasi masih memiliki kandungan pati yang cukup tinggi ditunjukkan dengan nilai amilosa yang masih tinggi.
- (3) Pati dengan kandungan amilosa tinggi dapat digunakan untuk diolah lebih lanjut menjadi bahan pangan berpati resisten tinggi yang berpotensi sebagai pangan fungsional. Selain itu, berpotensi untuk digunakan dalam industri sebagai bahan baku *biodegradable plastic*.

DAFTAR PUSTAKA

- Afoakwa, E.O., Adjonu, R., and Asomaning, J. 2010. Viscoelastic Properties and Pasting Characteristics of Fermented Maize: Influence of The Addition of Malted Cereals. *International Journal of Food Science Technology* 45:380-386.
- Afoakwa, E.O., Gilbert O. Sampson, D. Nyirenda, C.N. Mwansa, L. Brimer, and L. Chiwona-Karltun. 2021. Physico-Functional and Starch Pasting Properties of Cassava (*Manihot Esculenta* Cruntz) Flour as Influenced by Processing Technique and Varietal Variations. *Asian Journal of Agricultural and Food Sciences. Volume 9-Issue 2, April 2021*.
- Aida, Nur, Lina I. Kurniati, dan Setiyo Gunawan. 2010. "Pembuatan Mocaf (Modified Casava Flour) dengan Proses Fermentasi Menggunakan *Rhizopus orizae* Dan *Saccharomyces cereisae*." *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Soebardjo Brotohardjono IX*, 1–5.
- Aidoo, R., Ibok N. Oduro, Jacob K., Agbenorhevi, William O. Ellis amd Nana. 2022. Physicochemical and Pasting Properties of Flour and Starch from Two New Cassava Accessions. *International Journal of Food Properties*. <https://doi.org/10.1080/10942912.2022.2052087>.
- Amelia, J.R., O. Maulidia, A. Haryanto, S. Triyono, and U. Hasanudin. 2019. Decreasing of Environmental Loads in Tapioca Industry Through Utilization of Biogas Digester Effluent for Fertigation During Vegetables Production. *Proceedings of the International Conference on Sustainable Biomass (ICSB 2019) Advances in Engineering Research*, volume 202: 214-222.
- A.O.A.C. 2005. *Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists*. 12th Edition. Benjamin Franklin Station. Washington, DC.
- Arief, R. W., Endriani, dan R. Asnawi. 2022. Nilai Gizi Ubi Kayu yang Ditanam Secara Monokultur dan Tumpangsari Jagung dan Kedelai. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, Vol. 22(1): 30-36.
- Asnawi, R. dan R.W. Arief. 2008. *Teknologi Budidaya Ubikayu*. Seri Buku Inovasi ISBN: 978-979-1415-24-0. BPTP Lampung. Bandar Lampung. 15 halaman.
- Athichokudomchai N., Shobsngob S., Varavinit S. 2000. Morphological Properties of Acid Modified Tapioka Starch. *Starch/Starke* 52(8-9):283-289. DOI:10.1002/1521-379X(20009)52:8/9<283:AIDSTAR283>3.0.CO;2-Q.

- Awolu, O. O.; Olofinlae, S. J. Physico-chemical, Functional and Pasting Properties of Native and Chemically Modified Water Yam (*Dioscorea Alata*) Starch and Production of Water Yam Starch-based Yoghurt. *Starch/ Staerke*. 2016, 68(7–8), 719–726.
- Ayetigbo O. Latif S., Abass A., Muller J. 2018. Comparing Characteristics of Root, Flour and Starch of Biofortified Yellow-Flesh and White-Fles Cassava Variants, and Sustainability Considerations: A Review. *J. Sustain* 10(9): 1-32. DOI:10.3390/su10093089.
- Badan Ketahanan Pangan Kementerian Pertanian Republik Indonesia. 2020. *Rencana Strategis Badan Ketahanan Pangan Tahun 2020-2024*. BKP Kementan RI. Jakarta. 40 halaman.
- Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi. 2016. *Pedoman Budi Daya Ubi Kayu di Indonesia*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Kementerian Pertanian. Jakarta.
- Badan Pengendalian Dampak Lingkungan. 1995. *Keputusan Kepala Bapedal No.3. Kep-03/BAPEDAL/09/1995 tentang Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun*. Jakarta.
- Badan Pusat Statistik. 2019. Data produksi ubi kayu Indonesia. <https://www.bps.go.id/linkTableDinamis/view/id/880>. Diakses tanggal 28 Maret 2020.
- Badan Standardisasi Nasional. 2011. SNI 01-7622-2011: *Tepung Mocaf*. BSN, Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2011. SNI 3451-2011: *Tepung Tapioka*. BSN, Jakarta.
- Berkel, R. Van (2000). *Cleaner Production for Process Industries: Overview of The Cleaner Production Concept and Relation with Other Environmental Management Strategies*. Chemeca 2000, Curtin University of Technology, Perth, 9–12 July.
- Beninca, C., I. M. Demiate, L. G. Lacerda, M. A.S. Carvalho Filho, M. Ionashiro, and E. Schnitzler. 2008. Thermal Behavior of Corn Starch Granules Modified by Acid Treatment at 30 and 50°C. *Eclética Química* 33 (3): 13–17. <https://doi.org/10.1590/S0100-46702008000300002>.
- Bergthaller, W. and J Hollmann. 2007. 2.18 Starch. *Molecular Sciences and Chemical Engineering*, 579–612.
- Beynum, G.M.A Van and J.A Roels. 1985. *Starch Conversion Technology*. Marcel Dekker, Inc. New York.

- Blagbrough, Ian S., Soad A.L. Bayoumi, Michael G. Rowan, and John R. Beeching. 2010. Cassava: An Appraisal of Its Phytochemistry and Its Biotechnological Prospects. *Phytochemistry* 71 (17–18): 1940–51. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2010.09.001>.
- Castro, Luís M.G., Elisabete M.C. Alexandre, Jorge A. Saraiva, and Manuela Pintado. 2020. Impact of High Pressure on Starch Properties: A Review. *Food Hydrocolloids* 106 (October 2019): 105877. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105877>.
- Chatpapamon, Chatsachee, Yuree Wandee, Dudsadee Uttapap, Chureerat Puttanlek, and Vilai Rungsardthong. 2019. Pasting Properties of Cassava Starch Modified by Heat-Moisture Treatment under Acidic and Alkaline PH Environments. *Carbohydrate Polymers* 215 (March): 338–47. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.03.089>.
- Chen Z. 2003. *Physicochemical Properties of Sweet Potato Starches and Their Application in Noodle Products*. (Tesis). Wageningen (Belanda). Wageningen University.
- Copeland, Les, Jaroslav Blazek, Hayfa Salman, and Mary Chiming Tang. 2009. “Form and Functionality of Starch. *Food Hydrocolloids* 23 (6): 1527–34. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.09.016>.
- Damodaran, Srinivasan, K. Parkin, and Owen R. Fennema. 2007. *Fennema's Food Chemistry*. CRC Press. London.
- Díaz, Andrea, Cecilia Dini, Sonia Z. Viña, and María Alejandra García. 2018. Technological Properties of Sour Cassava Starches: Effect of Fermentation and Drying Processes. *Lwt* 93: 116–23. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.03.029>.
- Djarwanti. 2015. Aplikasi Pengolahan Air Limbah Industri Tapioka dengan Sistem ABR dan UAF. *Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri* Vo. 6 (1) Mei 2015: 29-34.
- Dinas Ketahanan Pangan dan Hortikultura Provinsi Lampung. 2022. *Data produksi ubi kayu tahun 2021*. Dinas Ketahanan Pangan dan Hortikultura Provinsi Lampung. Bandar Lampung.
- Diniyah, Nurud, Achmad Subagio, Riri Nur Lutfian Sari, Pradiska Gita Vindy, dan Alif Ainur Rofiah. 2018. Effect of Fermentation Time and Cassava Varieties on Water Content and the Yield of Starch from Modified Cassava Flour (MOCAF). *Indonesian Journal of Pharmaceutical Science and Technology* 5(2): 71. <https://doi.org/10.24198/ijpst.v5i3.15094>.

- Dudu, Olayemi E., Lin Li, Ajibola B. Oyedeji, Samson A. Oyeyinka, and Ying Ma. 2019. Structural and Functional Characteristics of Optimised Dry-Heat-Moisture Treated Cassava Flour and Starch. *International Journal of Biological Macromolecules* 133: 1219–27. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.04.202>.
- Edam, M. 2017. Aplikasi bakteri asam laktat untuk memodifikasi tepung singkong secara fermentasi. *Jurnal Penelitian Teknologi Industri*, 9(1): 1-8.
- Enjang Rohman, Rama Tiwana, Sarah Amelia Nur Wahidah Al Falah, dan Mustika Nuramalia Handayani. 2021. Studi Hidrolisis Pada Sintesis Gula Berbasis Pati Garut. no. July.
- Saleh, N., A. Taufiq, Y. Widodo, dan T. Sundari. 2016. *Pedoman Budi Daya Ubi Kayu di Indonesia*. IAARD Press Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Jakarta.
- Faridah, D. N. dan A.Thonthowi. 2020. Karakterisasi Fisik Pati Tapioka Modifikasi Gabungan Hidroksipropilasi dengan Fosfat-Ikat Silang. *Jurnal Mutu Pangan*. Vol 7(1): 30-37. <https://doi.org/10.29244/jmpi.2020.7.1.30>.
- Fauzi, A.M., Rahmawakhida, Ainy, dan Hidetoshi Yaoi. 2008. Kajian Strategi Produksi Bersih Di Industri Kecil Tapioka: Kasus Kelurahan Ciluar, Kecamatan Bogor Utara. *Jurnal Teknik Pertanian* 18 (2): 60–65.
- Fitriah, E., Hariyadi, P., N. Andarwulan, dan Triana RN. 2018. Sifat Fisikokimia Pati Sagu Termodifikasi dengan Metode Oksidasi Menggunakan Natrium Hipoklorit. *Jurnal Mutu Pangan* 5(2): 100-108.
- Flibert, Guira, Tankoano Abel, and Savadogo Aly. 2016. African Cassava Traditional Fermented Food: The Microorganism's Contribution to Their Nutritional and Safety Values-A Review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 5 (10): 664–87. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2016.510.074>.
- Frediansyah, Andri. 2018. *Microbial Fermentation as Means of Improving Cassava Production in Indonesia*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.71966>.
- Hafsah, M.J. 2003. *Bisnis Ubi Kayu Indonesia*. Jakarta (ID): Pustaka Sinar Harapan. 263 halaman.
- Herawati, H. 2011. Potensi pengembangan produk pati tahan cerna sebagai pangan fungsional. *Jurnal Litbang Pertanian*, 30(1): 31-39.
- Hasanudin, Udin., M.E. Kustyawati, D.A. Iryani, A. Haryanto, and S. Triyono. 2019. Estimation of Energy and Organic Fertilizer Generation from Small Scale Tapioca Industrial Waste. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 230 (2019) 012084. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/230/1/012084>.

- Hidayah N. 2016. *Karakterisasi Bakteriosin Bakteri Asam Laktat dari Sawi Fermentasi*. [tesis]. IPB (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Hidayat, Beni, Syamsu Akmal, dan Surfiana. 2017. Pengaturan Ketebalan Irisan Ubi Kayu Untuk Meningkatkan Rendemen Dan Karakteristik Beras Siger (Tiwul Modifikasi). *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan* 16 (3): 178–85. <https://doi.org/10.25181/jppt.v16i3.96>.
- Hidayat, Beni, Nurbani Kalsum, dan Surfiana. 2009. Characterization of Modified Cassava Flour Processed Through Partial Pregelatinisation Method. *Journal of Industrial Technology and Agricultural Products* 14 (2): 148–59.
- Husniati dan Widyastuti N. 2013. "Perbaikan Mutu Tepung Singkong melalui Fermentasi untuk Menghasilkan Tepung Mocaf. *Jurnal Riset Industri* 7(1): 25-33.
- Hutami, F.D. dan Harijono. 2014. Pengaruh penggantian larutan dan konsentrasi NaHCO₃ terhadap penurunan kadar sianida pada pengolahan tepung ubi kayu. *Jurnal Pangan dan Agroindustri*, 2(4): 220-230.
- Iswari, Kasma, Hervika Fuji Astuti, dan Srimaryati. 2016. Pengaruh Lama Fermentasi Terhadap Mutu Tepung Cassava Termomodifikasi. *Membangun Pertanian Modern Dan Inovatif Berkelanjutan Dalam Rangka Mendukung MEA*, no. 2010: 1250–57.
- Irtwange, S.V. and O. Achimba. 2014. Effect of The Duration of Fermentation on Quality of Gari. *Current Research Journal of Biological Sciences* 1(3): 150-154, 2009.
- Jayus, Nurhayati, Ahmad Subagio, dan Heru Widyatmoko. 2016. Modifikasi Pati Ubi Kayu Secara Fermentasi Dengan *Lactobacillus Manihotivorans* Dan *L. Fermentum* Yang Diisolasi Dari Gatot. *Prosiding Seminar Hasil Penelitian Tanaman Aneka Kacang Dan Umbi*, 517–22.
- Julianti, Elisa, Zulkifli Lubis, Ridwansyah, Era Yusraini, dan I. Suhaidi. 2011. Physicochemical and Functional Properties of Fermented Starch from Four Cassava Varietas. *Asian Journal of Agricultural Research* 5 (6): 291-299.
- Kamahara, Hirotosugu, U. Hasanudin, Y. Atsuta, A. Widiyanto, R. Tachibana, N. Goto, H. Daimon, and K. Fujie. 2010. Methane Emission from Anaerobic Pond of Tapioca Starch Extraction Wastewater in Indonesia. *Journal of Ecotechnology Research*, 15[2], 79- 83 (2010).
- Khan, S. dan Ali J. 2018. *Chemical analysis of air and water*. Biomassays, 21-39.

- Kartikasari, Subekah Nawa, Puspita Sari, dan Achmad Subagio. 2016. Chemical Characterization, Amilograph Profile (RVA), Granule Morphology (SEM) Biological Modified Cassava Starch. *Jurnal Agroteknologi* 10 (1): 12–24. <https://jurnal.unej.ac.id/index.php/JAGT/article/view/4472/3327>.
- Kaur, Lovedeep, Jaspreet Singh, Owen J. McCarthy, and Harmit Singh. 2007. Physico-Chemical, Rheological and Structural Properties of Fractionated Potato Starches. *Journal of Food Engineering* 82 (3): 383–94. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.02.059>.
- Kustyawati, Maria Erna, Azhari Rangga, dan Sri Setyani. 2017. The Dynamic Growth and Chemical Change of Mixed Cultures Inoculation on Tapioka Fermentation. *Microbiology Indonesia* 11 (3): 103–9. <https://doi.org/10.5454/mi.11.3.5>.
- Kusumaningrum, Annisa dan Siswo Sumardiono. 2016. Perbaikan Sifat Tepung Ubi Kayu Melalui Proses Fermentasi sawut Ubi Kayu dengan Starter Bakteri Asam Laktat. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan* 5(2) 2016. ©Indonesian Food Technologists.
- Lacerda, Inayara C.A., Rose L. Miranda, Beatriz M. Borelli, Álvaro C. Nunes, Regina M.D. Nardi, Marc André Lachance, and Carlos A. Rosa. 2005. Lactic Acid Bacteria and Yeasts Associated with Spontaneous Fermentations during the Production of Sour Cassava Starch in Brazil. *International Journal of Food Microbiology* 105 (2): 213–19. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2005.04.010>.
- Lima, Dâmaris Carvalho, Bianca Chieragato Maniglia, Manoel Divino Matta Junior, Patricia Le-Bail, Alain Le-Bail, and Pedro Esteves Duarte Augusto. 2021. Dual-Process of Starch Modification: Combining Ozone and Dry Heating Treatments to Modify Cassava Starch Structure and Functionality. *International Journal of Biological Macromolecules* 167: 894–905. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.11.046>.
- Liu Q. 2005. *Understanding starches and their role in foods*. In: Cui SW (ed) *Food Carbohydrates: Chemistry, Physical Properties and Applications*. CRC Press, Florida, Pp.309-355.
- Loebis, E.H. dan Meutia, Y.R. (2012). Pembuatan Starter Mocaf Terimobilisasi dari Isolat Bakteri Asam Laktat dan Aplikasinya pada Proses Produksi Mocaf. *Jurnal Hasil Penelitian Industri*, 25(1): 35-47.
- Lu, Zhan Hui, Li Te Li, Wei Cao, Zai Gui Li, and Eizo Tatsumi. 2003. Influence of Natural Fermentation on Physico-Chemical Characteristics of Rice Noodles. *International Journal of Food Science and Technology* 38 (5): 505–10. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2003.00701.x>.

- Manna, Mriganka Sekhar, Saikat Biswas, Tridib Kumar Bhowmick, and Kalyan Gayen. 2020. Acid Hydrolysis of the Waste Newspaper: Comparison of Process Variables for Finding the Best Condition to Produce Quality Fermentable Sugars. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 8 (5): 104345. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104345>.
- Mawarni, R. T. dan S. B. Widjanarko. 2015. Grinding By Ball Mill With Chemical Purification on Reducing Oxalate in Porang Flour. *Jurnal Pangan Dan Agroindustri* 3 (2): 571–81.
- Maziya-Dixon, B., Adebowale, A. A., Onabanjo, O. O. and Dixon, A. G. O. 2005. Effect of variety and drying methods on physico-chemical properties of high quality cassava flour from yellow cassava roots. African Crop Science Conference Proceedings, Vol. 7. pp. 635-641.
- Meitha, Angina, Yazid Bindar, and M. T.A.P. Kresnowati. 2016. Effects of Cassava Chips Fermentation Conditions on the Produced Flour Properties. *ASEAN Journal of Chemical Engineering* 16 (1): 50–58. <https://doi.org/10.22146/ajche.49674>.
- Mustafa, Arnida. 2016. Analisis Proses Pembuatan Pati Ubi Kayu (Tapioka) Berbasis Neraca Massa. *Agrointek* 9 (2): 118. <https://doi.org/10.21107/agrointek.v9i2.2143>.
- Nangin, D dan A Sutrisno. 2015. Enzim Amilase Pemecah Pati Mentah Dari Mikroba: Kajian Pustaka [In Press Juli 2015]. *Jurnal Pangan Dan Agroindustri* 3 (3): 1032–39. <https://jpa.ub.ac.id/index.php/jpa/article/view/226>.
- Nazhrah, Elsa Julianti, dan Linda Masniary. 2014. Pengaruh Proses Modifikasi Fisik Terhadap Karakteristik Pati dan Produksi Pati Resisten dari Empat Varietas Ubi Kayu (*Manihot Esculenta*).
- Nkoudou, Nardis Ze and J.J.N. Essia. 2017. Cyanides Reduction and Pasting Properties of Cassava (*Manihot Esculenta* Crantz) Flour as Affected by Fermentation Process. *Food and Nutrition Sciences*, (8) 326-333.
- Novenda, I.L., Pujiastuti, dan Nugroho S.A. 2017. Pemanfaatan limbah cair singkong dan industri tempe kedelai sebagai alternatif pupuk organik cair. *Pancaran*, 6(1): 107-118.
- Nugraheni, M., Handayani T.H.W., dan Utama A. 2015. Pengembangan mocaf (modified cassava flour) untuk meningkatkan diversifikasi pangan dan ekonomi pasca erupsi merapi. *Inotek*, 19(1): 52-69.

- Nurdjanah, S., S. Susilawati, U. Hasanudin, dan A. Anitasari. 2020. Karakteristik Morfologi dan Kimiawi Beberapa Varietas Ubi Kayu Manis Asal Kecamatan Palas Kabupaten Lampung Selatan Berdasarkan Umur Panen yang Berbeda. *Jurnal Agroteknologi* Vol. 14 No. 02 (2020): 126–136.
- Oboh, G., and A. A. Akindahunsi. 2005. Nutritional and Toxicological Evaluation of *Saccharomyces Cerevisiae* Fermented Cassava Flour. *Journal of Food Composition and Analysis* 18 (7): 731–38. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2004.06.013>.
- Oboh, G., dan Elusiyah, C. A. 2007. Changes in the nutrient and antinutrient content of micro-fungi fermented cassava flour produced from low- and medium cyanide variety of cassava tuber. *African Journal of Biotechnology*, 6 (18): 2150-2157.
- Ogbo, Frank C., and Edith N. Okafor. 2015. The Resistant Starch Content of Some Cassava Based Nigerian Foods. *Nigerian Food Journal* 33 (1): 29–34. <https://doi.org/10.1016/j.nifoj.2015.04.007>.
- Olaoye, O A, I G Lawrence, G N Cornelius, and M E Ihenetu. 2015. Evaluation of Quality Attributes of Cassava Product (Gari) Produced at Varying Length of Fermentation. *American Journal of of Agricultural Sciences* 2 (1): 1–7.
- Otaraku, I. J. and A. John Vitus. 2018. Effect of Fermentation Time on the Quality, Starch Content and the Proximate Values of Processed Cassava (Garri). *International Journal of Scientific & Engineering Research* 9 (7). <http://www.ijser.org>.
- Oyeyinka, Samson A., Abiodun A. Adeloye, Omotayo O. Olaomo, and Eugénie Kayitesi. 2020. Effect of Fermentation Time on Physicochemical Properties of Starch Extracted from Cassava Root. *Food Bioscience* 33: 100485. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2019.100485>.
- Padi, R.C. and Annie Chimphango. 2020. Commercial Viability of Integrated Wsate Treatment in Cassava Starch Industries for Targeted Resource Recoveries. *Journal of Cleaner Produsction* 265 (2020) 121619.
- Pasca, Bella Dwi, Tjahja Muhandri, Dase Hunaefi, dan Budi Nurtama. 2022. Karakteristik Fisikokimia Tepung Singkong Dengan Beberapa Metode Modifikasi. *Jurnal Mutu Pangan : Indonesian Journal of Food Quality* 8 (2): 97–104. <https://doi.org/10.29244/jmpi.2021.8.2.97>.
- Pingmuanglek, Prus, Napat Jakrawatana, and Shabbir H. Gheewala. 2017. Supply Chain Analysis for Cassava Starch Production: Cleaner Production Opportunities and Benefits. *Journal of Cleaner Production* 162: 1075–84. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.148>.

- Pratiwi, A.D., S. Nurdjanah, dan T.P. Utomo. 2020. Pengaruh Suhu dan Lama Pemanasan Saat Proses Blansing Terhadap Sifat Kimia, Fisikokimia dan Fisik Tepung Ubi Kayu. *Jurnal Penelitian Pascapanen Pertanian* 17 (2): 47–55.
- Purwanto. 2004. Model Penerapan Produksi Bersih pada Sektor Industri Kecil, Menengah. *Seminar Nasional Teknologi Proses Kimia VI*. Jakarta, 24 Maret 2004.
- Putri, Nia Ariani, Herlina Herlina, dan Achmad Subagio. 2018. Karakteristik Mocaf (Modified Cassava Flour) Berdasarkan Metode Penggilingan Dan Lama Fermentasi. *Jurnal Agroteknologi* 12 (01): 79. <https://doi.org/10.19184 /j-agt.v12i1.8252>.
- Rahmiati, T.M., Y.A. Purwanto, S. Budijanto, dan N. Khumaida. 2016. Sifat Fisikokimia Tepung dari 10 Genotipe Ubi Kayu (*Manihot esculenta* Crantz) Hasil Pemuliaan. *Jurnal Agritech* Vol.36(4): 459-466. November 2016. DOI:10.22146/agritech. 16771.
- Ramadhan, Burhan, dan Prima Retno Wikandari. 2021. Review Artikel: Aktivitas Enzim Amilase Dari Bakteri Asam Laktat (Karakteristik Dan Aplikasi). *Unesa Journal of Chemistry* 10 (2): 109–20. <https://doi.org/10.26740/ujc.v10n2.p109-120>.
- Sánchez, Antonio Santos, Yuri Lopes Silva, Ricardo Araújo Kalid, Eduardo Cohim, and Ednildo Andrade Torres. 2017. Waste Bio-Refineries for the Cassava Starch Industry: New Trends and Review of Alternatives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 73 (February): 1265–75. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.007>.
- Sangseethong, K., Termvejyassayanon, N., and Siroth, K. 2010. Characterization of Physicochemical Properties of Hypochlorite and Peroxide-oxydized Cassava Starches. *Carbohydrate Polymer*, 82:44-53.
- Saleh, N., A. Taufiq, Y. Widodo, dan T. Sundari. 2016. *Pedoman Budi Daya Ubi Kayu di Indonesia*. IAARD Press Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Jakarta.
- Sanni, L. O., Kosoko, S. B., Adebawale, A. A. and Adeoye, R. J. 2004. The Influence of palm oil and chemical modification on the pasting and sensory properties of fufu flour. *International Journal of Food Properties* 7: 229–237.
- Santana, A.L., and Meireles, M.A.A. 2015. New Starches are The Trend for Industry Applications: A Review, *Food and Public Health*, 4 (5):229-241.
- Santoso, Budi, Carles, Parwiyanti, dan Rindit Pambayun. 2012. Karakterisasi Sifat Fisik Dan Kimia Beras Aruk Ubi Kayu. *Agroindustri* 2 (2): 99–107. <https://www.ptonline.com/articles/how-to-get-better-mfi-results>.

- Sarajar, Alin Elita Esther, Refa Putri Ramadhania, dan Purwanto. 2018. Organic Pollutant Degradation of Tapioca Flour Industrial Waste with Photo-Fenton Reaction. *MATEC Web of Conferences* 156: 1–4. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815603048>.
- Saranraj, P., Sudhanshu S. Behera, and Ramesh C. Ray. 2019. *Chapter 7 - Traditional Foods From Tropical Root and Tuber Crops: Innovations and Challenges. Innovations and Challenges. Innovations in Traditional Foods.* Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814887-7.00007-1>.
- Scott, G. J., M. W. Rosegrant, and C. Ringler. 2000. *Roots and Tubers for the 21st Century Trends, Projections, and Policy Options. Food, Agriculture, and the Environment Discussion Paper.*
- Singh, N., Singh, J., Kaur, L., Sodhi, N.S. and Gill, B.S. 2003. Morphological, Thermal and Rheological Properties of Starches from Different Botanical Sources. *Food Chemistry*, 81, 219-231.
- Subagio, A. 2006. Ubi Kayu Substitusi Berbagai tepung-tepungan. *Food Review*, I (3): 18-22.
- Subagio, A., Wiwik S.W., Yuli W., dan Fikri F. 2008. *Prosedur operasi standar (POS) produksi mocaf berbasis klaster.* Kementerian Negara Riset dan Teknologi. Jember.
- Suroso, E. 2011. *Model Proses Produksi Industri Tapioka Ramah Lingkungan Berbasis Produksi Bersih (Studi Kasus di Provinsi Lampung)* (Disertasi). Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor. 145 p
- Susilawati, Siti Nurdjanah, dan Sefanadia Putri. 2008. Karakteristik Sifat Fisik dan Kimia Ubi Kayu (*Manihot Esculenta*) Berdasarkan Lokasi Penanaman dan Umur Panen Berbeda. *Teknologi Industri Dan Hasil Pertanian* 13 (2): 59–72.
- Susilo, F.A.P., Suharto B., dan Susanawati L.D. 2016. Pengaruh variasi waktu tinggal terhadap kadar BOD dan COD limbah tapioka dengan metode rotating biological contactor. *Jurnal Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 21-26.
- Syamsir, Elvira, Purwiyatno Hariyadi, Dedi Fardiaz, Nuri Andarwulan, dan Feri Kusnandar. 2011. Karakterisasi Tapioka dari Lima Varietas Ubi Kayu (*Manihot utilisima* Crantz) Asal Lampung. *Jurnal Agrotek* 5(1): 93-105.
- Tandrianto, Jeffry, Doniarta Kurniawan Mintoko, dan Setiyo Gunawan. 2014. Effect of Fermentation Using *Lactobacillus Plantarum* on Protein Content of Mocaf (Modified Cassava Flour). *Jurnal Teknik Pomits* 3 (2): 143–45.

- Tappiban, Piengtawan, Supajit Sraphet, Nattaya Srisawad, Peng Wu, Huaxin Han, Duncan R. Smith, Jinsong Bao, and Kanokporn Triwitayakorn. 2020. Effects of Cassava Variety and Growth Location on Starch Fine Structure and Physicochemical Properties. *Food Hydrocolloids* 108 (May): 106074. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106074>.
- Ubalua, A. O. 2007. Cassava Wastes: Treatment Options and Value Addition Alternatives. *African Journal of Biotechnology* 6 (18): 2065–73. <https://doi.org/10.5897/ajb2007.000-2319>.
- Vavarinit S, Shobsngob S, Varanyanond W, Chinachoti P. Naivikul O. 2003. Effect of Amylase Contact on Gelatinisation, Retrogradation and Pasting Properties of Flour from Different Cultivars of Thai Rice. *Starch-Starke*, 55(9):410-415.
- Widyatmoko, Heru, Achmad Subagio, dan Nurhayati. 2018. Sifat-Sifat Fisikokimia Pati Ubi Kayu Terfermentasi Khamir Indigenus Tapai. *Agritech* 38 (2): 140. <https://doi.org/10.22146/agritech.26323>.
- Winarno, F.G. 2004. *Kimia Pangan dan Gizi*. Cetakan ke-XI. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Wulandari, F., Nazaruddin, dan Amaro M. 2021. Pengaruh jenis bakteri asam laktat dan lama fermentasi terhadap mutu fisik, kimia, organoleptik dan mikrobiologi tepung mocaf. *Prosiding Saintek Lppm Universitas Mataram*, 3: 169 – 181.
- Yaqin, N., Al-Baarri A.N., Legowo A.M., Widayat., dan Budihardjo M.A. 2019. Physical characteristics of modified cassava flour wastewater at room temperature. *International Conference On Food Science & Technology*, 1 – 4.
- Zhu, Fan. 2015. Composition, Structure, Physicochemical Properties, and Modifications of Cassava Starch. *Carbohydrate Polymers* 122: 456–80. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.10.063>.
- Zuroida, E.A. 2015. *Detoksifikasi Kandungan Sianida dengan Perendaman Air dalam Pengolahan Tepung Gadung (Discorea hispida Dennst). (Kajian air:bahan dan bentuk sampel)*. Skripsi Universitas Brawijaya Malang. halaman.