



**KARAKTERISTIK FISIKOKIMIA DAN FUNGSIONAL TEPUNG
SINGKONG (*Manihot esculenta* C.) TERFERMENTASI OLEH
Lactobacillus casei SECARA KULTUR
TERENDAM DAN PADAT**

SKRIPSI

oleh
Hidayatul Fijriyah
NIM 121710101127

**JURUSAN TEKNOLOGI HASIL PERTANIAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
UNIVERSITAS JEMBER**

2017



**KARAKTERISTIK FISIKOKIMIA DAN FUNGSIONAL TEPUNG
SINGKONG (*Manihot esculenta* C.) TERFERMENTASI OLEH
Lactobacillus casei SECARA KULTUR
TERENDAM DAN PADAT**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan studi pada Program Studi Teknologi Hasil Pertanian (S-1) dan mencapai gelar Sarjana Teknologi Pertanian

oleh
Hidayatul Fijriyah
NIM 121710101127

**JURUSAN TEKNOLOGI HASIL PERTANIAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
UNIVERSITAS JEMBER**

2017

PERSEMBAHAN

Segala puji bagi Allah atas segala rahmat dan karunia-Nya yang telah Engkau berikan untuk hamba.

Sebagai rasa syukur ku persembahkan skripsi ini untuk:

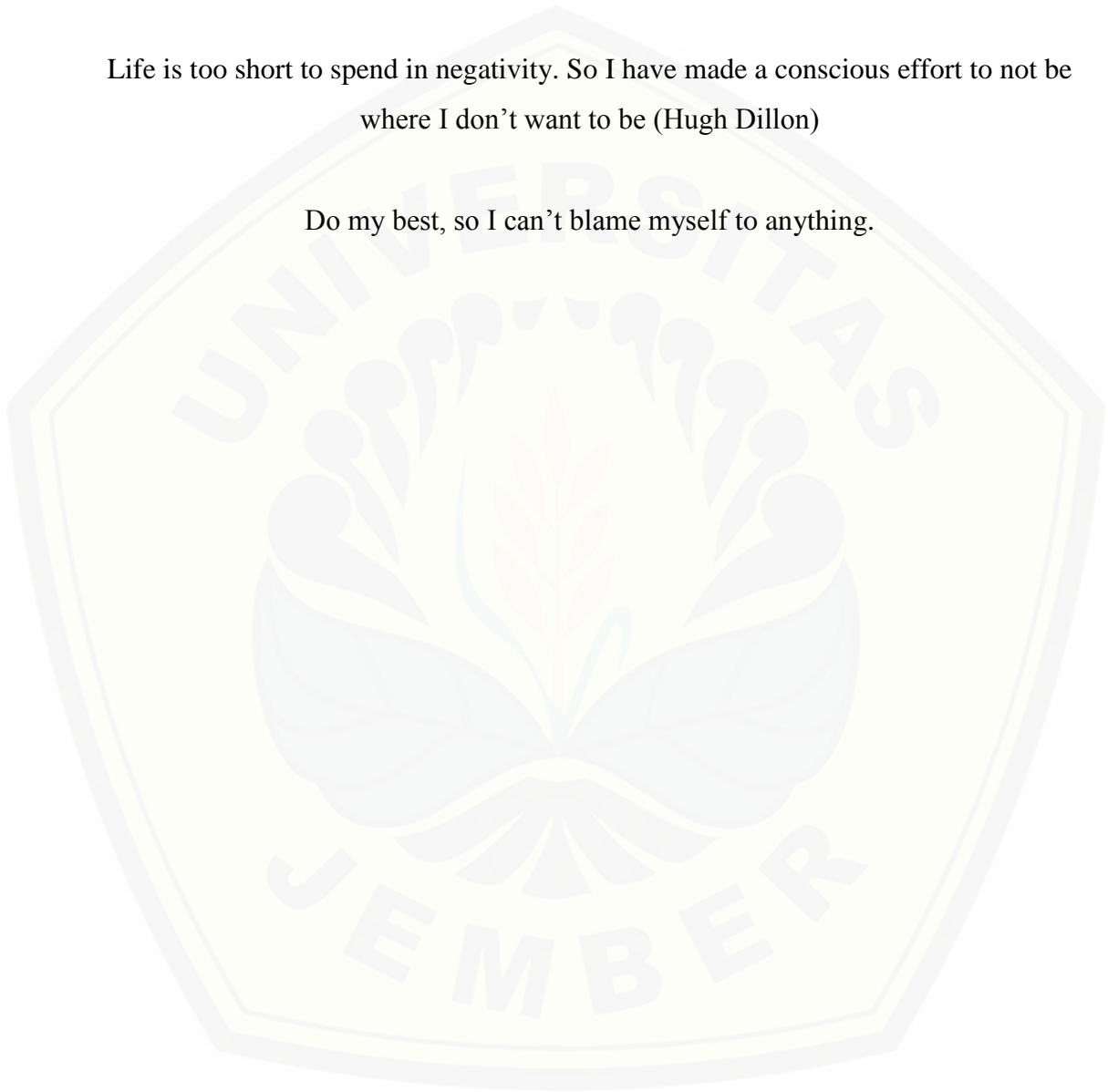
1. Almarhum Bapak **Imam Sanusi** yang telah merawat, mendidik, dan memberi kasih sayang hingga hari terakhir didunia;
2. Ibunda **Kasiatun** tercinta yang selalu mendoakan, merawat, mendidik, mendukung dan memberi kasih sayangnya yang terbaik sejak saya dilahirkan;
3. Kakak-kakakku **Afifatun Aisyiah, Arif Moh. Lutfi, Aris Budiarti Ningsih** dan **Liza Nur Laili** yang tak hentinya memberikan dukungan;
4. Seluruh keluarga Besar Mbah Robil dan keponakan-kopanakan kecil;
5. Bapak dan Ibu guru sejak taman kanak-kanak hingga perguruan tinggi yang selalu mengajarku tentang banyak ilmu pengetahuan dan ilmu agama hingga aku menjadi pribadi yang lebih baik;
6. Almamater TK Kusuma Mulia XIII, MI Miftahul Huda, SMPN 2 Pare, SMAN 2 Pare, dan Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember;
7. Seluruh jajaran Dekanat beserta perangkat administrasinya, keluarga besar Laboratorium RPHP dan KBHP Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Universitas Jember;
8. Keluarga kecilku selama di Jember **Corin** dan **Laras** serta seluruh komunitas THP C angkatan 2012;
9. Teman seperjuangan SMADA di Jember **Faisal** dan **Rifta** serta seluruh komunitas IMAKA di Jember.

MOTTO

Bila dilahirkan dan meninggal dalam keadaan sendiri, maka tak ada salahnya bila harus berjuang seorang diri untuk hidup.

Life is too short to spend in negativity. So I have made a conscious effort to not be where I don't want to be (Hugh Dillon)

Do my best, so I can't blame myself to anything.



PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Hidayatul Fijriyah

NIM : 121710101127

menyatakan sesungguhnya bahwa Karya Tulis Ilmiah yang berjudul “Karakteristik Fisikokimia dan Fungsional Tepung Singkong (*Manihot esculenta* C.) Terfermentasi oleh *Lactobacillus casei* secara Kultur Terendam dan Padat” adalah benar-benar hasil karya sendiri kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan kepada institusi manapun serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan kebenaran isi karya tulis ini sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapatkan sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember,
Yang menyatakan,

Hidayatul Fijriyah
121710101127

SKRIPSI

**KARAKTERISTIK FISIKOKIMIA DAN FUNGSIONAL TEPUNG
SINGKONG (*Manihot esculenta* C.) TERFERMENTASI OLEH
Lactobacillus casei SECARA KULTUR
TERENDAM DAN PADAT**

Oleh

Hidayatul Fijriyah

121710101127

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : **Dr. Nurhayati S.TP., M.Si**

Dosen Pembimbing Anggota : **Dr. Ir. Jayus**

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Karakteristik Fisikokimia dan Fungsional Tepung Singkong (*Manihot esculenta* C.) Terfermentasi oleh *Lactobacillus casei* secara Kultur Terendam dan Padat” karya Hidayatul Fijriyah (121710101127) telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember pada:

Hari : Senin

Tanggal : 12 Juni 2017

Dosen Pembimbing Utama,

Dosen Pembimbing Anggota,

Dr. Nurhayati, S.TP., M.Si.
NIP. 197904102003122004

Dr. Ir. Jayus
NIP. 196805161992031004

Tim Penguji

Penguji Utama,

Penguji Anggota,

Dr. Ir. Sony Suwasono, M.App.Sc.
NIP. 196411091989021002

Ir. Giyarto M.Sc.
NIP. 196607181993031013

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknologi Pertanian

Universitas Jember,

Dr. Siswoyo Soekarno, S.TP., M.Eng.

NIP. 196809231994031009

RINGKASAN

Karakteristik Fisikokimia dan Fungsional Tepung Singkong (*Manihot esculenta* C.) Terfermentasi oleh *Lactobacillus casei* secara Kultur Terendam dan Padat. Hidayatul Fijriyah, 1217101011271; 2017; 62 halaman; Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember.

Pemanfaatan tepung singkong sangat luas baik sebagai bahan pangan maupun bahan non-pangan, sebagai contoh yaitu sebagai bahan pengental dan agen penstabil makanan. Penggunaan tepung singkong sebagai bahan utama dalam industri memiliki kelemahan dan kendala, karena sifat dan karakteristiknya yang terbatas. Keterbatasan sifat tersebut meliputi kestabilan yang kurang, ketahanan pasta yang rendah akibat tidak tahan terhadap panas dan kondisi asam. Fermentasi merupakan alternatif yang dapat dilakukan untuk meningkatkan sifat polimer pati, seperti viskositas pasta, rheologi yang dapat memperbaiki mutu produk.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik fisikokimia dan fungsional tepung singkong hasil fermentasi kultur terendam dan padat menggunakan produk komersial susu fermentasi kaya *L. casei*. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi Pangan dan Hasil Pertanian, Laboratorium Rekayasa Pangan dan Hasil Pertanian, Laboratorium Kimia dan Biokimia Hasil Pertanian dan Laboratorium *Center for Development of Advance Science and Technology* (C-DAST) Universitas Jember pada bulan Agustus sampai November 2016. Penelitian ini menggunakan metode Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan satu faktor yaitu fermentasi cair (C) dan padat (P) secara spontan (S) dan terkendali (K) dalam rentan waktu 24, 48, dan 72 jam serta tepung galek sebagai kontrol. Kombinasi perlakuan diulang sebanyak dua kali.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa derajat putih tepung singkong hasil fermentasi menggunakan *L. casei* berkisar antara 98-100, lebih tinggi dibandingkan tepung singkong tanpa fermentasi 97. Kadar amilosa tepung singkong hasil fermentasi kultur terendam menggunakan BAL memiliki nilai lebih tinggi (13,7%) dibandingkan tepung hasil fermentasi spontan kultur

terendam (11,03%). Tepung singkong hasil fermentasi kultur terendam memiliki nilai WHC (326,7%) dan OHC (710,3%) lebih tinggi dibandingkan tepung singkong hasil fermentasi kultur padat. Suhu gelatinisasi tepung singkong hasil fermentasi lebih rendah (69,7°C) dibandingkan tepung singkong tanpa fermentasi (70,4°C) karena jumlah kadar amilosa tepung singkong hasil fermentasi yang lebih tinggi (13,7%). Viskositas tepung singkong hasil fermentasi menggunakan BAL memiliki nilai puncak lebih tinggi (5135cP) dibandingkan tepung singkong tanpa fermentasi (4495cP) dengan waktu yang lebih lama (4,33 menit) dan pada suhu yang lebih rendah (72,55°C).

SUMMARY

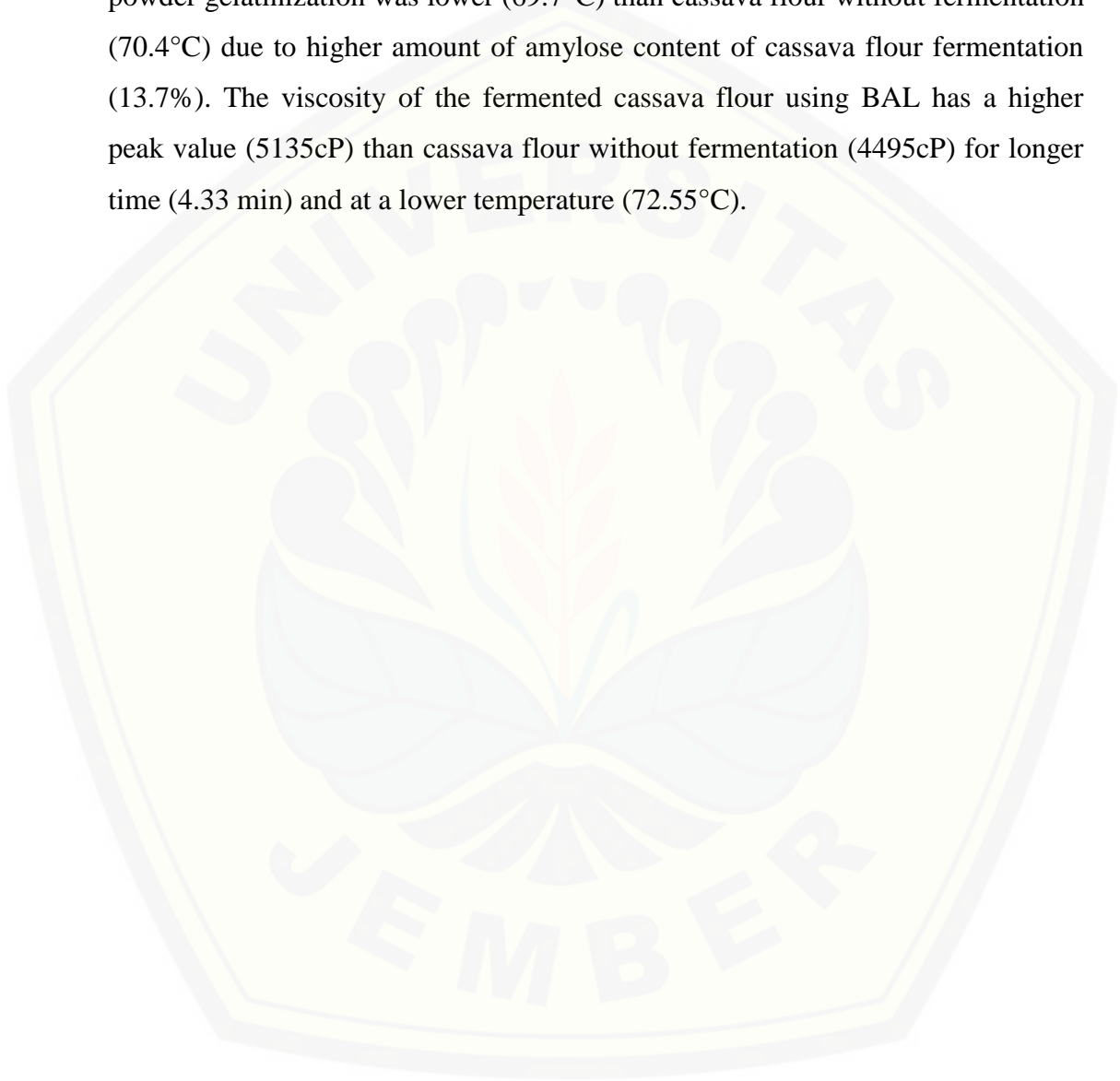
Physico-chemical and Functional Characteristics of Fermented Cassava (*Manihot esculenta* C.) Flour by *Lactobacillus casei* in Submerged and Solid-state Fermentation. Hidayatul Fijriyah, 1217101011271; 2017; 62 pages; Department of Agricultural Product Technology Faculty of Agricultural Technology University of Jember.

The application of cassava flour is widely known as both food and non-food ingredients, for example as a thickener and food stabilizer agent. The weaknesses and constraints of using cassava flour as the main ingredient in the industry has due to its limited nature and characteristics. Limitations of these properties include poor stability, low paste resistance due to no resistance to heat and acid conditions. Fermentation is an alternative that can be done to improve the properties of starch polymers, such as pasta viscosity, rheology that can improve product quality.

This study aims to determine the physicochemical and functional characteristics of fermented cassava flour submerged and solid culture use commercial products fermented milk rich in *L. casei*. This research had been conducted during August until November 2016 at the Laboratory of Food Microbiology and Agricultural Products, Laboratory of Food Engineering and Agricultural Products, Laboratory of Chemistry and Biochemistry of Agricultural Products, and Laboratory of Center for Development of Advance Science and Technology (C-DAST) in University of Jember. The method was Complete Randomized Design (RAL) using one factor, which was spontaneous (S) and controlled (K) fermentation using submerged (C) and solid-state culture (P) within of 24, 48 and 72 hours. Unfermented cassava flour was used as the control and the treatment combination was repeated twice.

The results showed that the whiteness of fermented cassava flour using *L. casei* ranged from 98-100, higher than cassava flour without fermentation 97. Amylose content of cassava flour resulting from fermentation of submerged

culture using BAL had higher value (13,7%) than flour resulting from spontaneous fermentation of submerged culture (11.03%). Cassava flour resulting from submerged fermentation has WHC (326,7%) and OHC (710,3%) higher than cassava flour solid-state fermentation. The temperature of fermented cassava powder gelatinization was lower (69.7°C) than cassava flour without fermentation (70.4°C) due to higher amount of amylose content of cassava flour fermentation (13.7%). The viscosity of the fermented cassava flour using BAL has a higher peak value (5135cP) than cassava flour without fermentation (4495cP) for longer time (4.33 min) and at a lower temperature (72.55°C).



PRAKATA

Segala puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpah rahmat taufiq dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan karya tulis ilmiah yang berjudul “Karakteristik Fisikokimia dan Fungsional Tepung Singkong (*Manihot esculenta* C.) Terfermentasi oleh *Lactobacillus casei* secara Kultur Terendam dan Padat”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar sarjana di Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini dapat terselesaikan tidak lepas dari bantuan doa, dukungan, bimbingan dan masukan dari berbagai pihak. Dengan demikian, penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. Dr. Siswoyo Soekarno, S.TP., M.Eng., selaku Dekan Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember;
2. Ir. Giyarto, M.Sc., selaku Ketua Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Universitas Jember;
3. Dr. Bambang Herry P., S.TP, M.Si., selaku Komisi Bimbingan Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Universitas Jember;
4. Dr. Nurhayati, S.TP., M.Si dan Dr. Ir. Jayus, selaku Dosen Pembimbing skripsi yang telah meluangkan waktu, pikiran dan perhatian serta memberikan bimbingan, pengarahan dan saran demi terselesainya penulisan Karya Tulis Ilmiah ini;
5. CDAST Universitas Jember Divisi Biomaterial dan Bioproses.
6. Seluruh Dosen dan karyawan Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember yang telah memberi sejuta ilmu yang bermanfaat;
7. Seluruh staf dan karyawan Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember yang telah banyak membantu penulis selama studi;
8. Seluruh teknisi laboratorium Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember yang telah banyak membantu dan memberikan kemudahan bagi penulis selama penelitian;

9. Kedua orang tua dan kakak-kakak tercinta yang selalu mendoakan dan memberi dukungan moral maupun material selama pelaksanaan skripsi;
10. Almamaterku tercinta Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember;
11. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata penulis berharap, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat.

Jember, Juni 2017

Penulis

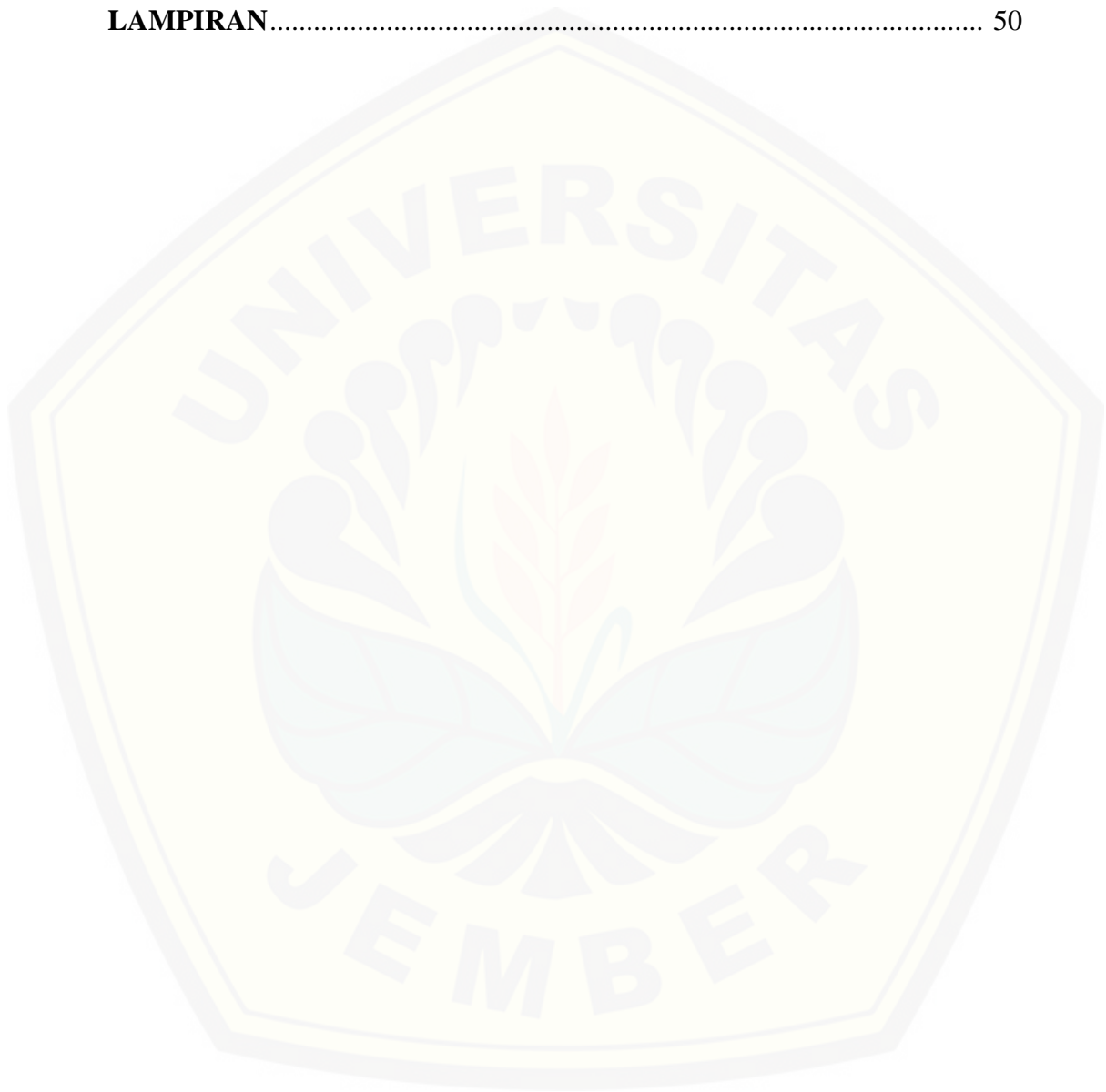
DAFTAR ISI

| | Halaman |
|---|---------|
| HALAMAN SAMPUL | i |
| HALAMAN JUDUL | ii |
| HALAMAN PERSEMBAHAN | iii |
| HALAMAN MOTTO | iv |
| HALAMAN PERNYATAAN..... | v |
| HALAMAN PEMBIMBINGAN..... | vi |
| HALAMAN PENGESAHAN..... | vii |
| RINGKASAN | viii |
| SUMMARY | x |
| PRAKATA..... | xii |
| DAFTAR ISI..... | xiv |
| DAFTAR TABEL | xvii |
| DAFTAR GAMBAR..... | xviii |
| DAFTAR LAMPIRAN | xix |
| BAB 1. PENDAHULUAN | |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Perumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | 3 |
| 1.4 Manfaat Penelitian | 3 |
| BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA | |
| 2.1 Tepung Singkong | 4 |
| 2.2 Modified Cassava Flour | 6 |
| 2.3 Pati | 8 |
| 2.4 Gelatinisasi Pati | 10 |
| 2.4 Lactobacillus casei | 12 |
| 2.4 Metode Fermentasi | 14 |
| 2.5 Penelitian Terdahulu tentang Modifikasi Tepung | 15 |
| Singkong | |

| | |
|--|----|
| 2.6 Hipotesis Penelitian | 17 |
| BAB 3. METODE PENELITIAN | |
| 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian | 18 |
| 3.2 Alat dan Bahan Penelitian | 18 |
| 3.3 Pelaksanaan Penelitian | 18 |
| 3.3.1 Rancangan Percobaan..... | 18 |
| 3.3.2 Tahapan Penelitian..... | 19 |
| 3.4 Variabel Pengamatan | 21 |
| 3.5 Prosedur Analisis Sifat Fisik Tepung Singkong | 21 |
| 3.5.1 Derajat putih | 21 |
| 3.5.2 Daya kembang | 21 |
| 3.5.3 Sifat Termal Tepung..... | 22 |
| 3.5.4 Kadar air | 22 |
| 3.6 Prosedur Analisis Sifat Kimia Tepung Singkong | 22 |
| 3.6.1 Pengukuran derajat keasaman (pH) air perendam | 22 |
| 3.6.2 Profil amilografi | 23 |
| 3.6.3 kadar amilosa | 23 |
| 3.7 Prosedur Analisis Sifat Fungsional Teknis Tepung Singkong . | 24 |
| 3.7.1 <i>Water holding capacity</i> | 24 |
| 3.7.2 <i>Oil holding capacity</i> | 25 |
| 3.8 Analisis Data | 25 |
| BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN | |
| 4.1 Derajat Putih | 26 |
| 4.2 Daya Kembang | 27 |
| 4.3 Sifat Termal Tepung | 29 |
| 4.4 Kadar Air | 31 |
| 4.5 Derajat Keasaman (pH) Air Perendam | 33 |
| 4.6 Profil Amilografi | 34 |
| 4.7 Kadar Amilosa | 37 |
| 4.8 <i>Water Holding Capacity</i> | 39 |
| 4.9 <i>Oil Holding Capacity</i> | 40 |

BAB 5. PENUTUP

| | |
|-----------------------------|----|
| 5.1 Kesimpulan | 42 |
| 5.2 Saran | 42 |
| DAFTAR PUSTAKA | 43 |
| LAMPIRAN | 50 |



DAFTAR TABEL

| | Halaman |
|---|---------|
| 2.1 Komposisi kimia dan sifat fisikokimia tepung singkong..... | 4 |
| 2.2 Spesifikasi persyaratan mutu tepung singkog..... | 5 |
| 2.3 Syarat mutu tepung mocaf | 6 |
| 2.4 Perbedaan komposisi kimia mocaf dan tepung singkong | 7 |
| 2.5 Perbedaan sifat fisik dan organoleptik mocaf dan tepung singkong | 8 |
| 2.6 Perbedaan fermentasi padat dan kultur terendam | 15 |
| 3.1 Kombinasi perlakuan penelitian..... | 19 |
| 4.1 Sifat termal tepung singkong hasil fermentasi..... | 29 |
| 4.2 Profil amilografi tepung singkong hasil fermentasi..... | 34 |

DAFTAR GAMBAR

| | Halaman |
|---|---------|
| 2.1 Rumus struktur amilosa..... | 9 |
| 2.2 Rumus struktur amilopektin..... | 9 |
| 2.3 Mekanisme gelatinisasi pati..... | 11 |
| 3.1 Diagram alir dan tahap penelitian tepung singkong | |
| Terfermentasi..... | 20 |
| 4.1 Derajat putih tepung singkong..... | 26 |
| 4.2 Daya kembang tepung singkong..... | 28 |
| 4.3 Analisis sifat termal tepung singkong..... | 30 |
| 4.4 Kadar air tepung singkong..... | 32 |
| 4.5 Nilai pH air perendam..... | 33 |
| 4.6 Profil RVA tepung singkong..... | 37 |
| 4.7 Kadar amilosa tepung singkong..... | 38 |
| 4.8 WHC tepung singkong..... | 39 |
| 4.9 OHC tepung singkong..... | 41 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | Halaman |
|--|---------|
| A.1 Data hasil pengukuran derajat putih..... | 50 |
| A.2 Hasil uji keragaman derajat putih | 50 |
| B.1 Data hasil pengukuran daya kembang..... | 52 |
| B.2 Hasil uji keragaman daya kembang..... | 52 |
| C.1 Data hasil pengukuran kadar air..... | 54 |
| C.2 Hasil uji keragaman kadar air..... | 54 |
| D.1 Data pengukuran pH air perendam | 56 |
| D.2 Hasil uji keragaman pH air perendam..... | 56 |
| E.1 Dara pengukuran kadar amilosa | 57 |
| E.2 Hasil uji keragaman kadar amilosa..... | 57 |
| F.1 Data pengukuran WHC..... | 59 |
| F.2 Hasil uji keragaman WHC..... | 59 |
| G.1 Data pengukuran OHC..... | 61 |
| G.2 Hasil uji keragaman OHC | 61 |

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemanfaatan tepung singkong sangat luas baik sebagai bahan pangan maupun bahan non-pangan. Sebagai contoh, penggunaan tepung singkong dalam industri pangan yaitu untuk bahan pengental, dan sebagai agen penstabil makanan, sedangkan pada industri non-pangan seperti kertas, farmasi, dan produksi *biofuel* (Koswara, 2006). Perbedaan mutu yang dihasilkan dapat dipengaruhi oleh sifat atau karakteristik tepung singkong yang digunakan. Penggunaan tepung singkong sebagai bahan utama dalam industri memiliki kelemahan dan kendala, karena sifat dan karakteristiknya yang terbatas. Keterbatasan fungsi tepung singkong disebabkan kestabilan, ketahanan pasta yang rendah akibat sifat pati yang tidak tahan terhadap panas dan kondisi asam (Singh *et al.*, 2004). Modifikasi tepung singkong merupakan alternatif yang dapat dilakukan untuk meningkatkan sifat polimer pati, seperti viskositas pasta, rheologi yang dapat memperbaiki mutu produk makanan ringan (Syamsir, 2012).

Menurut Radley (1976), fungsionalitas pati pada produk pangan ataupun nonpangan tergantung dari sifat fisik pati. Sifat fisik pati tersebut dipengaruhi oleh dua komponen utama dalam pati yaitu amilosa dan amilopektin. Menurut Matz (1976), tingkat pengembangan dan tekstur dari makanan ringan (*snack*) dipengaruhi oleh rasio dari amilosa dan amilopektin. Menurut Balagopalan *et al.* (1988), tekstur pada produk berbahan dasar pati diperoleh dari hasil perubahan pati selama dan setelah pemasakan. Beberapa faktor yang mempengaruhi tekstur produk antara lain gelatinisasi, daya kembang, viskositas, dan retrogradasi. Faktor pH pada pati juga dapat mempengaruhi mutu produk berbahan dasar pati. Reddy *et al* (2008) melaporkan bahwa bakteri asam laktat memiliki sifat amilolitik yaitu mampu menghasilkan enzim amilase untuk mendegradasi pati. Bakteri asam laktat akan menghancurkan selulosa yang membungkus pati, sehingga didapatkan tepung bertekstur halus. Mikroba-mikroba probiotik penghasil asam laktat dari spesies *Lactobacillus*, menghasilkan enzim selulase.

Berdasarkan uraian di atas maka dapat dilakukan fermentasi pada chip singkong sebagai solusi untuk meningkatkan kecepatan gelatinisasi, peningkatan daya kembang, viskositas, dan retrogradasi dari tepung yang dihasilkan. Fermentasi dilakukan secara kultur terendam dan atau kultur padat, yang diharapkan dapat memperbaiki sifat fisikokimia maupun fungsional tepung singkong. Oleh sebab itu, perlu dikaji karakteristik fisikokimia dan fungsional tepung singkong hasil fermentasi menggunakan produk komersial susu fermentasi kaya *Lactobacillus casei* sebagai starter.

1.2 Perumusan Masalah

Modifikasi fermentasi pada chip singkong dapat memperbaiki daya kembang tepung yang dihasilkan. Berkaitan dengan hal tersebut, Anggraeni *et al.* (2014) menunjukkan bahwa semakin lama perendaman (fermentasi) *chips* maka granula pati mengalami pembengkakan yang menyebabkan kemampuan mengembang tepung dan viskositas meningkat. Pengembangan granula dalam air makin cepat pada granula tepung yang rusak, baik oleh kerusakan fisik, kimia maupun enzimatis.

Menurut Rahman (2007), enzim selulase dapat mendegradasi dinding sel singkong sedemikian rupa sehingga terjadi liberasi granula pati. Proses pembebasan granula pati ini akan menyebabkan perubahan karakteristik dari tepung yang dihasilkan berupa naiknya viskositas, kemampuan gelasi, daya rehidrasi, dan kemudahan melarut. Mikroba-mikroba probiotik penghasil asam laktat dari spesies *Lactobacillus*, menghasilkan enzim selulase. Menurut Suseno (2015), penggunaan starter cair, starter padat dan tanpa starter dapat berpengaruh pada perubahan sifat fisikokimia. Evaluasi karakteristik tepung modifikasi yang berkaitan dengan perubahan sifat fisikokimia dan fungsionalnya dilakukan untuk mengetahui efek fermentasi. Oleh sebab itu perlu dilakukan penelitian ini untuk mengetahui perubahan-perubahan karakteristik tepung singkong hasil fermentasi dengan *L. casei*.

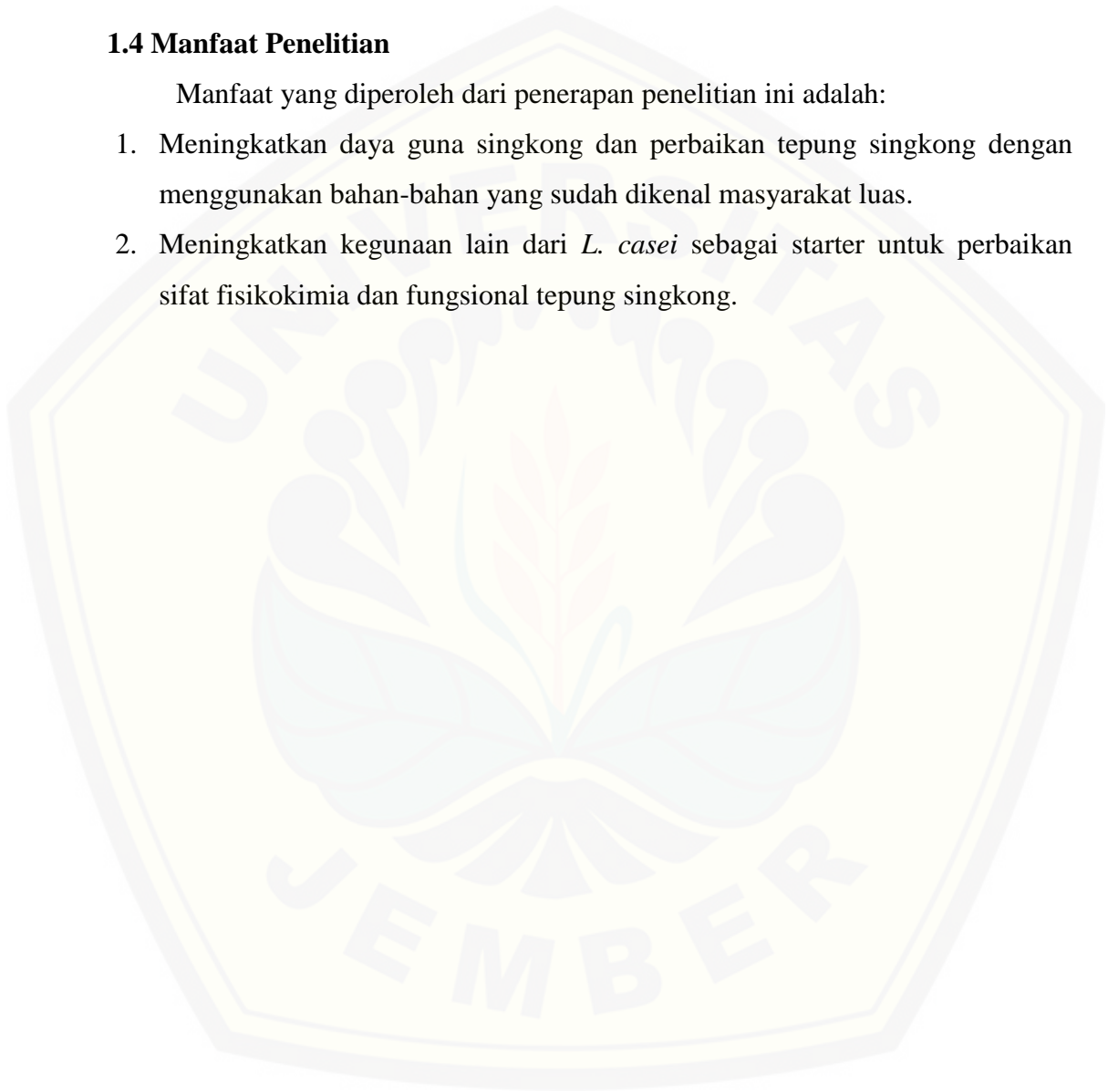
1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian ini adalah mengetahui karakteristik fisikokimia dan fungsional tepung singkong hasil fermentasi kultur terendam dan padat menggunakan susu fermentasi kaya *Lactobacillus casei*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penerapan penelitian ini adalah:

1. Meningkatkan daya guna singkong dan perbaikan tepung singkong dengan menggunakan bahan-bahan yang sudah dikenal masyarakat luas.
2. Meningkatkan kegunaan lain dari *L. casei* sebagai starter untuk perbaikan sifat fisikokimia dan fungsional tepung singkong.



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tepung Singkong

Tepung singkong merupakan hasil olahan singkong yang diperoleh dari menggiling gaplek sehingga diperoleh tepung dengan ukuran maksimal 100 mesh (Septianingrum, 2008). Proses pengolahan tepung singkong merupakan kelanjutan proses setelah singkong segar dikeringkan, digiling/dihaluskan dan kemudian diayak. Mutu tepung singkong sangat ditentukan oleh kondisi singkong segarnya. Umbi singkong memiliki sifat yang mudah rusak sehingga perlu penanganan yang tepat, pengangkutan dan penyimpanan maksimal 24 jam setelah panen, singkong harus segera diproses menjadi gaplek, chip atau sawut kering untuk mendapatkan mutu tepung yang optimal (Suhardi, 2006). Tepung singkong yang dihasilkan selanjutnya diayak dengan derajat kehalusan 60-80 mesh. Rendemen tepung singkong umumnya sebesar 25%. Komposisi kimia dan sifat fisikokimia tepung singkong dapat dilihat pada **Tabel 2.1**

Tabel 2.1 Komposisi kimia dan sifat fisikokimia tepung singkong

| Kriteria | Satuan | Kandungan |
|----------------------------|--------|-----------|
| Kadar air | % | 11,11 |
| Kadar karbohidrat | % | 84,64 |
| Kadar protein | % | 1,65 |
| Kadar lemak | % | 0,65 |
| Kadar abu | % | 1,50 |
| Kadar serat | % | 1,63 |
| Kadar amilosa | % | 22,68 |
| Konsistensi gel | mm | 38,67 |
| NPA (Nilai penyerapan air) | - | 172,78 |
| NKA (Nilai kelarutan air) | - | 7,45 |

Sumber: Suhardi *et al.* (2006)

Menurut SNI 01-2997-1992, tepung singkong adalah tepung yang dibuat dari bagian umbi singkong yang dimakan dan diolah melalui proses penepungan singkong iris, parut, maupun bubur kering dengan mengindahkan ketentuan-ketentuan kebersihan. Syarat mutu tepung singkong sesuai SNI dapat dilihat pada **Tabel 2.2**

Tabel 2.2 Spesifikasi persyaratan mutu tepung singkong (SNI 01-2997-1992)

| Kriteria Uji | Satuan | Persyaratan |
|-----------------------|--------------------------|-----------------------|
| Keadaan | | |
| - Bau | - | Khas singkong |
| - Rasa | - | Khas singkong |
| - Warna | - | Putih |
| Benda-benda asing | - | Tidak boleh ada |
| Air | % b/b | Maks. 12 |
| Abu | % b/b | Maks. 1,50 |
| Derajat asam | ml. NaOH/100 g | Maks. 3 |
| Asam sianida | mg/kg | Maks. 40 |
| Kehalusan | % (lolos ayakan 80 mesh) | Min. 90 |
| Pati | % b/b | Min. 70 |
| Cemaran logam: | | |
| - Pb | mg/kg | Maks. 1,00 |
| - Cu | mg/kg | Maks. 10,00 |
| - Zn | mg/kg | Maks. 40,00 |
| - Raksa (Hg) | mg/kg | Maks. 0,05 |
| - Arsen | mg/kg | Maks. 0,50 |
| Cemaran Mikroba | | |
| - Angka lempeng total | Koloni/g | Maks. 1×10^6 |
| - <i>E. coli</i> | Koloni/g | Maks. 3×10^1 |
| - <i>Salmonella</i> | Koloni/g | Maks. 1×10^4 |

Sumber: BSN (1992)

Tepung yang berasal dari umbi-umbian khususnya singkong umumnya memiliki kandungan pati yang tinggi akan tetapi memiliki kandungan protein yang rendah (Muharam, 1992). Dalam pembuatan tepung singkong perlu diperhatikan adanya komponen toksik yaitu HCN. Menurut Soekarto (1990), kandungan HCN dalam umbi singkong tergantung pada varietas, lokasi dan kondisi pertanian.

Menurut Winarno (1992) di dalam umbi singkong, HCN tidak terdapat bebas melainkan terikat dalam bentuk senyawa yang disebut linamarin atau glukosida aseton sianohidrin. Senyawa HCN akan bersifat toksik apabila telah terurai. Tepung singkong dapat digunakan sebagai bahan baku utama atau sebagai bahan campuran untuk pembuatan berbagai jenis makanan antara lain roti, mie, kue, biskuit, dan lain-lain (Departemen Perindustrian, 1989).

2.2 Modified Cassava Flour

MOCAF (*Modified Cassava Flour*) adalah tepung yang diperoleh dari singkong dengan fermentasi menggunakan starter bakteri asam laktat. Menurut Subagio (2006), mocaf adalah tepung dari singkong yang diproses dengan memodifikasi sel singkong secara fermentasi. Syarat mutu tepung mocaf menurut SNI 7622-2011 dapat dilihat pada **Tabel 2.3**

Tabel 2.3 Syarat mutu tepung mocaf (SNI 7622-2011)

| No | Kriteria Uji | Satuan | Persyaratan |
|------|---|---------------------|---------------------------|
| 1 | Keadaan | | |
| 1.1 | Bentuk | - | Serbuk halus |
| 1.2 | Bau | - | Normal |
| 1.3 | Warna | - | Putih |
| 2 | Benda-benda asing | - | Tidak ada |
| 3 | Serangga dalam semua bentuk stadia dan potongan-potongannya yang tampak | - | Tidak ada |
| 4 | Kehalusan | | |
| 4.1 | Lolos ayakan 100 mesh | % b/b | Min. 90 |
| 4.2 | Lolos ayakan 80 mesh | % b/b | 100 |
| 5 | Kadar air | % b/b | Maks. 13 |
| 6 | Abu | % b/b | Maks. 1,5 |
| 7 | Serat kasar | % b/b | Maks. 2,0 |
| 8 | Derajat putih (MgO = 100) | - | Min. 87 |
| 9 | Belerang dioksida (SO ₂) | % b/b | Negative |
| 10 | Derajat asam | ml NaOH 1 N/100g | Maks. 4,0 |
| 11 | HCN | mg/kg | Maks. 10 |
| 12 | Cemaran logam | | |
| 12.1 | Cadmium (Cd) | mg/g | Maks. 0,2 |
| 12.2 | Timbal (Pb) | mg/g | Maks. 0,3 |
| 12.3 | Timah (Sn) | mg/g | Maks. 40,0 |
| 12.4 | Merkuri (Hg) | mg/g | Maks. 0,05 |
| 13 | Cemaran arsen (As) | mg/g | Maks. 0,5 |
| 14 | Cemaran mikroba | | |
| 14.1 | Angka Lempeng Total (35°C, 48 jam) | Koloni/g | Maks. 1 x 10 ⁶ |
| 14.2 | <i>Escherichia coli</i> | APM/g | Maks. 10 |
| 14.3 | <i>Bacillus cereus</i> | Koloni/g | < 1 x 10 ⁴ |
| 14.4 | Kapang | Koloni/g | Maks. 1 x 10 ⁴ |

Sumber: BSN, 2011

Tahapan fermentasi dalam pembuatan tepung mocaf yaitu BAL (Bakteri Asam Laktat) akan menghasilkan enzim pektinolitik dan selulolitik untuk menghancurkan dinding sel singkong sedemikian rupa sehingga terjadi liberasi granula pati. Liberasi ini akan menyebabkan perubahan karakteristik dari tepung yang dihasilkan berupa naiknya viskositas, kemampuan gelasi, daya rehidrasi, dan kemudahan melarut. Granula pati akan mengalami terhidrolisis menghasilkan monosakarida sebagai bahan baku untuk menghasilkan asam-asam organik. Senyawa asam ini akan bercampur dengan tepung sehingga ketika tepung tersebut diolah akan menghasilkan aroma dan citarasa khas yang dapat menutupi aroma dan citarasa singkong yang cenderung kurang disukai konsumen (Subagio, 2006).

Berdasarkan komposisi kimianya, mocaf dan tepung singkong tidak jauh berbeda, namun mocaf mempunyai karakteristik fisik dan organoleptik yang lebih spesifik jika dibandingkan tepung singkong pada umumnya. Kandungan nitrogen mocaf lebih rendah dibandingkan tepung singkong biasa, dimana senyawa ini dapat menyebabkan warna coklat ketika pengeringan atau pemanasan (Zulaidah, 2011). Rendahnya kandungan N mengakibatkan warna mocaf yang dihasilkan lebih putih dibandingkan dengan warna tepung singkong biasa (Subagio, 2006). Perbedaan dan persamaan komposisi kimia serta karakteristik fisik maupun organoleptik dapat dilihat pada **Tabel 2.4** dan **Tabel 2.5**

Tabel 2.4 Perbedaan komposisi kimia mocaf dengan tepung singkong

| Komposisi | Tepung Mocaf | Tepung Singkong |
|------------------|---------------------|------------------------|
| Air (%) | Maks. 13 | Maks. 13 |
| Protein (%) | Maks. 1,0 | Maks. 1,2 |
| Abu (%) | Maks. 0,2 | Maks. 0,2 |
| Pati (%) | 85 – 87 | 82 – 85 |
| Serat (%) | 1,9 – 3,4 | 1,0 – 4,2 |
| Lemak (%) | 0,4 – 0,8 | 0,4 – 0,8 |
| HCN (mg/kg) | Tidak terdeteksi | Tidak terdeteksi |

Sumber: Subagio (2006)

Tabel 2.5 Perbedaan sifat fisik dan organoleptik mocaf dan tepung singkong

| Parameter | Tepung Mocaf | Tepung Singkong |
|-----------------------|---|---|
| Besar butiran (mesh) | Maks. 80 | Maks. 80 |
| Berajat keputihan (%) | 88 – 91 | 85 – 87 |
| Kekentalan (mPa.s) | 52 – 55 (2% pasta panas) 75 – 77 (2% pasta dingin) | 20 – 40 (2% pasta panas) 30 – 50 (2% pasta dingin) |
| Warna | Putih | Putih agak kecoklatan |
| Aroma | Netral | Kesan singkong |
| Rasa | Netral | Kesan singkong |

Sumber: Subagio (2006)

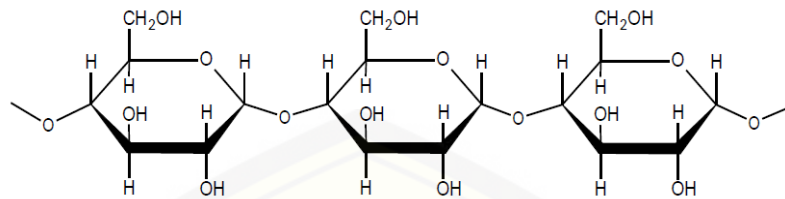
Mocaf dapat digunakan sebagai bahan baku, baik substitusi maupun seluruhnya, dari berbagai jenis produk bakery seperti kue kering (*cookies*, nastar, kastengel, dll) kue basah (*cake*, kue lapis, *brownies*, *spongy*), dan roti tawar (Zulaidah, 2011). Tepung mocaf dapat digunakan dalam pembuatan bihun dan campuran produk lain berbahan baku gandum atau tepung beras. Hasil produk berbahan mocaf ini tidak jauh berbeda dengan produk yang menggunakan bahan tepung terigu maupun tepung beras. Disamping itu, telah juga dilakukan uji coba substitusi tepung terigu dengan mocaf dalam skala pabrik yang menunjukkan bahwa untuk menghasilkan mie mutu baik dapat digunakan tepung mocaf hingga 15% untuk mensubstitusi tepung terigu, sedangkan untuk menghasilkan mie kualitas rendah, tepung terigu dapat disubstitusi dengan tepung mocaf hingga kadar 25% (Subagio, 2005).

2.3 Pati

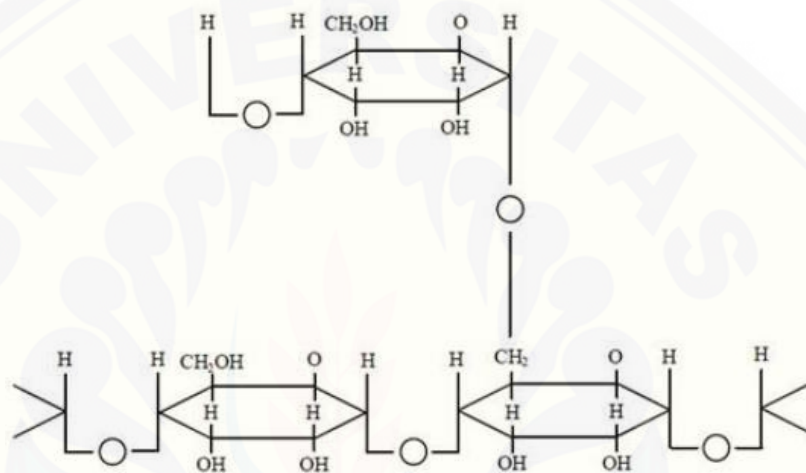
Pati adalah polisakarida yang dibentuk dari sejumlah molekul glukosa dengan ikatan α -glikosidik. Pati merupakan salah satu bentuk utama dari karbohidrat dalam makanan dan dapat disebut sebagai karbohidrat kompleks. Pati terdiri dari dua fraksi yang dapat dipisahkan dengan air panas. Fraksi terlarut disebut amilosa dan fraksi yang tidak terlarut disebut amilopektin.

Amilosa merupakan polisakarida, polimer yang tersusun dari glukosa sebagai monomernya. Tiap-tiap monomer terhubung dengan ikatan 1,4-glikosidik, amilosa memberi efek keras bagi pati atau tepung (Whistler *et al.*, 1984). Profil amilosa dapat dilihat pada **Gambar 2.1**. Secara struktural, amilopektin terbentuk dari rantai glukosa yang terikat dengan ikatan 1,4-glikosidik, sama dengan

amilosa. Namun demikian, pada amilopektin terbentuk cabang-cabang dengan ikatan 1,6-glikosidik. Profil amilopektin dapat dilihat pada **Gambar 2.2**.



Gambar 2.1 Rumus struktur amilosa (Chaplin, 2002)



Gambar 2.2 Rumus struktur amilopektin (Chaplin, 2002)

Amilosa merupakan bagian dari rantai lurus yang dapat memutar dan membentuk daerah sulur ganda. Rantai lurus amilosa yang membentuk sulur ganda kristal tersebut tahan terhadap amilase. Ikatan hidrogen inter- dan intra-sulur mengakibatkan terbentuknya struktur hidrofobik dengan kelarutan yang rendah. Oleh karena itu, sulur tunggal amilosa mirip dengan siklodekstrin yang bersifat hidrofobik pada permukaan dalamnya (Chaplin, 2002). Pada struktur granula pati, amilosa dan amilopektin tersusun dalam suatu cincin. Jumlah cincin dalam suatu granula pati kurang lebih 16 buah, yang terdiri atas cincin lapisan amorf dan cincin lapisan semikristal (Hustiany, 2006).

Amilopektin bersifat merangsang terjadinya proses mekar (*puffing*) dimana produk makanan yang berasal dari pati yang kandungan amilopektinnya tinggi akan bersifat ringan, porus, garing dan renyah. Amilopektin berantai pendek dapat membentuk *double helix* dan menyusun daerah kristalin dalam

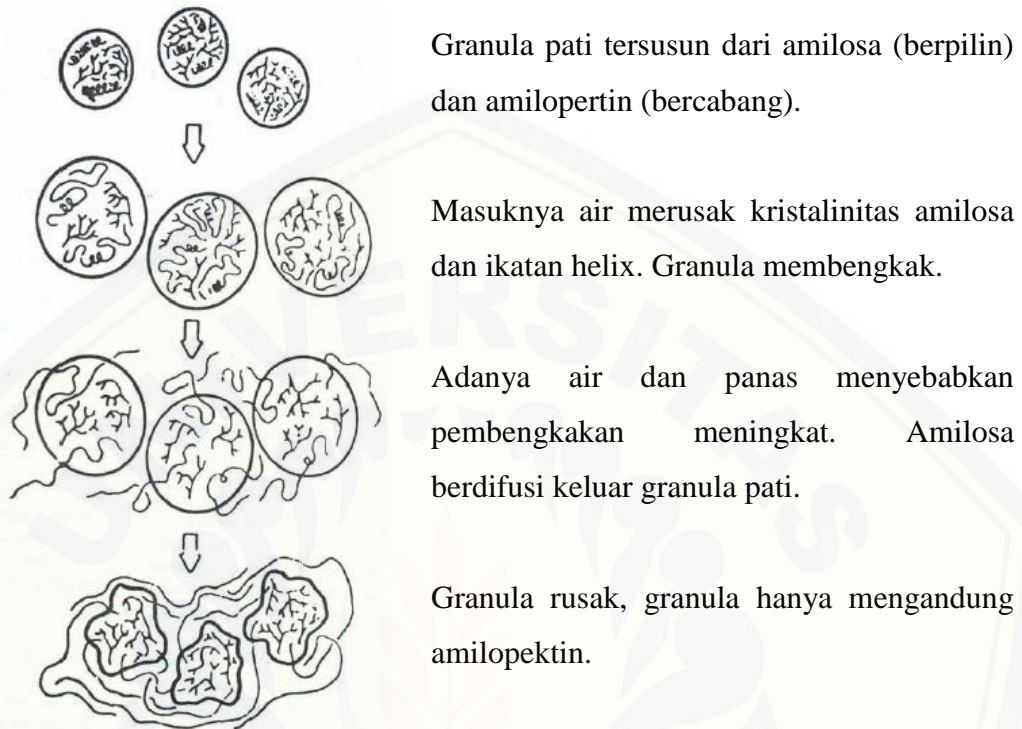
granula pati sedangkan titik-titik percabangan amilopektin menyusun daerah amorf. Amilosa berada baik pada daerah kristalin maupun amorf, tetapi sebagian besar berada pada daerah amorf (Tester *et al.*, 2004). Ketika dipanaskan dalam air, amilopektin akan membentuk lapisan yang transparan, yaitu larutan dengan viskositas tinggi dan berbentuk lapisan-lapisan seperti untaian tali. Amilopektin cenderung tidak terjadi retrogradasi dan tidak membentuk gel, kecuali pada konsentrasi tinggi (Belitz *et al.*, 1999). Kecenderungan terjadinya retrogradasi menyebabkan kristalisasi yang disertai dengan kecilnya molekul amilosa dan panjangnya rantai amilopektin (Peroni *et al.*, 2006). Amilopektin merupakan komponen yang berperan penting dalam proses gelatinisasi. Tingginya kadar amilosa dapat menurunkan kemampuan pati untuk mengalami gelatinisasi (Tester *et al.*, 2004).

2.4 Gelatinisasi Pati

Gelatinisasi pati merupakan peristiwa pembentukan gel yang dimulai dengan proses penyerapan molekul-molekul air oleh molekul pati. Jika suspensi granula pati dalam air dipanaskan hingga mencapai suhu 60-70°C sedikit demi sedikit granula pati akan menggelembung (Harsono *et al.*, 2006). Pati mentah yang dilarutkan dalam air dingin tidak mampu menyerap air secara maksimal. Menurut Winarno (2008), proses gelatinisasi pati adalah proses mengembangnya pati karena penyerapan pelarut secara maksimal sehingga pati tidak mampu kembali pada kondisi semula.

Air akan masuk ke dalam daerah *amorphous* dalam granula pati dan menyebabkan terjadinya pembengkakan granula. Pembengkakan ini menimbulkan tekanan pada daerah kristalin yang terdiri dari molekul amilopektin dan merusak susunan *double helix* yang ada. Kerusakan *double helix* amilopektin dapat mengganggu susunan kristalin bahkan dapat menghilangkan kristalinitasnya. Selama pemanasan granula pati akan terus menyerap air sampai granula pecah dan molekul amilosa akan keluar sehingga mengakibatkan ketidakteraturan struktur granula, dan hilangnya sifat *birefringent* pati. Perubahan ini dikenal dengan

sebutan gelatinisasi pati dan sifatnya tidak dapat balik (Roder *et al.*, 2005). Mekanisme gelatinisasi pati dapat dilihat pada **Gambar 2.3**.



Gambar 2.3 Mekanisme gelatinisasi pati (Harper, 1981)

Menurut Fennema (1996), suhu gelatinisasi pati adalah titik suhu saat sifat *birefringent* pati mulai menghilang dan menurut Roder *et al.* (2005), suhu gelatinisasi pati adalah suhu saat mulai terjadi perubahan tidak dapat balik. Suhu gelatinisasi tidak selalu tepat pada satu titik tetapi berupa kisaran suhu karena granula pati memiliki ukuran yang bervariasi. Menurut Kusnandar (2010) faktor-faktor yang mempengaruhi gelatinisasi adalah sebagai berikut ;

1. Sumber pati, setiap jenis pati memiliki profil gelatinisasi yaitu suhu awal gelatinisasi, suhu saat viskositas maksimal tercapai, nilai viskositas maksimum, viskositas sel baik, viskositas akhir dan kestabilan pengadukan yang berbeda.
2. Ukuran granula pati, ukuran granula pati dapat mempengaruhi profil gelatinisasi. Semakin besar ukuran granula maka suhu awal gelatinisasi semakin rendah dan memiliki viskositas semakin tinggi.

3. Asam, semakin tinggi tingkat keasaman atau pH rendah, maka hidrolisis pati akan semakin besar.
4. Gula, penambahan gula menyebabkan proses gelatinisasi menjadi lambat karena gula bersifat higroskopis maka gula akan mengikat sebagian air dalam suspensi pati.
5. Suhu pemanasan, semakin tinggi suhu maka pati akan cepat mengalami *viscosity breakdown*.
6. Pengadukan, proses pengadukan yang berlebihan dapat menyebabkan pemecahan granula pati berlangsung cepat.

2.5 *Lactobacillus casei*

Lactobacillus casei adalah bakteri gram positif yang termasuk dalam klasifikasi umum bakteri asam laktat (BAL). Bakteri asam laktat merupakan bakteri gram positif, tidak membentuk spora, katalase negatif dan tidak mempunyai sitokrom (Holzapfel *et al.*, 2001). Bakteri asam laktat lebih baik hidup pada kondisi anaerob tetapi dapat juga pada kondisi aerob, toleran terhadap asam dan mampu memfermentasi karbohidrat (Heimbach, 2012).

L. casei strain Shirota berbentuk batang 0,4-0,6 x 2-3 μ m membentuk koloni tunggal, berpasangan maupun rantai pendek yang terdiri dari 3 – 4 sel. Mikroba ini mampu tumbuh pada suhu antara 27°C dan 43°C dengan suhu optimal 37°C. Setelah inkubasi anaerob pada suhu 37°C selama 48 jam pada media MRSA akan terbentuk koloni berdiameter 2-3 mm, berwarna krem, halus dan berbentuk lingkaran dengan tepi yang halus. Sedangkan pada media MRSB, pertumbuhan terjadi pada suhu 15°C tetapi tidak pada suhu 45°C. Mikroba ini dapat tumbuh pada pH terendah 3,5 dan pH optimal 6,5 (Heimbach, 2012). *L. casei* merupakan bakteri bersifat heterofermentatif (Prastyaharasti *et al.*, 2014), dimana monosakarida akan dimetabolisme oleh bakteri asam laktat menjadi *glucose-6-phosphate* atau *fructose-6-phosphate* dan kemudian terjadi metabolisme melalui jalur *Embden Meyerhoff Parnas* (EMP) yang pada akhirnya menghasilkan asam laktat (Nagao *et al.*, 2000). Bakteri heterofermentatif merupakan bakteri yang mampu menghasilkan asam laktat yang seimbang dengan asam asetat, etanol,

CO₂, dan sebagainya. Bakteri homofermentatif memecah gula terutama menjadi asam laktat. Berbagai media fermentasi telah dikembangkan untuk menghasilkan formulasi media fermentasi yang tepat untuk suatu fermentasi skala kecil lebih murah dilakukan dengan penggunaan senyawa-senyawa murni. Asam laktat disintesis ketika mikroba dalam fase logaritmik. Sebab pada fase logaritmik sel-sel bakteri akan tumbuh dan membelah diri secara eksponensial sampai jumlah maksimum sehingga menghasilkan asam laktat yang tinggi (Komaria, 2013).

Bakteri asam laktat yang memiliki kemampuan memanfaatkan pati sebagai substrat dikenal sebagai bakteri asam laktat amilolitik (Putri *et al.*, 2012). Aktivitas bakteri asam laktat pada fermentasi bahan berpati berperan terhadap perubahan karakteristik produk, untuk memproduksi asam laktat, enzim spesifik, dan senyawa aromatik. Bakteri asam laktat dapat menghasilkan amilase ekstraseluler dan memfermentasi pati secara langsung menjadi asam laktat. Hal ini disebabkan fermentasi dengan BAL amilolitik akan menggabungkan dua proses yaitu hidrolisis enzimatis substrat karbohidrat (pati) sekaligus memanfaatkan gula yang dihasilkan menjadi asam laktat. Kajian penelitian Komariah (2013) pada fermentasi limbah mocaf menggunakan *Lactobacillus casei* menghasilkan asam laktat dengan perolehan yang tinggi, menghasilkan sejumlah kecil biomassa dan produk samping lain seperti asam asetat, asam format, butirir, etanol.

Degradasi pati oleh BAL terjadi karena sumber karbon dibutuhkan bagi pertumbuhannya sehingga bakteri menghasilkan enzim amilase ekstraseluler. Enzim ini memecah ikatan polimer pati menjadi lebih pendek, oligosakarida atau molekul gula sederhana, sehingga uji iodine yang dilakukan menyebabkan terjadinya perubahan warna yang berbeda. Identifikasi diperkuat dengan hasil penggunaan iodine untuk mewarnai amilosa menunjukkan warna biru gelap, yang terjadi karena pembentukan kompleks. Kompleks tersebut terjadi akibat amilosa membentuk kumparan heliks di sekeliling molekul iodine. Apabila polimer amilosa terputus menjadi lebih pendek maka terjadi perubahan ikatan kompleks dengan iodine sehingga warna menjadi lebih muda, merah, atau coklat. Asam laktat juga dapat menyebabkan degradasi pati selama fermentasi dengan mengoksidasi

bagian amorf dan selanjutnya secara simultan menghidrolisis amilosa dan amilopektin.

2.6 Metode Fermentasi

Menurut Raharjo *et al.* (2012) fermentasi dapat mendegradasi komponen dinding sel suatu jaringan. Fermentasi secara umum dibagi menjadi 2 model utama yaitu fermentasi media padat (*solid state fermentation*) dan fermentasi media cair (*submerged fermentation*) (Khasanah *et al.*, 2014). Kondisi fermentasi dapat berupa kondisi aerob (suplai oksigen yang cukup), kondisi mikroaerofilik (suplai oksigen terbatas) maupun kondisi anaerob (tanpa kehadiran oksigen).

Fermentasi *submerged* adalah fermentasi yang mikroorganisme dan substrat berada menjadi satu dalam media cair dengan jumlah yang besar. Mikroorganisme ditumbuhkan pada media cair dan sel yang tumbuh berada dalam kondisi tercelup dalam media cairan. Sedangkan fermentasi *solid state* adalah fermentasi yang pertumbuhan mikroorganisme dan pembentukan produk terjadi pada permukaan substrat padatan. Mikroorganisme tumbuh pada permukaan padatan yang lembab, tetapi juga dapat berhubungan dengan udara secara langsung. Perbedaan fermentasi kultur terendam (*submerged*) dan padat (*solid state*) dapat dilihat pada

Tabel 2.6

Fermentasi padat (*solid state*) menggunakan substrat padat, seperti dedak, ampas tebu, dan bubur kertas. Keuntungan utama menggunakan substrat ini adalah bahan limbah yang kaya nutrisi dapat dengan mudah didaur ulang sebagai substrat. Dalam teknik fermentasi ini, substrat digunakan dengan sangat perlahan dan tetap, sehingga substrat yang sama dapat digunakan untuk waktu fermentasi yang lama. Oleh karena itu, teknik ini mendukung pembebasan terkendali nutrisi. Fermentasi padat (*solid state*) paling cocok untuk teknik fermentasi yang melibatkan jamur dan mikroorganisme yang membutuhkan kadar air lebih sedikit. Namun, tidak dapat digunakan dalam fermentasi yang melibatkan organisme yang membutuhkan aw (aktivitas air) tinggi, seperti bakteri. (Babu *et al.*, 1996).

Fermentasi kultur terendam (*submerged*) menggunakan substrat cair mengalir bebas, seperti molase dan *broth*. Senyawa-senyawa bioaktif disekresi ke

dalam broth fermentasi. Substrat yang digunakan cukup cepat, maka perlu terus-menerus diganti/ dilengkapi dengan nutrisi. Teknik fermentasi ini sangat cocok bagi mikroorganisme seperti bakteri yang membutuhkan kadar air yang tinggi. Keuntungan tambahan dari teknik ini adalah pemurnian produk lebih mudah. Fermentasi kultur terendam (*submerged*) digunakan dalam ekstraksi metabolit sekunder yang harus digunakan dalam bentuk cair (Subramaniam *et al.*, 2012).

Tabel 2.6 Perbedaan fermentasi kultur terendam dan padat

| Karakteristik | Fermentasi <i>Submerged</i> | Fermentasi <i>Solid State</i> |
|--|---|-------------------------------|
| 1. Kondisi mikroorganisme dan substrat | Teraduk | Statis |
| 2. Status substrat | Murni | Mentah |
| 3. Keadaan alami dari mikroorganisme | - | Sistem fungsi |
| 4. Keberadaan air | Tinggi | Terbatas |
| 5. Suplai oksigen | Dengan menyemburkan atau menggelembungkan | Difusi |
| 6. Kontak dengan oksigen | Oksigen terlarut | Langsung |
| 7. Kebutuhan media fermentasi | Besar | Kecil |
| 8. Kebutuhan energy | Tinggi | Rendah |
| 9. Studi kinetika | Mudah | Kompleks |
| 10. Perubahan suhu dan konsentrasi | <i>Smooth</i> | Fungsi step |
| 11. Pengendalian reaksi | Mudah | Sulit |
| 12. Potensi kontaminasi | Tinggi | Kecil |
| 13. Jumlah cairan yang harus dibuang | Tinggi | Rendah |
| 14. Problem polusi | Tinggi | Rendah |

Sumber: Riadi, (2013)

2.7 Penelitian Terdahulu tentang Modifikasi Tepung Singkong

Menurut Darmawan *et al.* (2013), *swelling power* meningkat seiring bertambahnya konsentrasi penambahan starter *L. casei*. Hal tersebut dikarenakan kandungan amilosa yang tinggi akan meningkatkan kemampuan *swelling*. Selain penambahan konsentrasi, keberhasilan fermentasi tepung singkong juga dipengaruhi oleh ketebalan chip. Berdasarkan hasil yang didapat, ketebalan chip yang baik untuk pembuatan MOCAF adalah 2 mm.

Menurut Mulyadi (2013), nilai *swelling power* tepung ubikayu termodifikasi semakin bertambah dengan semakin besarnya konsentrasi starter bakteri asam laktat hingga konsentrasi 10 %, dan menurun pada konsentrasi 15-25%. Hal ini dimungkinkan karena dengan semakin besarnya konsentrasi starter maka bakteri asam laktat akan semakin banyak. Sedangkan untuk penurunan pada konsentrasi 15-25%, dimungkinkan karena penambahan konsentrasi starter sudah tidak efektif lagi. Menurut Subagio (2006), bakteri asam laktat yang tumbuh menghasilkan enzim pektinolitik dan selulolitik yang dapat menghancurkan dinding sel ubikayu, sedemikian rupa sehingga terjadi liberasi granula pati. Bakteri asam laktat tersebut juga menghasilkan enzim-enzim yang menghidrolisis pati menjadi gula dan selanjutnya mengubahnya menjadi asam-asam organik, terutama asam laktat. Hal ini akan menyebabkan perubahan karakteristik dari tepung yang dihasilkan berupa naiknya viskositas, kemampuan gelasi, daya rehidrasi, dan kemudahan melarut.

Menurut Frediansyah (2012), bakteri asam laktat tumbuh dan memproduksi beberapa enzim yang dapat merusak dinding sel singkong dan menghidrolisis gula menjadi asam organik. Bakteri asam laktat *L. plantarum* dapat mengurangi kadar HCN hingga 80% setelah difermentasi selama 72 jam. Selama proses hidrolisis yang dilakukan oleh β -glukosidase pada glukosida sianogenik menghasilkan sebagian gula dan hidrosinitril yang akan kembali terpisahkan atau secara enzimatis menjadi sianida dan campuran karbonil (ketosa dan aldosa). Sianohidrin dalam suasana alkalis mudah terurai menjadi sianida bebas yang mudah bercampur dengan air, sehingga menyebabkan kadar HCN pada bahan mengalami penurunan. Karakteristik tepung singkong terfermentasi akan berubah seperti naiknya viskositas, kemampuan gelasi, daya rehidrasi dan kemudahan terlarut.

Menurut penelitian yang dilakukan Rahmawati *et al* (2015), penambahan starter *L. casei* dapat menurunkan kadar pati selama fermentasi. *Lactobacillus* memiliki daya cerna yang besar terhadap karbohidrat kompleks daripada laktosa. Hal ini disebabkan karbohidrat dalam bentuk pati tersebut digunakan bakteri untuk sumber nutrisi selama fermentasi. Menurut Ryan *et al.* (2006), penurunan kadar pati tersebut disebabkan adanya strain BAL yang telah diteliti memiliki aktivitas amilolitik.

2.8 Hipotesis Penelitian

Hipotesis penelitian ini yaitu tepung singkong hasil fermentasi menggunakan *L. casei* memiliki sifat fisikokimia dan fungsional yang berbeda atau lebih baik dibanding tepung singkong tanpa fermentasi.



BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi Pangan dan Hasil Pertanian, Laboratorium Rekayasa Pangan dan Hasil Pertanian, Laboratorium Kimia dan Biokimia Hasil Pertanian dan Laboratorium *Center for Development of Advance Science and Technology* (C-DAST) Universitas Jember. Waktu penelitian dilaksanakan pada bulan Agustus sampai November 2016.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat utama yang digunakan pada penelitian meliputi *Differential Scanning Calorimetry* (DSC *Thermo Plus Evo* Rigaku DSC2830, Jepang), *Rapid Visco Analyze* (RVA Tec Master, Perten, Swedia), *Colorreader* (Minolta Chroma Meters CR-300), spektrofotometer (merk Mapada V-1100 D *Spectrophotometer*), pH meter (Hanna). Alat pendukung yang digunakan meliputi desikator, botol timbang, sentrifuge, gelas ukur, tabung sentrifus, tabung reaksi, bak penampung, pisau, loyang, oven, timbangan analitik, pipet, pipet volume, bulp pipet, cawan, sendok. Alat lainnya yang digunakan meliputi alat-alat tulis, tissue, kain lap, kantong plastik, dan kantong kain.

Bahan utama yang digunakan pada penelitian meliputi singkong varietas putih, produk komersial susu fermentasi yang kaya *L. casei*, aquadest dan air kran. Bahan pendukung yang digunakan pada penelitian meliputi etanol 95%, NaOH 1 N, larutan iod, minyak nabati.

3.3 Pelaksanaan Penelitian

3.3.1 Rancangan Percobaan

Rancangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan satu faktor. Kombinasi perlakuan dapat dilihat pada **Tabel 3.1**. Kombinasi perlakuan diulang sebanyak dua kali serta digunakan tepung galek sebagai perlakuan kontrol.

Perlakuan spontan (S) menunjukkan tidak ada penambahan starter, sedangkan perlakuan terkendali menunjukkan adanya penambahan starter yang

diambil dari produk komersial susu fermentasi kaya *L. casei*. Perlakuan cair (C) menunjukkan adanya penambahan air, sedangkan perlakuan padat (P) tidak ditambahkan air. Sampel kontrol (K) menggunakan tepung singkong tanpa fermentasi. Fermentasi dilakukan dengan rentang waktu 24, 48 dan 72 jam.

Tabel 3.1 Kombinasi perlakuan

| Metode fermentasi | Starter | Waktu fermentasi (jam) | | |
|-----------------------|---------------------|------------------------|------|------|
| | | 24 | 48 | 72 |
| Kultur semi-padat (C) | Air (S) | CS24 | CS48 | CS72 |
| | <i>L. casei</i> (K) | CK24 | CK48 | CK72 |
| Kultur padat (P) | Air (S) | PS24 | PS48 | PS72 |
| | <i>L. casei</i> (K) | PK24 | PK48 | PK72 |

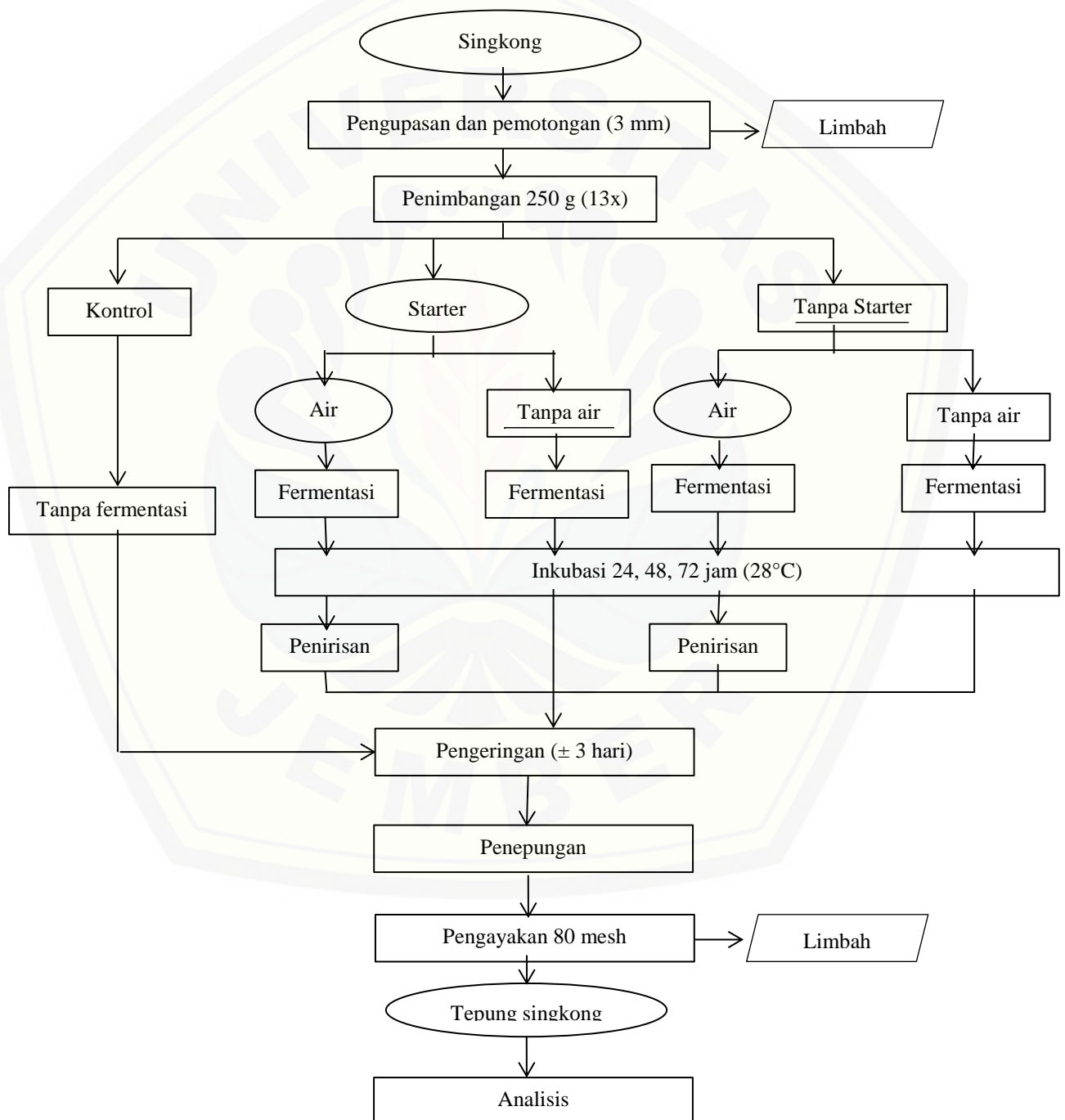
3.3.2 Tahapan Penelitian

Tahap pertama dilakukan pra-proses pada singkong yaitu pengupasan dan pengecilan ukuran. Pengupasan dilakukan hingga lapisan kulit hilang, kemudian dilakukan pemotongan. Pengecilan ukuran dilakukan dengan menggunakan alat pasrahan. Ketebalan ukuran potongan diseragamkan yaitu 3 mm.

Tahap kedua dilakukan persiapan starter kultur terendam yaitu pengenceran produk komersial susu fermentasi kaya *L. casei*. Starter sebanyak 65 ml diencerkan dalam air sebanyak 1500 ml, sehingga diasumsikan terdapat bakteri sekitar $4,3 \times 10^6$ cfu/ml. Sebanyak 250 ml dengan jumlah sekitar $1,72 \times 10^4$ cfu/ml di ambil untuk fermentasi *chips* singkong. Persiapan starter kultur padat, produk komersial susu fermentasi kaya *L. casei* 65 ml diambil sebanyak 15 ml untuk fermentasi *chips* singkong.

Tahap ketiga yaitu tahapan fermentasi. Fermentasi dilakukan dalam kantong plastik yang ditutup dan ditempatkan pada ruangan bersuhu 28°C. Fermentasi padat dilakukan tanpa penambahan air, sebanyak 250 g *chips* singkong ditambahkan susu fermentasi komersial kaya *L. casei* sebanyak 15 ml. Fermentasi kultur semi-padat dilakukan dengan penambahan air dengan rasio 1:1, sebanyak 250 g *chips* singkong ditambahkan starter yang telah diencerkan sebanyak 250 ml ($1,72 \times 10^4$ cfu/ml). Fermentasi dilakukan dengan rentan waktu 24, 48, dan 72 jam. Setelah mencapai waktu fermentasi bahan diambil dan dikeringkan dengan menggunakan sinar matahari.

Tahap keempat yaitu penepungan dan pengayakan. Bahan kering diblender hingga halus kemudian diayak menggunakan ayakan 80 mesh. Bahan yang lolos kemudian dianalisis. Tahap kelima yaitu uji sifat fisikokimia dan fungsional tepung hasil fermentasi yang meliputi analisis fisik, kimia, dan teknis fungsional. Diagram alir pengolahan tepung singkong terfermentasi *L. casei* secara kultur terendam dan padat dapat dilihat pada **Gambar 3.1**



Gambar 3.1 Diagram alir dan tahap penelitian tepung singkong terfermentasi

3.4 Variabel Pengamatan

Parameter uji fisik dalam penelitian ini yaitu derajat putih (*Manual Book Colour Reader*, 2001), kadar air (AOAC, 2005), daya kembang (Darmawan *et al.*, 2013), dan pengukuran sifat termal tepung dengan menggunakan alat *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) (Chinsamran, 2005). Parameter uji kimia dalam penelitian ini meliputi pengukuran derajat keasaman (pH) air perendam, kadar amilosa (Apriyantono, 1998), dan profil amilografi pati dengan menggunakan alat *Rapid Visco Analyze* (USWA, 2007). Parameter uji teknis fungsional meliputi WHC dan OHC (Subagio *et al.*, 2003).

3.5 Prosedur Analisis Sifat Fisik Tepung Singkong

3.5.1 Derajat putih (*whiteness*)

Analisis ini dilakukan berdasarkan metode *Manual Book Colour Reader* (2001) dengan menggunakan alat *colorreader*. Sebelum pemakaian, *colorreader* dikalibrasi dengan standar. Sejumlah bahan diletakkan dalam cawan, kemudian menarget sampel dilima titik untuk mengetahui nilai L, a dan b standar. Derajat putih diperoleh berdasarkan rumus:

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

Keterangan:

L = kecerahan warna, berkisar antara 0 – 100 menunjukkan warna hitam – putih

a = nilai berkisar antara -80 – 100 menunjukkan warna hijau – merah

b = nilai berkisar -50 – 70 menunjukkan warna biru – kuning

w = derajat keputihan (*whiteness*)

3.5.2 Daya kembang (*swelling power*)

Analisis ini dilakukan sesuai dengan metode yang digunakan Darmawan *et al.* (2013). Sampel sebanyak 0,1 gram dimasukkan dalam 10 ml aquades. Larutan MOCAF dipanaskan pada suhu 60°C selama 30 menit, kemudian pasta yang dihasilkan disentrifus 2500 rpm selama 15 menit. Swelling power dapat dihitung dengan rumus:

$$\text{Daya kembang} = \frac{\text{berat pasta}}{\text{berat kering sampel}} \times 100\%$$

3.5.3 Sifat Termal Tepung

Pengukuran sifat termal tepung singkong menggunakan alat *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) (Chinsamran, 2005). Alat dikalibrasi menggunakan indium (titik leleh 156,78°C), dan 2 mg sampel dimasukkan ke dalam pan aluminium dan dilakukan penutupan secara hermetis. Pengukuran dilakukan pada kisaran suhu 30-140°C dengan *heating rate*: 10°C/menit untuk mendapatkan grafik, kemudian dianalisis suhu kristalin, transisi gelas, dan entalpinya.

3.5.4 Kadar air

Analisis ini menggunakan metode yang sesuai dengan AOAC (2005). Proedur analisis kadar air diawali dengan mengeringkan botol timbang selama 15 menit pada suhu 100-105°C, kemudian didinginkan dalam desikator selama 15 menit untuk menghilangkan uap air dan ditimbang (a). Sampel ditimbang sebanyak 1 gram dalam botol timbang yang telah dikeringkan dan ditimbang (b) kemudian dioven selama 24 jam pada suhu 100-105°C. Setelah itu didinginkan dalam desikator selama 15 menit dan ditimbang (c). Kadar air dihitung dengan rumus:

$$\% \text{ kadar air} = \frac{b-c}{b-a} \times 100\%$$

Keterangan:

a = bobot botol timbang kosong (g)

b = bobot botol timbang dan sampel (g)

c = bobot botol timbang dan sampel setelah dioven (g)

3.6 Prosebur Analisis Sifat Kimia Tepung Singkong

3.6.1 Pengukuran Derajat Keasaman (pH) Air Perendam

Pengukuran pH dilakukan dengan menggunakan pH meter. Sampel pH cairan fermentasi diambil setelah perlakuan perendaman *chip* singkong selama 24, 48 dan 72 jam. Sampel yang berbentuk cairan diambil sekitar 50 ml lalu diaduk hingga homogen kemudian diukur pHnya. pH meter yang telah dinyalakan dan distabilkan, sebelumnya distandarisasi dengan larutan buffer pada pH 4, pH 7 dan pH 9. Elektroda dibilas dan dikeringkan dengan tisu kemudian dicelupkan dalam

sampel. pH sampel langsung dapat diketahui dengan membaca angka yang ditunjukkan oleh alat tersebut.

3.6.2 Profil Amilografi

Profil gelatinisasi tepung singkong termodifikasi dianalisis menggunakan *Rapid Visco Analyzer (RVA)* (USWA, 2007). Sebanyak 3 g sampel (berat kering) ditimbang dalam wadah RVA, lalu ditambahkan 25 ml aquadest. Pengukuran dengan RVA mencakup fase pemanasan dan pendinginan pada wadah sampel dengan kecepatan putar 160 rpm. Pada satu menit pertama dilakukan pemanasan awal sampai suhu mencapai 50°C. Selanjutnya, suhu pemanasan dinaikkan hingga 95°C. Pada menit 8,5 dan dijaga konstan pada 95°C selama 5 menit. Lalu, suhu diturunkan kembali ke 50°C (pada menit ke 13) dan dipertahankan di 50°C selama 2 menit (sampai menit ke 14). Dari sini diperoleh viskositas puncak, suhu pasta (suhu awal naiknya viskositas), suhu viskositas puncak, viskositas panas (viskositas setelah pemanasan 95°C selama 5 menit), viskositas akhir (viskositas setelah pendinginan di suhu 50°C selama 2 menit), viskositas *breakdown* relatif (rasio antara selisih viskositas puncak, dinyatakan dalam persen) dan viskositas balik relatif (rasio antara selisih viskositas akhir dan viskositas panas dengan viskositas panas, dinyatakan dalam persen). Viskositas *breakdown* adalah selisih antara viskositas puncak dengan viskositas panas; sementara viskositas balik adalah selisih antara viskositas akhir dengan viskositas panas.

3.6.3 Kadar Amilosa

1) Pembuatan Kurva Standar

Amilosa murni sebanyak 40 mg dimasukkan ke dalam tabung reaksi. Tambahkan 1 ml etanol 95% dan 9 ml NaOH 1 N kemudian dipanaskan ke dalam air mendidih selama 10 menit sampai semua bahan membentuk gel lalu didinginkan. Setelah itu, larutan gel pati dipindahkan secara kuantitatif ke dalam labu takar 100 ml dan ditepatkan sampai tanda tera dengan aquades. Selanjutnya larutan tersebut dipipet masing-masing sebanyak 1, 3, 5, 7 dan 9 ml lalu dimasukkan ke dalam labu ukur 100 ml. Dalam labu ukur tersebut ditambahkan asam asetat 1 N sebanyak masing-masing 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; dan 1 ml, lalu

ditambahkan 2 ml larutan iod (0,2 g iodin dan 2 g KI dilarutkan dalam 100 ml aquadest). Setelah itu larutan ditepatkan sampai tanda tera dengan aquades, dikocok, dan didiamkan selama 20 menit lalu diukur intensitas warna yang terbentuk dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 625 nm. Kurva standar merupakan hubungan antara kadar amilosa dan absorbansi (Apriyantono,1998).

2) Pengukuran Sampel

Sampel seberat 100 mg ditempatkan dalam tabung reaksi. Kemudian ditambahkan dengan 1 ml etanol 95% dan 9 ml NaOH 1 N. Campuran dipanaskan dalam air mendidih hingga terbentuk pasta dan selanjutnya seluruh pasta dipindahkan ke dalam labu ukur 100 ml. Gel ditambahkan dengan air dan dikocok, kemudian ditera hingga 100 ml dengan air. Sebanyak 5 ml larutan dimasukkan ke dalam labu ukur 100 ml dan ditambahkan dengan 1 ml asam asetat 1 N dan 2 ml larutan iod. Larutan ditepatkan hingga 100 ml, kemudian dikocok dan didiamkan selama 20 menit. Intensitas warna biru diukur dengan alat spektrofotometer pada panjang gelombang 625 nm (Apriyantono,1998). Kadar amilosa ditentukan berdasarkan persamaan kurva yang diperoleh. Kadar amilosa sampel dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Amilosa (\%)} = \frac{A \times FP \times V}{S \times W} \times 100\%$$

Keterangan:

- A : Absorbansi sampel
- S : Slope/kemiringan kurva
- FP : Faktor pengenceran
- V : Volume akhir sampel (ml)
- W : berat sampel (mg)

3.7 Prosedur Analisis Sifat Fungsional Teknis Tepung Singkong

3.7.1 *Water Holding Capacity*

Sampel 0,1 g disuspensikan dalam 7 ml air dalam tabung sentrifus. Suspense dikocok pada suhu ruangan selama 1 menit, dan disentrifus pada 3000 rpm selama 10 menit. Supernatan yang dihasilkan perlahan-lahan dibuang,

endapan yang dihasilkan kemudian ditimbang (Subagio *et al.*, 2003). Rumus perhitungan nilai WHC sebagai berikut:

$$\text{WHC} = \frac{(\text{berat akhir} - \text{berat botol}) - \text{berat sampel}}{\text{berat sampel}} \times 100\%$$

3.7.2 Oil Holding Capacity

Sampel 0,1 gr dicampur dengan 7 ml minyak nabati, kemudian distirer untuk menghomogenkan larutan selama 1 menit. Suspense pati tersebut disentrifugasi pada 3000 rpm selama 10 menit, supernatan yang dihasilkan pelan-pelan dibuang, endapan yang dihasilkan kemudian ditimbang (Subagio *et al.*, 2003). Rumus perhitungan nilai OHC sebagai berikut:

$$\text{OHC} = \frac{(\text{berat akhir} - \text{berat botol}) - \text{berat sampel}}{\text{berat sampel}} \times 100\%$$

3.8 Analisis Data

Data hasil pengamatan menggunakan alat DSC dan RVA dianalisis secara deskriptif. Sedangkan data hasil penelitian lainnya diuji keragamannya menggunakan tabel anova ($\alpha = 5\%$). Hasil beda nyata dilanjutkan menggunakan uji beda terkecil (BNT).

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan dapat disimpulkan bahwa derajat putih tepung singkong hasil fermentasi menggunakan *L. casei* berkisar antara 98-100, lebih tinggi dibandingkan tepung singkong tanpa fermentasi 97. Kadar amilosa tepung singkong hasil fermentasi kultur terendam menggunakan BAL memiliki nilai lebih tinggi (13,7%) dibandingkan tepung hasil fermentasi spontan kultur terendam (11,03%). Tepung singkong hasil fermentasi kultur terendam memiliki nilai WHC (326,7%) dan OHC (710,3%) lebih tinggi dibandingkan tepung singkong hasil fermentasi kultur padat. Suhu gelatinisasi tepung singkong hasil fermentasi lebih rendah (69,7°C) dibandingkan tepung singkong tanpa fermentasi (70,4°C) karena jumlah kadar amilosa tepung singkong hasil fermentasi yang lebih tinggi (13,7%). Viskositas tepung singkong hasil fermentasi menggunakan BAL memiliki nilai puncak lebih tinggi (5135cP) dibandingkan tepung singkong tanpa fermentasi (4495cP) dengan waktu yang lebih lama (4,33 menit) dan pada suhu yang lebih rendah (72,55°C).

5.2 Saran

Dalam penelitian penggunaan metode kultur terendam belum terendam sempurna dan model bioreaktor masih belum kokoh. Diperlukan penelitian lebih lanjut tentang optimasi pertumbuhan bakteri asam laktat yang digunakan serta aplikasi pada produk pangan fungsional. Di samping itu perlu diketahui tingkat pencernaan tepung singkong terfermentasi baik secara in vitro maupun in vivo.

DAFTAR PUSTAKA

- [AOAC] Association of Official Analytical Chemist. 2005. *Official Methods of Analysis*. Association of Official Analytical Chemist, Washington DC.
- Adebowale, K.O., Olu-Owolabi, B.I., Olawumi, E.K., dan Lawal, O.S. 2005. Functional properties of native, physically and chemically modified breadfruit (*Artocarpus artillis*) starch. *Ind. Crops Prod.*, 21: 343-351.
- Agustin, S. 2011. Efek Polisakarida Non Pati Terhadap Karakteristik Gelatinisasi Tepung Sukun. *Jurnal Teknologi Pertanian*. ISSN 1858-2419.
- Agustin, T.I. 2011. Modifikasi Oksidasi Pati Singkong dan Aplikasinya sebagai *Filling Agent* pada Bakso Ikan. *Neptunus Jurnal Kelautan* Vol. 17(1)
- Akbar, M.R., dan Yunianta. 2014. Pengaruh Lama Perendaman $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ dan Fermentasi Ragi Tape Terhadap Sifat Fisik Kimia Tepung Jagung. *Jurnal Pangan dan Agroindustri* Vol. 2 (2): 91-102
- Alvarado, P.M., Grosmaire, L., Dufour, D., Toro, A.G., Sanchez, T., Calle, F., Santander, M.A.M., Ceballos, H., Delarbre, J.L., dan Tran, T. 2013. Combined effect of fermentation, sun-drying and genotype on breadmaking ability of sour cassava starch. *Carbohydrate Polymers* 98: 1137– 1146.
- Anggraeni, Y.P., dan Yuwono, S.S. 2014. Pengaruh Fermentasi Alami Pada chips Ubi Jalar (*Ipomoea batatas*) Terhadap Sifat Fisik Tepung Ubi Jalar Terfermentasi. *Jurnal Pangan dan Agroindustri* Vol.2 (2): 59-69.
- Apriyantono, A., Fardias, D., Puspitasari, N. L., Sendarnawati dan Budjanto, S. 1998. *Petunjuk Laboratorium Analisis Pangan*. Bogor: PAU Pangan dan Gizi. IPB
- Ardhayanti, R. 2014. *Tepung Singkong Termodifikasi (Mocaf), Bahan Pangan Lokal Untuk Substitusi Terigu*. Sulawesi: Balai Besar Pelatihan Pertanian.
- Babu, K.R. dan Satyanarayana, T. 1996. Production of Bacterial Enzymes by Solid State Fermentation. *Journal of Scientific and Industrial Research*, 55: 464-467.
- Balagopalan, C., G. Padmaja, S. K. Nanda, & S. N. Moorthy. 1988. *Cassava in Food, Feed and Industry*. CRC Press, Florida.
- Behall, K.M. and J. Hallfrisch. 2002. Plasma glucose and insulin reduction after consumption of bread varying in amylose content. *Eur J Clin Nutr* 56 (9):913-920.
- Belitz, H.D. and Grosch, W. 1999. *Food Chemistry*. Berlin: Springer Verlag.

- BeMiller, dan Whistler, R.L. 1996. Carbohydrates. *Didalam Fennema OR* (Ed). Food Chemistry (3rd ed.). Marcel Dekker, Inc.
- Ben, E. S., Zulianis dan Halim, A. 2007. Studi Awal Pemisahan Amilosa dan Amilopektin Pati Singkong dengan Fraksinasi Butanol-Air. *Jurnal Sains dan Teknologi Farmasi*. Vol. 12(1).
- Chaplin, M. 2002. *Starch*. <http://www.sbu.ac.uk> [5 April 2017]
- Charles, A.L., Chang, Y.H, Ko, W.C., Sriroth, K., dan Huang, T.C. 2005. Influence of amylopectin structure and amylose content on gelling properties of five cultivars of cassava starches. *J. Agric. Food Chemistry* Vol 53 : 2717-2725.
- Chinsamran, K., Kuakoon, P., Vilai, S., dan Klanarong, S. 2005. Effect of Lactic Acid Fermentation on Physico-chemical Properties of Starch Derived from Cassava, Sweet Potato and Rice. *Kasetsart J.* Vol 39(1).
- Chung, H.J, Liu, Q, dan Hoover, R. 2009. Impact of annealing and heat-moisture treatment on rapidly digestible, slowly digestible and resistant starch levels in native and gelatinized corn, pea and lentil starches. *Carbohydrate Polymers* 75: 436-447.
- Cooke, W. J., Jeffrey, L. C., Sullivan, M. L. dan Vierstra, R. D. 1992. 3-dimensional structure of a ubiquitin-conjugating enzyme (E2). *J. Biol. Chem.* 267, 15116-15121
- Darmawan, M. R., Andreas, P., Jos, B., dan Sumardiono, S. 2013. Modifikasi Ubi Kayu dengan Proses Fermentasi Menggunakan Starter *L. casei* untuk Produk Pangan. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, vol 2(4): 137-145.
- Demiante, N.D., J.P. Huvenneb, M.P. Ceredac dan G. Wosiacki. 1999. *Relationship Between Baking Behaviour of modified cassava starches and starch chemical structure determined by FTIR spectroscopy*. Carbohydrate Polymer, 148 – 149.
- Desrosier, N. W. 1988. *Teknologi Pengawetan Pangan*. Penerjemah M. Muljohardjo. Jakarta : UI Press.
- Faridah, D.N., Fardiaz, D., Andarwulan, N., dan Sunarti, T.C. 2010. Perubahan Struktur Pati Garut (*Maranta arundinaceae*) sebagai Akibat Modifikasi Hidrolisis Asam, Pemotongan Titik Percabangan dan Siklus Pemanasan-Pendinginan. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*, vol XXI(2).
- Fennema O.R. 1996. *Food Chemistry*. Basel: Marcell Dekker Inc
- Frediansyah, A., Kurniadi, M., Hikmat, A. N., dan Susanto, A. 2012. *Improving Quality of Mocaf (Modified Cassava Flour) by Bioprocess using*

Lactobacillus plantarum and Its Utility for Foodstuff. Yogyakarta: Proceeding of International Seminar EGICPA 140-145.

Harper J.M. 1981. *Extrusion of Foods*. Boston, Florida: CRC Press

Haryanti, P., Retno, S., dan Rumpoko, W. 2014. Pengaruh Suhu dan Lama Pemanasan Suspensi Pati Serta Konsentrasi Butanol terhadap Karakteristik Fisikokimia Pati Tinggi Amilosa dari Tapioka. *Agritech*. Vol. 34(3).

Heimbach, J. T. and Royal, P. 2012. *Generally Recognized as Safe (GRAS) Determination for the Use of Lactobacillus case Strain Shirota As a Food Ingredient*. for Yakult Honsha Co., Ltd. Tokyo

Hustiany, R. 2006. Modifikasi Asilasi dan Suksinilasi Pati Tapioka sebagai Bahan Enkapsulasi Komponen Flavor. *Disertasi*, Institut Pertanian Bogor.

Ikram-ul-Haq, S., Muhammad, M. J., Zafar, S. dan Tehmina, S. 2015. Triggering of β -glucosidase Production in *Trichoderma virida* with Nutritional and Environmental Control. *Journal of Applied Sciences Research*, 2:884-889.

Khasanah, L. U., Utami, R., Ananditho, B. K., dan Nugraheni, A. E. 2014. Pengaruh Perlakuan Pendahuluan Fermentasi Padat dan Fermentasi Cair Terhadap Rendemen dan Karakteristik Mutu Minyak Atsiri Daun Kayu Manis. *Agritech*. Vol. 34(1)

Komariah, S. 2013. "Produksi Asam Laktat oleh *Lactobacillus casei* Dari Limbah Cair Mocaf". *SKRIPSI*. Jember: Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember

Koswara. 2006. *Teknologi Modifikasi Pati*. <http://ebookpangan.com> [13 Mei 2017]

Kusnandar, F. 2010. *Kimia pangan: Komponen Pangan*. Jakarta: PT. Dian Rakyat.

Kusumaningrum, A. dan Sumardiono, S. 2012. Upaya Perbaikan Sifat Fisikokimia Tepung Ubi Kayu Melalui Proses Fermentasi Sawut Ubi Kayu dengan Starter Bakteri Asam Laktat *L. casei* dan Pemanfaatannya sebagai Bahan Baku Snack Tradisional Pilus dan Roti Muffin. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*. Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

Kusumaningrum., Yusmarini dan Akhyar, A. 2015. Isolasi dan Identifikasi Bakteri Asam Laktat Amilolitik dari Industri Pengolahan Pati Sagu. *Jom Faperta*. Vol. 2(1).

Lindriati, T., Praptiningsih, Y., dan Wijayanti, D.W. 2014. Karakteristik Fisis Gel *Edible Film* yang Dibuat dengan Variasi pH dan Rasio Kasein dan Tapioka. *Jurnal Ilmu Dasar*, Vol. 15(1).

- Manual Book Colour Reader. 2001. *Color Reader CR-10 Operator Manual*. Konica Minolta.
- Matz, S.A. 1976. *Snack Food Technology*. AVI. Westport.
- Mulyadi, A. H., dan Ma'ruf, A. 2013. Modifikasi Tepung Ubi Kayu secara Biologi Menggunakan Starter Bakteri Asam Laktat. *Journal Techno*, vol. 14(2): 22-28.
- Murillo. 2008. Morphological, Physicochemical and Structural Characteristics of Oxidized Barley and Corn Starches. *Starch/ Starke* Vol 60: 634-645.
- Nagao, F., M. Nakayama, T. Muto and K. Okumura. 2000. Effects Of A Fermented Milk Drink Containing L. casei Strain Shiota On The Immune System In Healthy Human Subjects. *Bioscience Biotechnology and Biochemistry* 64 (12): 2706-2708.
- Nurhayati, Jenie B. S. L., Widowati, S., dan Kusumaningrum, H. D. 2014. Komposisi Kimia dan Kristalinitas Tepung Pisang Termodifikasi Secara Fermentasi Spontan dengan Siklus Pemanasan Bertekanan-Pendinginan. *Jurnal Agritech*. Vol. 34(2).
- Peroni FHG, Rocha TS, Franco CML. 2006. Some structural and physicochemical characteristics of tuber and root starches. *Food Science and Technology International* 12(6): 505-513.
- Prastyaharasti, L. dan Zubaidah, E. 2014. Evaluasi Pertumbuhan *L. casei* dalam Medium Susu Skim yang Disubstitusi Tepung Beras Merah. *Jurnal Pangan dan Agroindustri* Vol. 2(4): 285-296.
- Pratiwi, M. 2016. "Structural Changes of Arrowroot Starch (*Marantha arundinacea* L.) as the Impact of Multiple Treatments by Acyd Hydrolysis, Debranching, Autoclaving-cooling Cycles, and Heat Moisture Treatment (HMT)". *THESIS*. Bogor Agricultural University.
- Pusparani, T., dan Yuwono, S.S. 2014. Pengaruh Fermentasi Alami Pada Chips Ubi Jalar (*Ipomoea batatas*) Terhadap Sifat Fisik Tepung Ubi Jalar. *Jurnal Pangan dan Agroindutri* Vol. 2(4): 137-147.
- Putri, W. R., Haryadi., Marseno, D. W., dan Cahyanto, M. N. 2012. Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Asam Laktat Amilolitik Selama Fermentasi Growol, Makanan Tradisional Indonesia. *Jurnal Teknologi Pertanian*. Vol. 13(1).
- Radley, J.A. 1976. *Starch Production Technology*. Applied Science publisher, Ltd. London.
- Raharjo, S.J. dan Retnowati, R. 2012. Yield increasing of patchouli oils of result steam distillation of patchouli leaf of dewaxing, fermentation, and drying process. *Journal Basic Science and Technology* 1(3):12-18.

- Rahman, A. M. 2007. Mempelajari Karakteristik Kimia dan Fisik Tepung Tapioka dan Mocal (*Modified Cassava Flour*) sebagai Penyalut Kacang pada Produk Kacang Salut. *SKRIPSI*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Rahmawati, I. S., Zubaida, E. dan Saprianti, E. 2015. Evaluasi Pertumbuhan Isolat Probiotik (*L. casei* dan *L. plantarum*) dalam Medium Fermentasi Berbasis Ubi Jalar (*Ipomoea batatas* L.) selama Proses Fermentasi (Kajian Jenis Isolat dan Jenis Tepung Ubi Jalar). *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan* 4(4).
- Redaksi Trubus. 2011. *Cara Jitu jadi Raja Singkong*. Jakarta: Trubus.
- Reddy, G., Altaf Md., Naveena B. J., Venkateshwar M., dan Kumar E. V. 2008. Amylolytic bacterial lactic acid fermentation-Areview. *Biotechnology Advances*.
- Reddy, G., Altaf, M.D., Naveena, B.J., Venkateshwar, M., and Kumar, E.V. 2008. Amylolytic bacterial lactic acid fermentation, a review. *Biotechnology Advances* 26: 22–34
- Riadi, L. 2013. *Teknologi Fermentasi*, Ed. 2. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Roder N., Ellis, P.R., dan Butterworth, P.J. 2005. Starch Molecular and Nutritional Properties: A Review. *Advance in Molecular Medicine*. 1(1): 5-14
- Ryan, S. M., G. F Fitzgerald, D. Sinderen. 2006. *Screening for and Identification of Starch-, Amylopectin-, and Pullulan-Degrading Activities in Bifidobacterial Strains*. Department of Microbiology, University College Cork, Western Road, Cork, Ireland
- Septianingrum, E. 2008. “Perkiraan Umur Simpan Tepung Gaplek yang Dikemas dalam Berbagai Kemasan Plastik Berdasarkan Kurva Isoterm Sorpsi Lembab”. *SKRIPSI*. Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Sebelas Maret.
- Singh, N., Chawla, D., dan Singh, J. 2004. Influence of acetic anhydride on physicochemical, morphological and thermal properties of corn and potato starch. *Food Chemistry*.
- Siswoyo, T.A. 2004. Pengaruh Perbedaan Ekstraksi Lipid terhadap Gelatinisasi dan Retrogradasi Tepung Mlinjo (*Gnetum gnemon*). *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*, Vol. XV(2)
- Subagio, A. 2003. Pengaruh Penambahan Isolat Protein Koro Pedang (*Canavalia ensiformis* L) Terhadap Karakteristik Cake. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*. Vol. 14(2): 136-143.

- Subagio, A. 2005. Characterization of Hyacinth Beans (*Lablab purpureus* L Sweet) Seeds from Indonesia and Its Protein Isolate. *Food Chem*, in press.
- Subagio, A. 2006. Ubi Kayu: Substitusi Berbagai Tepung-Tepungan. *Food Review* 18-22.
- Subagio, A. 2007. *Industrialisasi Modified Cassava Flour (MOCAL)*. Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember. Jember.
- Subramaniam, R dan Vimala, R. 2012. Solid State and Submerged Fermentation for The Production of Bioactive Substances: a Comparative Study. *International Journal of Science and Nature*, vol 3(3): 480-486
- Suhardi dan Suhardjo. 2006. *Teknologi Produksi Tiwul Insyan dari Tepung Ubikayu Komposit*. BPTP Jatim: Info Teknologi Pertanian No. 27.
- Suseno, E. 2015. "Pemanfaatan Isolat Bakteri Asam Laktat *Indigenous* sebagai Starter Untuk Fermentasi Sagu". *TESIS*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Syamsir, E., Purwiyatno, H., Dedi, F., Nuri, A dan Feri, K. 2012. Pengaruh Proses Heat-Moisture Treatment (HTM) terhadap Karakteristik Fisikokimia Pati. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*. Vol. 23(1).
- Tester, R.F., John, K., dan Xin, Q. 2004. Starch-composition fine structure and architecture. *Journal of Cereal Science* 39:151-165.
- USWA (United States Whet Associates. 2007. Rapid Visco Analyzer. Wheat and Flour Testing Method. A Guide to Understanding Wheat and Flour Quality.
- Whistler, R.L. J.N. BeMiller dan E.F. Paschall. 1984. *Starch: Chemistry and Technology*. Toronto: Academic Press. Inc.
- Widyasaputra, R. dan Sudarminto S, Y. 2013. Pengaruh Fermentasi Alami Chips terhadap Sifat Fisik Tepung Ubi Jalar Putih (*Ipomoea batatas* L) Terfermentasi. *Jurnal Pangan dan Agroindustri*. Vol. 1(1).
- Widyatmoko, H. 2015. Modifikasi Pati Singkong Secara Fermentasi Oleh *Lactobacillus manihotivorans* dan *Lactobacillus fermentum* Indigenus Gatot. *SKRIPSI*. Jember: Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember.
- Wijandi, S. 1976. *Ilmu Pengetahuan Bahan Umbi-umbian*. Departemen Teknologi Hasil Pertanian Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Winarno, F.G. 2008. *Kimia Pangan dan Gizi*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Winarno, F.G. 2004. *Kimia Pangan dan Gizi*. Jakarta: Gramedia Pustaka.

- Winata, A.Y. 2001. “Karakteristik Tepung Sukun (*Artocarpus altilis*) Pramasak Hasil Pengeringan Drum Serta Aplikasinya Untuk Substitusi Tepung Terigu pada Pembuatan Roti Manis”. *Skripsi*. Bogor: Fakultas Teknologi Pertanian IPB.
- Yuliasih, I. 2008. Fraksinasi dan Asetilasi Pati Sagu Serta Aplikasi Produknya Sebagai Bahan Campuran Plastik Sintesis. *Disertasi*. Bogor: Program Pascasarjana IPB.
- Zobel, H. F., Young, S. N., and Rocca, L. A. 1988. Strach Gelatinization: an X-Ray Diffraction Study. *Cereal Chem.* 65: 443-446.
- Zulaidah, A. 2011. “Modifikasi Ubi Kayu Secara Biologi Menggunakan Starter Bimo-CF Menjadi Tepung Termodifikasi Pengganti Gandum”. *TESIS*. Magister Teknik Kimia Universitas Diponegoro.
- Zulaidah, A. 2013. Modifikasi Ubi Kayu Dengan Kombinasi Proses Penggaraman Dan Proses Biologi Untuk Substitusi Terigu. *Dinamika Sains* Universitas Pandanaran.

LAMPIRAN

A. Lampiran Derajat Putih Tepung Singkong Terfermentasi *L. casei*

Tabel A.1 Data hasil pengukuran derajat putih

| Kode Perlakuan | Ulangan | | Total | Rata-rata | Std. Deviasi |
|----------------|---------|--------|---------|-----------|--------------|
| | U1 | U2 | | | |
| K | 97,66 | 98,10 | 195,76 | 97,88 | 0,32 |
| CS24 | 99,95 | 100,44 | 200,38 | 100,19 | 0,35 |
| CS48 | 98,68 | 99,75 | 198,43 | 99,22 | 0,75 |
| CS72 | 99,23 | 99,39 | 198,62 | 99,31 | 0,11 |
| CK24 | 99,62 | 99,98 | 199,60 | 99,80 | 0,26 |
| CK48 | 100,35 | 99,67 | 200,02 | 100,01 | 0,49 |
| CK72 | 101,98 | 99,56 | 201,53 | 100,77 | 1,71 |
| PS24 | 97,47 | 96,87 | 194,34 | 97,17 | 0,42 |
| PS48 | 97,17 | 97,61 | 194,79 | 97,39 | 0,31 |
| PS72 | 97,66 | 96,59 | 194,26 | 97,13 | 0,76 |
| PK24 | 99,55 | 100,15 | 199,70 | 99,85 | 0,42 |
| PK48 | 100,30 | 99,60 | 199,90 | 99,95 | 0,49 |
| PK72 | 98,84 | 98,33 | 197,18 | 98,59 | 0,36 |
| | | | 2574,51 | | |
| | | | | 99,02 | |

Tabel A.2 Hasil uji keragaman derajat putih

| FK | 254926,059 | | | | | |
|------------------|----------------|----|----------------|---------|-----------|-----|
| JK Total | 43,047 | | | | | |
| JK Perlakuan | 37,615 | | | | | |
| JK Galat | 5,432 | | | | | |
| Sumber Keragaman | Jumlah Kuadrat | db | Kuadrat Tengah | Fhitung | Ftabel 5% | Ket |
| Perlakuan | 37,615 | 12 | 3,135 | 7,502 | 2,604 | * |
| Galat | 5,432 | 13 | 0,418 | | | |
| Total | 43,047 | 25 | | | | |

* berbeda nyata

Tabel Uji lanjut BNT

| Perlakuan | Rerata | Notasi | PS72 | PS24 | PS48 | K | PK72 | CS48 | CS72 | CK24 | PK24 | PK48 | CK48 | CS24 | CK72 | BNT |
|-----------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|-------|
| | | | 97,128 | 97,171 | 97,393 | 97,881 | 98,589 | 99,216 | 99,309 | 99,799 | 99,848 | 99,949 | 100,010 | 100,192 | 100,765 | |
| PS72 | 97,128 | a | | | | | | | | | | | | | | |
| PS24 | 97,171 | a | 0,042 | | | | | | | | | | | | | |
| PS48 | 97,393 | a | 0,265 | 0,222 | | | | | | | | | | | | |
| K | 97,881 | a | 0,753 | 0,711 | 0,488 | | | | | | | | | | | |
| PK72 | 98,589 | b | 1,461 | 1,419 | 1,196 | 0,708 | | | | | | | | | | |
| CS48 | 99,216 | c | 2,088 | 2,046 | 1,823 | 1,335 | 0,627 | | | | | | | | | |
| CS72 | 99,309 | d | 2,181 | 2,139 | 1,916 | 1,428 | 0,720 | 0,093 | | | | | | | | 1,396 |
| CK24 | 99,799 | d | 2,671 | 2,629 | 2,406 | 1,918 | 1,210 | 0,583 | 0,490 | | | | | | | |
| PK24 | 99,848 | d | 2,720 | 2,678 | 2,455 | 1,967 | 1,259 | 0,632 | 0,539 | 0,049 | | | | | | |
| PK48 | 99,949 | d | 2,821 | 2,779 | 2,556 | 2,068 | 1,360 | 0,733 | 0,640 | 0,150 | 0,101 | | | | | |
| CK48 | 100,010 | e | 2,881 | 2,839 | 2,617 | 2,128 | 1,420 | 0,793 | 0,700 | 0,210 | 0,161 | 0,060 | | | | |
| CS24 | 100,192 | e | 3,064 | 3,021 | 2,799 | 2,311 | 1,603 | 0,976 | 0,883 | 0,393 | 0,344 | 0,243 | 0,182 | | | |
| CK72 | 100,765 | f | 3,637 | 3,595 | 3,372 | 2,884 | 2,176 | 1,549 | 1,456 | 0,966 | 0,917 | 0,816 | 0,756 | 0,574 | | |

B. Lampiran Daya Kembang Tepung Singkong Terfermentasi *L. casei*

Tabel B.1 Data hasil pengukuran daya kembang

| Kode Perlakuan | Ulangan | | Total | Rata-rata | Std. Deviasi |
|----------------|---------|------|--------|-----------|--------------|
| | U1 | U2 | | | |
| K | 6,03 | 6,99 | 13,02 | 6,51 | 0,68 |
| CS24 | 6,57 | 5,17 | 11,74 | 5,87 | 0,99 |
| CS48 | 5,55 | 6,93 | 12,49 | 6,24 | 0,98 |
| CS72 | 7,48 | 7,29 | 14,77 | 7,39 | 0,14 |
| CK24 | 6,71 | 7,61 | 14,32 | 7,16 | 0,63 |
| CK48 | 8,40 | 9,27 | 17,67 | 8,83 | 0,62 |
| CK72 | 6,96 | 6,69 | 13,66 | 6,83 | 0,19 |
| PS24 | 6,03 | 5,48 | 11,51 | 5,76 | 0,39 |
| PS48 | 5,11 | 4,56 | 9,67 | 4,84 | 0,39 |
| PS72 | 4,99 | 4,04 | 9,02 | 4,51 | 0,67 |
| PK24 | 7,25 | 9,07 | 16,33 | 8,16 | 1,29 |
| PK48 | 7,49 | 7,70 | 15,19 | 7,60 | 0,15 |
| PK72 | 6,55 | 6,99 | 13,54 | 6,77 | 0,31 |
| | | | 172,93 | | |
| | | | | 6,65 | |

Tabel B.2 Hasil uji keragaman daya kembang

| | | | | | | |
|------------------|----------------|----|----------------|---------|-----------|-----|
| FK | 1150,198 | | | | | |
| JK Total | 42,272 | | | | | |
| JK Perlakuan | 36,507 | | | | | |
| JK Galat | 5,765 | | | | | |
| Sumber Keragaman | Jumlah Kuadrat | db | Kuadrat Tengah | Fhitung | Ftabel 5% | Ket |
| Perlakuan | 36,507 | 12 | 3,042 | 6,860 | 2,604 | * |
| Galat | 5,765 | 13 | 0,443 | | | |
| Total | 42,272 | 25 | | | | |

* berbeda nyata

Tabel lanjut BNT

| Perlakuan | Rerata | Notasi | PS72 | PS48 | PS24 | CS24 | CS48 | K | PK72 | CK72 | CK24 | CS72 | PK48 | PK24 | CK48 | BNT |
|-----------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | 4,511 | 4,837 | 5,756 | 5,872 | 6,243 | 6,511 | 6,768 | 6,828 | 7,162 | 7,385 | 7,597 | 8,163 | 8,833 | 5% |
| PS72 | 4,511 | a | | | | | | | | | | | | | | |
| PS48 | 4,837 | a | 0,325 | | | | | | | | | | | | | |
| PS24 | 5,756 | a | 1,245 | 0,919 | | | | | | | | | | | | |
| CS24 | 5,872 | a | 1,360 | 1,035 | 0,116 | | | | | | | | | | | |
| CS48 | 6,243 | b | 1,731 | 1,406 | 0,487 | 0,371 | | | | | | | | | | |
| K | 6,511 | c | 2,000 | 1,674 | 0,755 | 0,639 | 0,268 | | | | | | | | | |
| PK72 | 6,768 | c | 2,257 | 1,932 | 1,012 | 0,897 | 0,526 | 0,257 | | | | | | | | 1,439 |
| CK72 | 6,828 | c | 2,317 | 1,991 | 1,072 | 0,956 | 0,585 | 0,317 | 0,060 | | | | | | | |
| CK24 | 7,162 | c | 2,650 | 2,325 | 1,406 | 1,290 | 0,919 | 0,651 | 0,393 | 0,334 | | | | | | |
| CS72 | 7,385 | d | 2,874 | 2,549 | 1,629 | 1,514 | 1,143 | 0,874 | 0,617 | 0,557 | 0,224 | | | | | |
| PK48 | 7,597 | d | 3,086 | 2,760 | 1,841 | 1,726 | 1,354 | 1,086 | 0,829 | 0,769 | 0,435 | 0,212 | | | | |
| PK24 | 8,163 | e | 3,652 | 3,326 | 2,407 | 2,291 | 1,920 | 1,652 | 1,395 | 1,335 | 1,001 | 0,778 | 0,566 | | | |
| CK48 | 8,833 | f | 4,322 | 3,997 | 3,077 | 2,962 | 2,590 | 2,322 | 2,065 | 2,005 | 1,672 | 1,448 | 1,236 | 0,670 | | |

C. Lampiran Kadar Air Tepung Singkong Terfermentasi *L. casei*

Tabel C.1 Data pengukuran kadar air

| Kode Perlakuan | Ulangan | | Total | Rata-rata | Std. Deviasi |
|----------------|---------|-------|--------|-----------|--------------|
| | U1 | U2 | | | |
| K | 12,58 | 12,63 | 25,21 | 12,61 | 0,03 |
| CS24 | 11,27 | 11,26 | 22,52 | 11,26 | 0,01 |
| CS48 | 10,94 | 10,90 | 21,84 | 10,92 | 0,02 |
| CS72 | 11,81 | 11,82 | 23,63 | 11,81 | 0,01 |
| CK24 | 11,43 | 11,25 | 22,68 | 11,34 | 0,13 |
| CK48 | 11,34 | 12,22 | 23,56 | 11,78 | 0,62 |
| CK72 | 11,18 | 11,10 | 22,27 | 11,14 | 0,06 |
| PS24 | 11,21 | 12,13 | 23,34 | 11,67 | 0,65 |
| PS48 | 11,51 | 11,39 | 22,90 | 11,45 | 0,08 |
| PS72 | 10,57 | 10,81 | 21,38 | 10,69 | 0,17 |
| PK24 | 11,55 | 12,20 | 23,75 | 11,87 | 0,46 |
| PK48 | 11,50 | 11,72 | 23,22 | 11,61 | 0,15 |
| PK72 | 11,84 | 11,49 | 23,33 | 11,66 | 0,24 |
| | | | 299,62 | | |
| | | | | 11,52 | |

Tabel C.2 Hasil uji keragaman kadar air

| | | | | | | |
|------------------|----------------|----|----------------|---------|-----------|-----|
| FK | 3452,770 | | | | | |
| JK Total | 6,798 | | | | | |
| JK Perlakuan | 5,627 | | | | | |
| JK Galat | 1,171 | | | | | |
| Sumber Keragaman | Jumlah Kuadrat | db | Kuadrat Tengah | Fhitung | Ftabel 5% | Ket |
| Perlakuan | 5,627 | 12 | 0,469 | 5,207 | 2,604 | * |
| Galat | 1,171 | 13 | 0,090 | | | |
| Total | 6,798 | 25 | | | | |

* berbeda nyata

Tabel uji lanjut BNT

| Perlakuan | Rerata | Notasi | PS72 | CS48 | CK72 | CS24 | CK24 | PS48 | PK48 | PK72 | PS24 | CK48 | CS72 | PK24 | K | BNT |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| | | | 10,690 | 10,918 | 11,135 | 11,261 | 11,339 | 11,450 | 11,609 | 11,664 | 11,670 | 11,781 | 11,814 | 11,874 | 12,605 | 5% |
| PS72 | 10,690 | a | | | | | | | | | | | | | | |
| CS48 | 10,918 | a | 0,228 | | | | | | | | | | | | | |
| CK72 | 11,135 | a | 0,446 | 0,218 | | | | | | | | | | | | |
| CS24 | 11,261 | a | 0,572 | 0,343 | 0,126 | | | | | | | | | | | |
| CK24 | 11,339 | b | 0,649 | 0,421 | 0,204 | 0,078 | | | | | | | | | | |
| PS48 | 11,450 | b | 0,760 | 0,532 | 0,315 | 0,189 | 0,111 | | | | | | | | | |
| PK48 | 11,609 | c | 0,920 | 0,692 | 0,474 | 0,348 | 0,270 | 0,159 | | | | | | | | 0,648 |
| PK72 | 11,664 | c | 0,975 | 0,747 | 0,529 | 0,403 | 0,326 | 0,215 | 0,055 | | | | | | | |
| PS24 | 11,670 | c | 0,980 | 0,752 | 0,535 | 0,409 | 0,331 | 0,220 | 0,061 | 0,006 | | | | | | |
| CK48 | 11,781 | c | 1,091 | 0,863 | 0,645 | 0,519 | 0,442 | 0,331 | 0,171 | 0,116 | 0,110 | | | | | |
| CS72 | 11,814 | d | 1,124 | 0,896 | 0,679 | 0,553 | 0,475 | 0,364 | 0,204 | 0,149 | 0,144 | 0,033 | | | | |
| PK24 | 11,874 | d | 1,184 | 0,956 | 0,738 | 0,612 | 0,535 | 0,424 | 0,264 | 0,209 | 0,204 | 0,093 | 0,060 | | | |
| K | 12,605 | e | 1,916 | 1,688 | 1,470 | 1,344 | 1,267 | 1,156 | 0,996 | 0,941 | 0,935 | 0,825 | 0,792 | 0,732 | | |

D. Lampiran pH Air Perendam Fermentasi

Tabel D.1 Data pengukuran pH air perendam

| Kode Perlakuan | Ulangan | | Total | Rata-rata | Std. Deviasi |
|----------------|---------|------|-------|-----------|--------------|
| | U1 | U2 | | | |
| C0 | 7,00 | 6,90 | 13,90 | 6,95 | 0,07 |
| CS24 | 6,10 | 5,80 | 11,90 | 5,95 | 0,21 |
| CS48 | 5,70 | 5,90 | 11,60 | 5,80 | 0,14 |
| CS72 | 5,80 | 6,10 | 11,90 | 5,95 | 0,21 |
| CK24 | 5,90 | 6,20 | 12,10 | 6,05 | 0,21 |
| CK48 | 6,00 | 5,70 | 11,70 | 5,85 | 0,21 |
| CK72 | 5,80 | 5,60 | 11,40 | 5,70 | 0,14 |
| | | | 84,50 | | |
| | | | | 6,04 | |

Tabel D.2 Hasil uji keragaman pH air perendam

| FK | 274,625 | | | | | |
|------------------|----------------|----|----------------|----------|-----------|-----|
| JK Total | 237,725 | | | | | |
| JK Perlakuan | 237,500 | | | | | |
| JK Galat | 0,225 | | | | | |
| Sumber Keragaman | Jumlah Kuadrat | db | Kuadrat Tengah | Fhitung | Ftabel 5% | Ket |
| Perlakuan | 237,500 | 6 | 39,583 | 1231,481 | 3,866 | * |
| Galat | 0,225 | 7 | 0,032 | | | |
| Total | 237,725 | 13 | | | | |

* berbeda nyata

Uji lanjut BNT

| Perlakuan | Rerata | Notasi | CK72 | CS48 | CK48 | CS24 | CS72 | CK24 | C0 | BNT 5% |
|-----------|--------|--------|------|------|------|------|------|------|------|--------|
| | | | 5,70 | 5,80 | 5,85 | 5,95 | 5,95 | 6,05 | 6,95 | |
| CK72 | 5,70 | a | | | | | | | | |
| CS48 | 5,80 | a | 0,10 | | | | | | | |
| CK48 | 5,85 | a | 0,15 | 0,05 | | | | | | |
| CS24 | 5,95 | a | 0,25 | 0,15 | 0,10 | | | | | 0,424 |
| CS72 | 5,95 | a | 0,25 | 0,15 | 0,10 | 0,00 | | | | |
| CK24 | 6,05 | a | 0,35 | 0,25 | 0,20 | 0,10 | 0,10 | | | |
| C0 | 6,95 | b | 1,25 | 1,15 | 1,10 | 1,00 | 1,00 | 0,90 | | |

E. Lampiran Kadar Amilosa Tepung Singkong Terfermentasi *L. casei*

Tabel E.1 Data pengukuran kadar amilosa

| Kode Perlakuan | Ulangan | | Total | Rata-rata | Std. Deviasi |
|----------------|---------|-------|--------|-----------|--------------|
| | U1 | U2 | | | |
| K | 13,32 | 12,69 | 26,01 | 13,01 | 0,45 |
| CS24 | 12,32 | 11,31 | 23,64 | 11,82 | 0,72 |
| CS48 | 11,76 | 12,20 | 23,96 | 11,98 | 0,31 |
| CS72 | 11,34 | 10,72 | 22,06 | 11,03 | 0,44 |
| CK24 | 12,30 | 12,66 | 24,95 | 12,48 | 0,25 |
| CK48 | 13,94 | 13,46 | 27,40 | 13,70 | 0,34 |
| CK72 | 12,58 | 13,85 | 26,43 | 13,21 | 0,90 |
| PS24 | 12,85 | 12,20 | 25,05 | 12,52 | 0,46 |
| PS48 | 10,74 | 12,51 | 23,25 | 11,63 | 1,25 |
| PS72 | 11,44 | 12,22 | 23,66 | 11,83 | 0,55 |
| PK24 | 11,42 | 12,69 | 24,11 | 12,06 | 0,90 |
| PK48 | 13,17 | 12,92 | 26,09 | 13,05 | 0,17 |
| PK72 | 12,77 | 12,30 | 25,07 | 12,53 | 0,33 |
| | | | 321,68 | | |
| | | | | 12,37 | |

Tabel E.2 Hasil uji keragaman kadar amilosa

| | | | | | | |
|------------------|----------------|----|----------------|---------|-----------|-----|
| FK | 3979,977 | | | | | |
| JK Total | 18,204 | | | | | |
| JK Perlakuan | 13,195 | | | | | |
| JK Galat | 5,009 | | | | | |
| Sumber Keragaman | Jumlah Kuadrat | db | Kuadrat Tengah | Fhitung | Ftabel 5% | Ket |
| Perlakuan | 13,195 | 12 | 1,100 | 2,854 | 2,604 | * |
| Galat | 5,009 | 13 | 0,385 | | | |
| Total | 18,204 | 25 | | | | |

* berbeda nyata

Tabel uji lanjut BNT

| Perlakuan | Rerata | Notasi | CS72 | PS48 | CS24 | PS72 | CS48 | PK24 | CK24 | PS24 | PK72 | K | PK48 | CK72 | CK48 | BNT 5% |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|
| | | | 11,031 | 11,627 | 11,818 | 11,830 | 11,980 | 12,056 | 12,476 | 12,524 | 12,534 | 13,006 | 13,046 | 13,213 | 13,701 | |
| CS72 | 11,031 | a | | | | | | | | | | | | | | |
| PS48 | 11,627 | a | 0,596 | | | | | | | | | | | | | |
| CS24 | 11,818 | a | 0,787 | 0,192 | | | | | | | | | | | | |
| PS72 | 11,830 | a | 0,799 | 0,203 | 0,011 | | | | | | | | | | | |
| CS48 | 11,980 | a | 0,949 | 0,353 | 0,161 | 0,150 | | | | | | | | | | |
| PK24 | 12,056 | a | 1,025 | 0,430 | 0,238 | 0,227 | 0,077 | | | | | | | | | |
| CK24 | 12,476 | b | 1,445 | 0,849 | 0,658 | 0,647 | 0,497 | 0,420 | | | | | | | | 1,341 |
| PS24 | 12,524 | b | 1,493 | 0,898 | 0,706 | 0,695 | 0,545 | 0,468 | 0,048 | | | | | | | |
| PK72 | 12,534 | b | 1,503 | 0,908 | 0,716 | 0,705 | 0,555 | 0,478 | 0,058 | 0,010 | | | | | | |
| K | 13,006 | c | 1,975 | 1,379 | 1,188 | 1,177 | 1,027 | 0,950 | 0,530 | 0,482 | 0,472 | | | | | |
| PK48 | 13,046 | c | 2,015 | 1,419 | 1,227 | 1,216 | 1,066 | 0,989 | 0,569 | 0,521 | 0,511 | 0,039 | | | | |
| CK72 | 13,213 | d | 2,182 | 1,586 | 1,394 | 1,383 | 1,233 | 1,157 | 0,737 | 0,689 | 0,679 | 0,207 | 0,167 | | | |
| CK48 | 13,701 | e | 2,670 | 2,074 | 1,883 | 1,871 | 1,721 | 1,645 | 1,225 | 1,177 | 1,167 | 0,695 | 0,655 | 0,488 | | |

F. Lampiran WHC Tepung Singkong Terfermentasi *L. casei*

Tabel F.1 Data pengukuran WHC

| Kode Perlakuan | Ulangan | | Total | Rata-rata | Std. Deviasi |
|----------------|---------|-----|---------|-----------|--------------|
| | U1 | U2 | | | |
| K | 217 | 203 | 420,00 | 210,00 | 9,43 |
| CS24 | 223 | 293 | 516,67 | 258,33 | 49,50 |
| CS48 | 310 | 343 | 653,33 | 326,67 | 23,57 |
| CS72 | 290 | 283 | 573,33 | 286,67 | 4,71 |
| CK24 | 278 | 347 | 624,67 | 312,33 | 48,55 |
| CK48 | 283 | 307 | 590,00 | 295,00 | 16,50 |
| CK72 | 207 | 227 | 433,33 | 216,67 | 14,14 |
| PS24 | 313 | 270 | 583,33 | 291,67 | 30,64 |
| PS48 | 260 | 290 | 550,00 | 275,00 | 21,21 |
| PS72 | 270 | 300 | 570,00 | 285,00 | 21,21 |
| PK24 | 267 | 323 | 590,00 | 295,00 | 40,07 |
| PK48 | 323 | 297 | 620,00 | 310,00 | 18,86 |
| PK72 | 320 | 283 | 603,33 | 301,67 | 25,93 |
| | | | 7328,00 | | |
| | | | | 281,85 | |

Tabel F.2 Hasil uji keragaman WHC

| FK | 2054110,154 | | | | | |
|------------------|----------------|----|----------------|---------|-----------|-----|
| JK Total | 43029,402 | | | | | |
| JK Perlakuan | 32010,735 | | | | | |
| JK Galat | 11018,667 | | | | | |
| Sumber Keragaman | Jumlah Kuadrat | db | Kuadrat Tengah | Fhitung | Ftabel 5% | Ket |
| Perlakuan | 32010,735 | 12 | 2667,561 | 3,147 | 2,604 | * |
| Galat | 11018,667 | 13 | 847,590 | | | |
| Total | 43029,402 | 25 | | | | |

* berbeda nyata

Tabel uji lanjut BNT

| Perlakuan | Rerata | Notasi | K | CK72 | CS24 | PS48 | PS72 | CS72 | PS24 | PK24 | CK48 | PK72 | PK48 | CK24 | CS48 | BNT 5% |
|-----------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|
| | | | 210,0 | 216,7 | 258,3 | 275,0 | 285,0 | 286,7 | 291,7 | 295,0 | 295,0 | 301,7 | 310,0 | 312,3 | 326,7 | |
| K | 210,0 | a | | | | | | | | | | | | | | |
| CK72 | 216,7 | a | 6,7 | | | | | | | | | | | | | |
| CS24 | 258,3 | a | 48,3 | 41,7 | | | | | | | | | | | | |
| PS48 | 275,0 | b | 65,0 | 58,3 | 16,7 | | | | | | | | | | | |
| PS72 | 285,0 | c | 75,0 | 68,3 | 26,7 | 10,0 | | | | | | | | | | |
| CS72 | 286,7 | c | 76,7 | 70,0 | 28,3 | 11,7 | 1,7 | | | | | | | | | |
| PS24 | 291,7 | c | 81,7 | 75,0 | 33,3 | 16,7 | 6,7 | 5,0 | | | | | | | | 61,159 |
| PK24 | 295,0 | c | 85,0 | 78,3 | 36,7 | 20,0 | 10,0 | 8,3 | 3,3 | | | | | | | |
| CK48 | 295,0 | c | 85,0 | 78,3 | 36,7 | 20,0 | 10,0 | 8,3 | 3,3 | 0,0 | | | | | | |
| PK72 | 301,7 | c | 91,7 | 85,0 | 43,3 | 26,7 | 16,7 | 15,0 | 10,0 | 6,7 | 6,7 | | | | | |
| PK48 | 310,0 | c | 100,0 | 93,3 | 51,7 | 35,0 | 25,0 | 23,3 | 18,3 | 15,0 | 15,0 | 8,3 | | | | |
| CK24 | 312,3 | c | 102,3 | 95,7 | 54,0 | 37,3 | 27,3 | 25,7 | 20,7 | 17,3 | 17,3 | 10,7 | 2,3 | | | |
| CS48 | 326,7 | d | 116,7 | 110,0 | 68,3 | 51,7 | 41,7 | 40,0 | 35,0 | 31,7 | 31,7 | 25,0 | 16,7 | 14,3 | | |

G. Lampiran OHC Tepung Singkong Terfermentasi *L. casei*

Tabel G.1 Data pengukuran OHC

| Kode Perlakuan | Ulangan | | Total | Rata-rata | Std. Deviasi |
|----------------|---------|-----|----------|-----------|--------------|
| | U1 | U2 | | | |
| K | 507 | 520 | 1026,67 | 513,33 | 9,43 |
| CS24 | 567 | 573 | 1140,00 | 570,00 | 4,71 |
| CS48 | 697 | 724 | 1420,67 | 710,33 | 19,33 |
| CS72 | 643 | 650 | 1293,00 | 646,50 | 4,95 |
| CK24 | 690 | 683 | 1373,33 | 686,67 | 4,71 |
| CK48 | 550 | 637 | 1186,67 | 593,33 | 61,28 |
| CK72 | 497 | 579 | 1076,00 | 538,00 | 57,98 |
| PS24 | 593 | 598 | 1191,33 | 595,67 | 3,30 |
| PS48 | 594 | 603 | 1197,33 | 598,67 | 6,60 |
| PS72 | 593 | 613 | 1206,67 | 603,33 | 14,14 |
| PK24 | 578 | 657 | 1234,67 | 617,33 | 55,63 |
| PK48 | 630 | 623 | 1253,33 | 626,67 | 4,71 |
| PK72 | 609 | 593 | 1202,33 | 601,17 | 11,08 |
| | | | 15802,00 | | |
| | | | | 607,77 | |

Tabel G.2 Hasil uji keragaman OHC

| FK | 9603969,385 | | | | | |
|------------------|----------------|----|----------------|---------|-----------|-----|
| JK Total | 79955,060 | | | | | |
| JK Perlakuan | 68812,504 | | | | | |
| JK Galat | 11142,556 | | | | | |
| Sumber Keragaman | Jumlah Kuadrat | db | Kuadrat Tengah | Fhitung | Ftabel 5% | Ket |
| Perlakuan | 68812,504 | 12 | 5734,375 | 6,690 | 2,604 | * |
| Galat | 11142,556 | 13 | 857,120 | | | |
| Total | 79955,060 | 25 | | | | |

* berbeda nyata

Tabel uji lanjut BNT

| Perlakuan | Rerata | Notasi | K | CK72 | CS24 | CK48 | PS24 | PS48 | PK72 | PS72 | PK24 | PK48 | CS72 | CK24 | CS48 | BNT 5% |
|-----------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| K | 513,3 | a | 513,3 | 538,0 | 570,0 | 593,3 | 595,7 | 598,7 | 601,2 | 603,3 | 617,3 | 626,7 | 646,5 | 686,7 | 710,3 | |
| CK72 | 538,0 | a | 24,7 | | | | | | | | | | | | | |
| CS24 | 570,0 | a | 56,7 | 32,0 | | | | | | | | | | | | |
| CK48 | 593,3 | b | 80,0 | 55,3 | 23,3 | | | | | | | | | | | |
| PS24 | 595,7 | b | 82,3 | 57,7 | 25,7 | 2,3 | | | | | | | | | | |
| PS48 | 598,7 | b | 85,3 | 60,7 | 28,7 | 5,3 | 3,0 | | | | | | | | | |
| PK72 | 601,2 | c | 87,8 | 63,2 | 31,2 | 7,8 | 5,5 | 2,5 | | | | | | | | |
| PS72 | 603,3 | c | 90,0 | 65,3 | 33,3 | 10,0 | 7,7 | 4,7 | 2,2 | | | | | | | |
| PK24 | 617,3 | d | 104,0 | 79,3 | 47,3 | 24,0 | 21,7 | 18,7 | 16,2 | 14,0 | | | | | | |
| PK48 | 626,7 | d | 113,3 | 88,7 | 56,7 | 33,3 | 31,0 | 28,0 | 25,5 | 23,3 | 9,3 | | | | | |
| CS72 | 646,5 | e | 133,2 | 108,5 | 76,5 | 53,2 | 50,8 | 47,8 | 45,3 | 43,2 | 29,2 | 19,8 | | | | |
| CK24 | 686,7 | f | 173,3 | 148,7 | 116,7 | 93,3 | 91,0 | 88,0 | 85,5 | 83,3 | 69,3 | 60,0 | 40,2 | | | |
| CS48 | 710,3 | g | 197,0 | 172,3 | 140,3 | 117,0 | 114,7 | 111,7 | 109,2 | 107,0 | 93,0 | 83,7 | 63,8 | 23,7 | | |

63,248