

**PENGARUH PERLAKUAN PH DAN SUHU TERHADAP SIFAT FISIKOKIMIA  
MOCAF (*Modified Cassava Flour*)**

**EFFECT OF PH AND TEMPERATURE TREATMENT ON  
PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF MOCAF (*Modified Cassava Flour*)**

Nurud Diniyah, Pradiska Gita Vindy Ganesha, Achmad Subagio

*Jurusan Teknologi Hasil Pertanian - Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember  
Jl. Kalimantan 37, Kampus Tegal Boto Jember 68121*

*E-mail: nurud.ftp@unej.ac.id*

**ABSTRAK**

Peningkatan sifat fungsional pati dapat dilakukan dengan mengubah struktur pati menjadi lebih banyak pada bagian amorf dengan cara perlakuan fermentasi pada umbi singkong terlebih dahulu sehingga dihasilkan Mocaf. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui perubahan karakteristik pati Mocaf dengan perlakuan panas dan pengaturan tingkat keasaman (pH) agar dapat digunakan dalam aplikasi yang lebih luas. Perlakuan dalam penelitian ini meliputi variasi suhu pemanasan (60, 70, 80, 90, dan 120 °C) dan pH (3, 4, 5, 6, dan 7) dan diulang sebanyak 3 kali dengan parameter pengukuran meliputi daya kembang, kelarutan, kekeruhan, viskositas pasta, bentuk granula pati, dan sineresis. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa suhu pemanasan mempengaruhi nilai daya kembang, kelarutan, viskositas, bentuk granula pati, dan sineresis Mocaf, tetapi menyebabkan penurunan tingkat kekeruhan. Sedangkan penambahan asam dapat mempengaruhi viskositas dan granula pati Mocaf.

Kata kunci: Mocaf, pati, pH, suhu

**ABSTRACT**

The changes in the starch's structure to amorphous can increase the functional characteristics of starch using the fermentation process of cassava to be known as Mocaf. The aim of this study was to determine the physicochemical properties of Mocaf's starch due to temperature and pH processing. Treatment in this research including various of temperature (60, 70, 80, 90, and 120 °C) dan pH (3, 4, 5, 6, dan 7) in three replications with analysis of swelling power, solubility, viscosity, starch granule, and syneresis. The results of this study indicate that the heating temperature affects the value of swelling power, solubility, viscosity, starch granule, and syneresis of Mocaf, but it causes a decrease of Mocaf's turbidity. The addition of acid may affect the viscosity and granules of Mocaf's starch.

Keywords: Mocaf, pH, temperature, starch

## PENDAHULUAN

Pati adalah biopolymer semi-kristal yang berfungsi sebagai cadangan karbohidrat di berbagai tanaman termasuk biji, sereal, akar dan umbi-umbian dan ditinjau dari aspek fungsional dapat mempengaruhi sifat seperti tekstur, volume, konsistensi, umur simpan makanan dan digunakan sebagai *ingredient* dalam pengolahan pangan, memiliki spektrum luas dalam industri makanan untuk membangun karakter khusus seperti *thickening*, penstabil dispersi, dan pembentuk gel dan film serta dalam industri lain seperti tekstil dan kosmetik<sup>1,2,3</sup>. Pati dalam bentuk alami memiliki batasan aplikasi di industri. Oleh karena itu, pati sering dimodifikasi baik secara fisik, kimia atau proses enzimatis untuk memperbaiki karakteristik fungsionalnya.

Prinsip proses pembuatan Mocaf (*Modified Cassava Flour*) menggunakan modifikasi sel umbi singkong dengan fermentasi asam menggunakan Bakteri Asam Laktat (BAL). Dinding sel singkong dihancurkan oleh enzim selulolitik dan pektinolitik yang dihasilkan sehingga terjadi liberasi granula pati. Asam-asam organik, terutama asam laktat merupakan hasil hidrolisis pati menjadi gula yang dilakukan oleh enzim-enzim yang dihasilkan oleh BAL. Perubahan struktur pati singkong tersebut menyebabkan perubahan karakteristik Mocaf berupa naiknya viskositas, daya rehidrasi, kemampuan gelasi, dan kemudahan melarut yaitu tingkat kekentalan dan derajat putih Mocaf lebih tinggi dibandingkan dengan tepung singkong tanpa adanya proses fermentasi<sup>4</sup>. Pengembangan teknologi dan evolusi di proses industri makanan menunjukkan kecenderungan yang tinggi untuk memodifikasi pati. Aplikasi Mocaf telah dikembangkan menjadi bahan pensubstitusi, pengental dan pengisi dalam produk pangan. Beberapa penelitian terkait aplikasi Mocaf menunjukkan luasnya penggunaan Mocaf di industri makanan<sup>5,6,7,8,9,10,11</sup>.

Dalam proses pengolahan makanan, perlakuan panas dan asam merupakan parameter yang penting dan sering digunakan yang kemudian akan mempengaruhi karakteristik pati dalam aplikasinya. Penerapan suhu dan pH dapat mempengaruhi reaksi kimia dalam pengolahan berbasis pati, dengan demikian mempengaruhi sifat fisik dan kimia pati<sup>12,13</sup>. Proses terpenting yang terjadi selama pemanasan pati dalam air disebut gelatinisasi. Selama pemanasan, struktur pati kristalin pecah dan granula menyerap air dan membengkak secara ireversibel. Perlakuan panas dapat mengubah struktur susunan rantai pati, sifat pembengkakan, kristalinitas, gelatinisasi, retrogradasi, stabilitas termal dan sifat pasta<sup>3</sup>. Demikian

juga asam dapat menghidrolisis ikatan glikosidik, memproduksi dekstrin atau molekul yang lebih rendah dengan mengurangi ukuran dan berat molekul dari pati<sup>14,15</sup>. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu penelitian untuk mengetahui pengaruh sifat fisikokimia Mocaf akibat suhu pemanasan dan pH sebagai upaya modifikasi pati Mocaf sehingga didapatkan karakteristik spesifik yang berbeda dari Mocaf.

## BAHAN DAN METODE

### Metode Penelitian

Pelaksanaan penelitian

Penelitian dilakukan dengan memanaskan Mocaf pada berbagai suhu (60, 70, 80, 90, dan 120°C) dan pH (3, 4, 5, 6, dan 7), diulang sebanyak 3 kali. Mocaf ditimbang sebanyak 25 gram dan dilarutkan pada buffer sitrat dengan pH sesuai perlakuan dan diaduk secara homogen, dilakukan pemanasan sesuai perlakuan variasi suhu yang telah ditetapkan. Variabel pengamatan meliputi daya kembang, kelarutan, kekeruhan, viskositas, bentuk granula dan sineresis.

### Daya kembang (*Swelling power*)

Analisis daya kembang pati dilakukan berdasarkan Zhang<sup>16</sup> dengan sedikit modifikasi. Sampel sebanyak 0,15 g ditambahkan dengan buffer sitrat lalu ditera dengan pH sesuai perlakuan hingga volume 10 mL. Suspensi dipanaskan selama 30 menit secara periodik dalam *waterbath* pada berbagai suhu (sesuai perlakuan) sambil diaduk secara kontinyu. Sampel yang telah mengalami pengembangan didinginkan pada suhu ruang selama 15 menit lalu disentrifuse dengan kecepatan 2500 rpm selama 20 menit untuk memisahkan cairan sisa. Setelah didekantasi, pasta diambil dan ditimbang beratnya<sup>16</sup>. *Swelling power* merupakan kenaikan volume dan berat maksimum pati setelah mengalami pengembangan di dalam air akibat pemanasan. *Swelling power* dapat dihitung berdasarkan persamaan di bawah ini:

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

### Kelarutan (*Solubility*)

Analisa kelarutan dilakukan berdasarkan Klein<sup>17</sup> dengan sedikit modifikasi. Sampel sebanyak 0,15 g ditambahkan buffer sitrat lalu ditera dengan pH sesuai perlakuan hingga volume 10 mL. Suspensi dipanaskan selama 30 menit secara periodik dalam *waterbath* pada berbagai suhu sesuai perlakuan sambil diaduk secara kontinyu. Sampel yang telah mengalami pengembangan

disentrifugasi dengan kecepatan 2500 rpm selama 20 menit. Supernatan didekantasi dan dikeringkan pada oven suhu 105°C hingga beratnya konstan<sup>19</sup>. Kelarutan dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$\text{Kelarutan (g/g)} = \frac{\text{(padatan terlarut disupernatant (g))}}{\text{(berat sampel kering (g))}}$$

### Kekeruhan (*Turbidity*)

Kekeruhan pasta pati diukur menggunakan prosedur Noranizan<sup>18</sup> dan Torres<sup>19</sup> dengan sedikit modifikasi. Pasta pati Mocaf (2%, w/v) dihasilkan dari suspensi sampel pada beberapa variasi pH yang dipanaskan sesuai suhu perlakuan menggunakan *waterbath* selama 30 menit dengan pengadukan secara kontinyu. Setelah dipanaskan, gel didinginkan selama 1 jam pada suhu 25°C, absorbansi dibaca pada  $\lambda = 600 \text{ nm}$  menggunakan alat turbidimeter Mi415 (Spectronic CamSpec., Ltd, UK).

### Viskositas pasta

Viskositas pasta pati dianalisis menggunakan RVA (*Rapid Visco Analyzer*). Sampel (Mocaf) disiapkan masing-masing ditimbang sebanyak 3 gram dilarutkan pada 25 mL larutan buffer (volume terkoreksi berdasarkan kadar air Mocaf 12%) dengan pH yang telah ditentukan yaitu pH 3, 4, 5, 6, 7 kemudian diaduk hingga homogen dengan kecepatan pengadukan 160 rpm (sama pada tiap-tiap sampel) dan diatur suhunya sesuai perlakuan sehingga diperoleh data viskositas<sup>20,21,22</sup>.

### Bentuk granula pati

Analisa dilakukan dengan mengamati granula pati Mocaf menggunakan mikroskop polarisasi pada perbesaran 400 kali<sup>23</sup>. Sampel yang sudah dipanaskan sesuai perlakuan diambil dengan spatula dan dioleskan pada kaca preparat lalu difoto dengan kamera (Nikon, Japan).

### Sineresis

Sineresis dilakukan menurut Torres<sup>19</sup> dengan memodifikasi perlakuan. Sampel sebanyak 4,5 g dilarutkan dalam buffer sitrat sesuai pH perlakuan hingga 50 mL kemudian dipanaskan pada suhu 60, 70, 80, 90, dan 120°C dengan pengadukan selama 30 menit. Pasta yang terbentuk didinginkan hingga mencapai suhu kamar kemudian ditimbang 10 g dimasukkan kedalam tabung sentrifuse yang sudah diketahui bobotnya. Pasta dibekukan pada suhu -18°C selama 24 jam. Pasta beku dicairkan dalam *waterbath* suhu 30°C selama 90 menit, selanjutnya disentrifugasi 2500rpm selama 15 menit. Cairan didekantasi dan residunya ditimbang setiap 24 jam (4x24 jam).

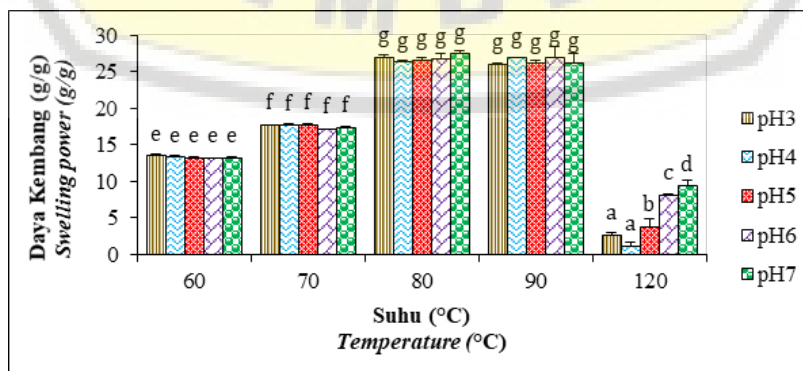
### Analisis Data

Semua data diperoleh dari tiga kali pengulangan. Data hasil pengamatan ditentukan menggunakan *Analysis of Variance* (ANOVA) dengan tingkat signifikansi 5% ( $p \leq 0.05$ ) dan dilakukan uji lanjut BNJ jika terdapat perbedaan nyata antar perlakuan. Data disajikan dalam bentuk grafik yang diperoleh dari rerata nilai dengan standar deviasi dan diinterpretasikan sesuai dengan parameter yang dianalisis.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Daya Kembang

Hasil analisis *swelling power* Mocaf disajikan pada Gambar 1. Nilai *swelling power* Mocaf berkisar antara 9,41 – 27,18 (g/g) pada perlakuan suhu dan pH yang berbeda. Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa perlakuan pH dan suhu berpengaruh nyata terhadap daya kembang dengan tingkat kepercayaan 95%. Sedangkan kisaran nilai *swelling power* tepung alami dan pati singkong perlakuan steam-heat-moisture berturut-turut



Gambar 1. Daya kembang Mocaf dengan perbedaan perlakuan pH dan suhu  
 Figure 1. Swelling power of Mocaf with different pH and temperature treatment

15,57 (g/g); 9,09 - 12,25 (g/g), 13,96 - 23,74 (g/g)<sup>24</sup>. Kecenderungan *swelling power* Mocaf meningkat secara nyata dengan meningkatnya suhu dari 60 hingga 80°C dan turun setelah suhu 120°C.

Berdasarkan Gambar 1, diketahui bahwa semakin tinggi suhu pemanasan maka semakin tinggi pula daya kembang pati Mocaf. Daya kembang pati tertinggi pada Mocaf dengan suhu pemanasan 80°C. Zhang<sup>16</sup> dan Hung<sup>25</sup> menyatakan bahwa semakin tinggi suhu pemanasan, maka menyebabkan daya kembang pati semakin meningkat. Hal tersebut dikarenakan suspensi pati dipanaskan menggunakan suhu yang semakin tinggi sehingga menyebabkan percepatan masuknya air ke daerah amorf lebih tinggi. Daerah amorf sangat mudah dimasuki air karena merupakan daerah yang renggang dan kurang padat. Menurut Hoover<sup>3</sup>, amilopektin bertanggung jawab terhadap proses pengembangan granula. Amilopektin berada pada daerah amorf dari granula pati. Tetapi, nilai *swelling power* mengalami penurunan ketika suhu dinaikkan 90-120°C diduga akibat pemanasan yang tinggi sehingga rantai amilopektin terhidrolisis/terdegradasi menjadi rantai yang lebih sederhana setelah mencapai pembengkakan maksimum pada suhu gelatinisasi atau jumlah formasi kompleks amilosa-lipid lebih stabil yang bertanggung jawab pada penurunan daya kembang pati serta terjadi transformasi amilosa amorf ke struktur heliks<sup>16,18</sup>.

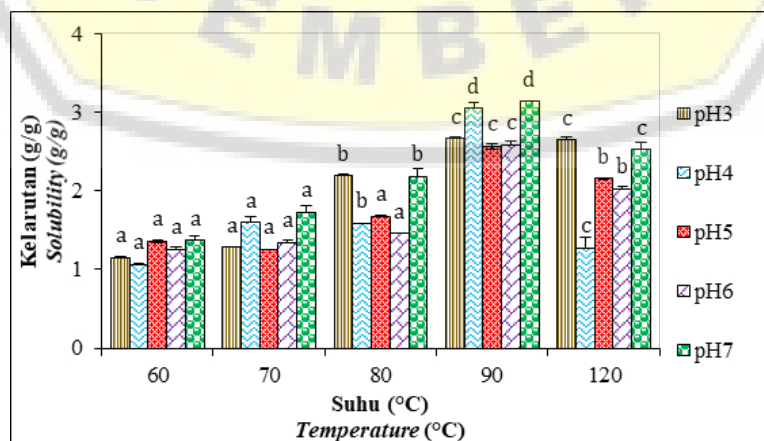
Demikian juga perlakuan pH menunjukkan adanya peningkatan terhadap *swelling power* pasta pati Mocaf dengan semakin meningkatnya nilai pH. Adanya perbedaan pH pada modifikasi oksidasi pati singkong menunjukkan pengaruh terhadap *swelling power* dimana semakin tinggi nilai pH maka *swelling power* juga

menunjukkan nilai yang tinggi<sup>26</sup>. Pada suhu di atas 100°C kompleks lipid-amilosa pecah oleh panas dan terdispersi, larut pada *soluble material* dan menurunkan daya kembang pati. Beberapa variasi pH (3-7), nilai *swelling power* Mocaf cenderung sama pada masing-masing perlakuan suhu (60-90°C). Hal tersebut menunjukkan bahwa Mocaf mempunyai kestabilan yang baik pada perlakuan pH. Daya kembang pada semua pati di daerah asam tidak dipengaruhi oleh pH<sup>16</sup>. Tetapi pada suhu 120°C, perlakuan pH menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan dan nilai *swelling power* menurun selama perlakuan asam (pH rendah) (Gambar 1). Hal ini terjadi karena selama perlakuan asam, ikatan hidrogen antara polimer pati yang berdekatan mengalami gangguan dan daerah amorf terkikis, menyebabkan *swelling power* lebih rendah. Didukung oleh Sun<sup>27</sup>, bahwa pengurangan *swelling power* dengan perlakuan asam adalah disebabkan karena terjeratnya kekentalan jaringan amilopektin di dalam daerah kristalin pati. Oleh karena itu, kombinasi perlakuan antara pH asam dan suhu (120°C) pada Mocaf menyebabkan penurunan *swelling power*.

#### Kelarutan

Kelarutan pati didapatkan dengan cara mengukur berat supernatan yang telah dikeringkan dari hasil pengukuran *swelling power*. Kelarutan pati merupakan jumlah molekul pati terlarut akibat amilosa *leaching* yang terdisosiasi dan berdifusi keluar dari granula pati selama pembengkakan<sup>17,28</sup>. Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa perlakuan suhu dan pH berpengaruh nyata terhadap kelarutan dan dapat dilihat pada Gambar 2.

Berdasarkan Gambar 2, dapat diketahui bahwa semakin tinggi suhu pemanasan dan pH maka semakin tinggi pula nilai kelarutannya. Kelarutan tertinggi pada Mocaf



Gambar 2. Kelarutan Mocaf dengan perbedaan perlakuan pH dan suhu  
Figure 2. Solubility of Mocaf with different pH and temperature treatment

dengan suhu pemanasan 90°C yakni dengan nilai 3,3138 g/g dan nilai terkecil kelarutan Mocaf pada suhu 60°C dan pH 3 dengan nilai 1,0680 g/g. Menurut Deka<sup>29</sup>, adanya perlakuan panas mengganggu ukuran granula Mocaf dan menyebabkan adanya interaksi antara amilopektin-amilosa terdisosiasi yang menyebabkan peningkatan amilosa yang meluruh sehingga meningkatkan kelarutan. Sedangkan pada suhu 120°C kelarutan pati Mocaf mengalami penurunan, yang merupakan batas suhu dimana pati pecah dan terbentuk kompleks dengan lipid atau protein sehingga menghambat kelarutan dan adanya interaksi yang kuat antara amilopektin-amilosa dan atau amilosa-amilosa<sup>18,17</sup>. Penurunan kelarutan pati dapat dihubungkan dengan penataan ulang internal granula pati yang memberikan interaksi yang lebih tinggi antara gugus fungsional pati, pembentukan kluster amilopektin yang lebih teratur, dan pembentukan kompleks amilosa-lipid di dalam granula pati<sup>30</sup>.

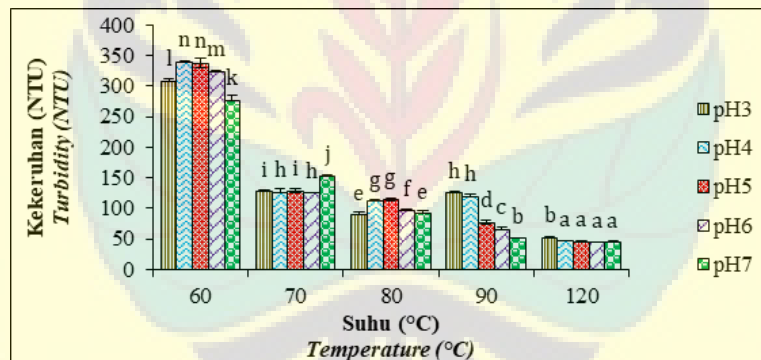
Adanya pH asam menyebabkan kelarutan semakin rendah pada suhu 60-70°C, dan fermentasi menyebabkan kelarutan turun<sup>31</sup>. Tetapi pada pH 3, kelarutan

meningkat pada suhu 80-120°C disebabkan karena adanya perbedaan struktur pati, dimana pati mengalami hidrolisis/pemecahan (selain karena pH juga karena meningkatnya suhu) menjadi senyawa yang bermolekul lebih rendah seperti desktrin dan lebih larut air. Perlakuan pH asam (1-2) kelarutan mengalami peningkatan dengan perlakuan hidrolisis asam<sup>27</sup>. Perlakuan hidrolisis asam meningkatkan derajat hidrolisis dari pati dan kemudian menghasilkan molekul kecil yang larut air pada pH tersebut.

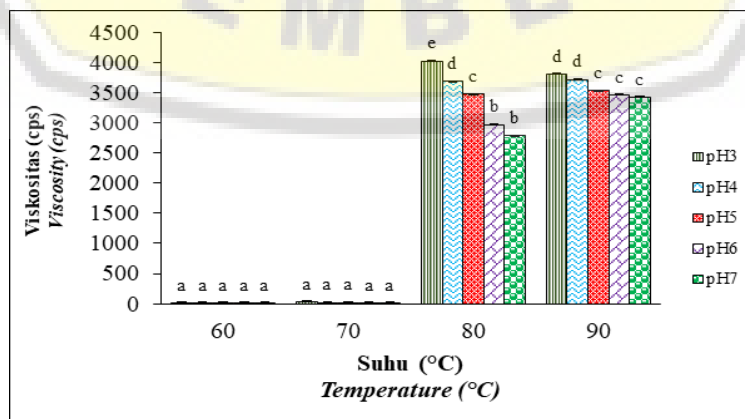
### Kekeruhan

Kekeruhan berbanding terbalik dengan transparansi pasta, dispersi solut dan kecenderungan retrogradasi pati. Kapasitas untuk mentransmisikan cahaya pada saat sinar cahaya melewati pasta sangat menentukan kejernihannya (*clarity*)<sup>19</sup>. Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa perlakuan pH dan suhu berpengaruh nyata terhadap kekeruhan pati dan dapat dilihat pada Gambar 3.

Berdasarkan gambar tersebut dapat diketahui bahwa semakin tinggi suhu pemanasan maka semakin rendah



Gambar 3. Kekeruhan Mocaf dengan perbedaan perlakuan pH dan suhu  
 Figure 3. Turbidity of Mocaf with different pH and temperature treatment



Gambar 4. Viskositas Mocaf dengan perbedaan perlakuan pH dan suhu  
 Figure 4. Viscosity of Mocaf with different pH and temperature treatment

nilai kekeruhannya yang berarti semakin tinggi nilai kejernihannya. Kekeruhan tertinggi pada Mocaf suhu pemanasan 60°C yakni dengan nilai kekeruhan 339 NTU (*Nephelometric Turbidity Unit*) dan kekeruhan terendah Mocaf pada suhu 120°C dengan nilai kekeruhan 43 NTU. Peningkatan penurunan nilai kekeruhan terjadi mulai suhu 70 hingga 120°C. Nilai laju kekeruhan pati dipengaruhi oleh suhu dan lama pemanasan, semakin tinggi suhu maka nilai kekeruhan semakin menurun<sup>18</sup>. Ketika suspensi pati dipanaskan dengan suhu tinggi, granula pati pecah dan terdispersi sehingga menyebabkan amilosa *leaching*. Rantai molekul amilosa pecah menjadi rantai yang lebih pendek pada suhu yang tinggi.

Menurut Noranizan<sup>19</sup>, kejernihan pasta dipengaruhi oleh penetrasi dan penyerapan air sehingga menyebabkan pengembangan granula yang dapat meningkatkan transmittan cahaya. Pasta yang paling jernih diperoleh dari perlakuan suhu pemanasan 120°C. Suspensi pati menunjukkan penurunan kekeruhan dengan peningkatan suhu. Hal ini disebabkan karena granula pati terbuka (rantai amilosa dan amilopektin larut/*leached*) pada suhu yang lebih tinggi sehingga dapat memantulkan atau menyebarkan sejumlah cahaya dalam jumlah yang lebih besar dan menjadi lebih transparan<sup>32</sup>. Sedangkan pada perlakuan pH, penurunan nilai kekeruhan suspensi Mocaf terjadi ketika nilai pH semakin meningkat.

Penurunan nilai kekeruhan ini dapat dikaitkan dengan deprotonasi gugus hidroksil pada pH semakin tinggi/basa ringan (*mild basic*) yang mengarah ke bentuk negatif alkoksi (R-O<sup>-</sup>)<sup>33,34</sup>. Pada pH 3, kekeruhan meningkat secara progresif dibandingkan pH 7 kemungkinan besar karena penetrasi air ke dalam granula dan pembengkakannya, sebagaimana melarutnya molekul pati linear dan cabang yang keluar. Interaksi antara rantai amilosa dan amilopektin yang larut dapat membentuk fungsi zona, yang mungkin memantulkan atau menyebarkan cahaya. Hal ini ditandai dengan meningkatnya karakter hidrofilik dan hidrolisis parsial dari pati pada pH lebih rendah menghasilkan disintegrasi di dalam granula<sup>35,36</sup>.

### Viskositas

Viskositas Mocaf diukur menggunakan alat Rapid Visco Analyzer (RVA) yang diekspresikan dalam bentuk Rapid Visco Units (RVU) yang ekuivalen dengan 10 cps (*centipoise*)<sup>37</sup>. Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa perlakuan pH dan suhu berbeda nyata pada taraf 5%. Hasil pengukuran viskositas pada Mocaf (Gambar 4), menunjukkan bahwa perlakuan suhu 60 dan 70°C

menghasilkan nilai viskositas yang sangat rendah yakni berkisar antara 13 sampai 33 cps.

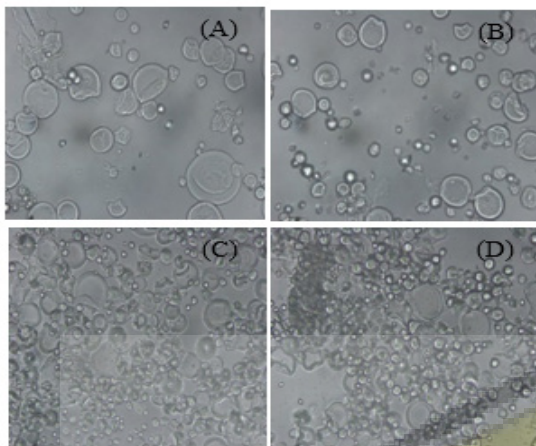
Hal tersebut diduga pada suhu 60 dan 70°C granula pati masih mulai menyerap air dan belum terjadi pembengkakan sehingga viskositasnya masih sangat rendah. Sedangkan pada suhu 80°C dan 90°C sudah mengalami peningkatan viskositas (2787,33-4028,00 cps dan 3427,67-3810,67 cps berturut-turut) yang menunjukkan granula pati mengalami pembengkakan maksimum.

Suspensi pati jika dipanaskan granulanya membengkak karena air terserap dan selanjutnya mengalami gelatinisasi dan menyebabkan terbentuknya pasta yang ditunjukkan dengan viskositas pasta yang meningkat<sup>31</sup>. Pembengkakan granula pati khususnya amilosa menyebabkan terjadinya peningkatan viskositas. Proses ini berlanjut terus hingga viskositas puncak pasta tercapai, kemudian viskositas menurun akibat gaya antar ikatan granula-granula pati yang telah mengembang dan tergelatinisasi menjadi berkurang oleh pemanasan yang tinggi dan pengadukan yang keras. Selain itu struktur granula pati juga pecah sehingga menyebabkan penurunan viskositas pasta serta stabilitas viskositas pasta rendah. Didukung oleh De Barros<sup>38</sup>, bahwa secara umum parameter pasta pati memberikan bukti bahwa adanya pemasakan pati selama siklus pemanasan dan pendinginan. Selama pemanasan, adanya keberadaan air yang berlebih pada granula pati mengalami fase transisi yang dikenal sebagai gelatinisasi pada kisaran suhu khas pati.

Perlakuan pH 3 menunjukkan viskositas yang semakin meningkat yaitu pada suhu 80 hingga 90, menjadikan pati terpecah menjadi amilosa-amilosa dan molekul air cenderung cepat mengikat dalam granula sehingga lebih banyak mengalami pembengkakan dan viskositas suspensi semakin meningkat. Perlakuan asam menyebabkan viskositas pati semakin meningkat dan viskositas nya menurun mulai pH 6 hingga 7<sup>39,27,40</sup>. Ini menunjukkan kerapuhan granula pati yang disebabkan karena rantai glukosa larut (*leached out*) dari granula pati tepung oat, menginduksi keterikatan rantai glukosa dan adanya kemungkinan karena percepatan hidrasi yang mengarah ke pembentukan celah radial pada granula pati (amilosa) bila dipanaskan sehingga granula pati semakin banyak yang mengalami pembengkakan dan menjadikan viskositas nya meningkat.

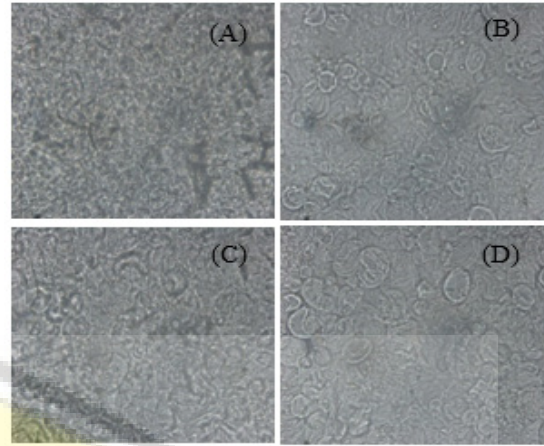
### Bentuk granula pati

Berdasarkan Gambar 5 hingga 9, dapat diketahui bahwa



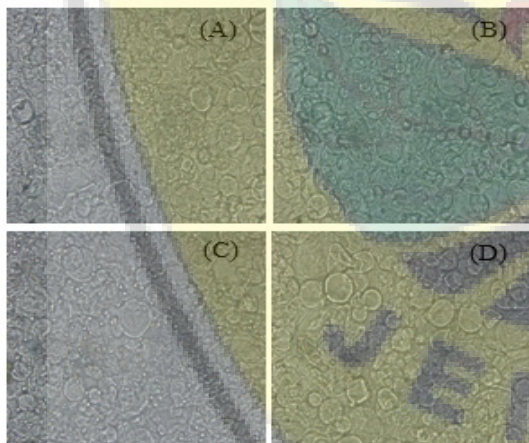
Gambar 5. Granula pati Mocaf akibat pemanasan suhu 60°C (Perbesaran 400x) ; (A) pH 3; (B) pH 4; (C) pH 5; (D) pH 6; (E) pH 7

Figure 5. Strach granule of Mocaf with temperature 60°C (magnifying 400x); (A) pH 3; (B) pH 4; (C) pH 5; (D) pH 6; (E) pH 7



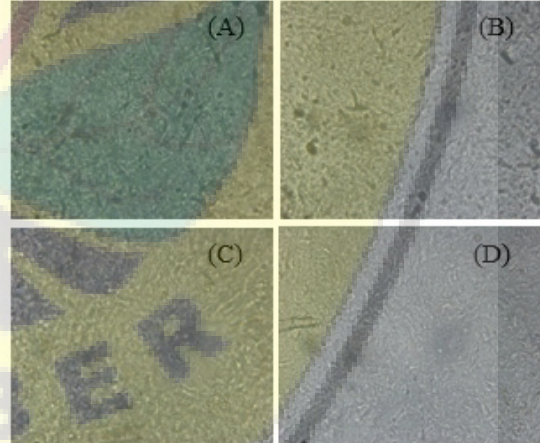
Gambar 7. Granula patia Mocaf akibat pemanasan suhu 80°C (Perbesaran 400x) ; (A) pH 3; (B) pH 4; (C) pH 5; (D) pH 6; (E) pH 7

Figure 7. Strach granule of Mocaf with temperature 60°C (magnifying 400x); (A) pH 3; (B) pH 4; (C) pH 5; (D) pH 6; (E) pH 7



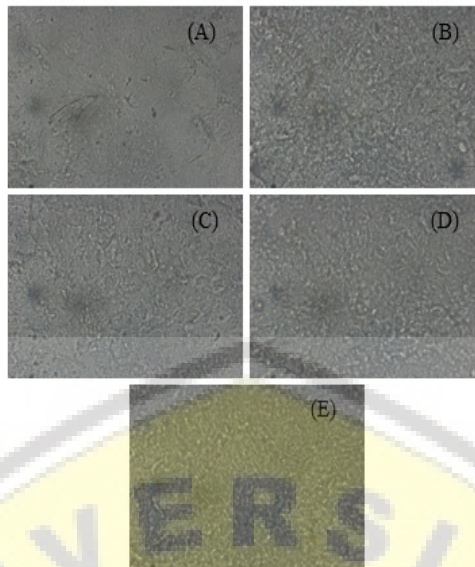
Gambar 6. Granula pati Mocaf akibat pemanasan suhu 70°C (Perbesaran 400x) ; (A) pH 3; (B) pH 4; (C) pH 5; (D) pH 6; (E) pH 7

Figure 6. Strach granule of Mocaf with temperature 70°C (magnifying 400x); (A) pH 3; (B) pH 4; (C) pH 5; (D) pH 6; (E) pH 7



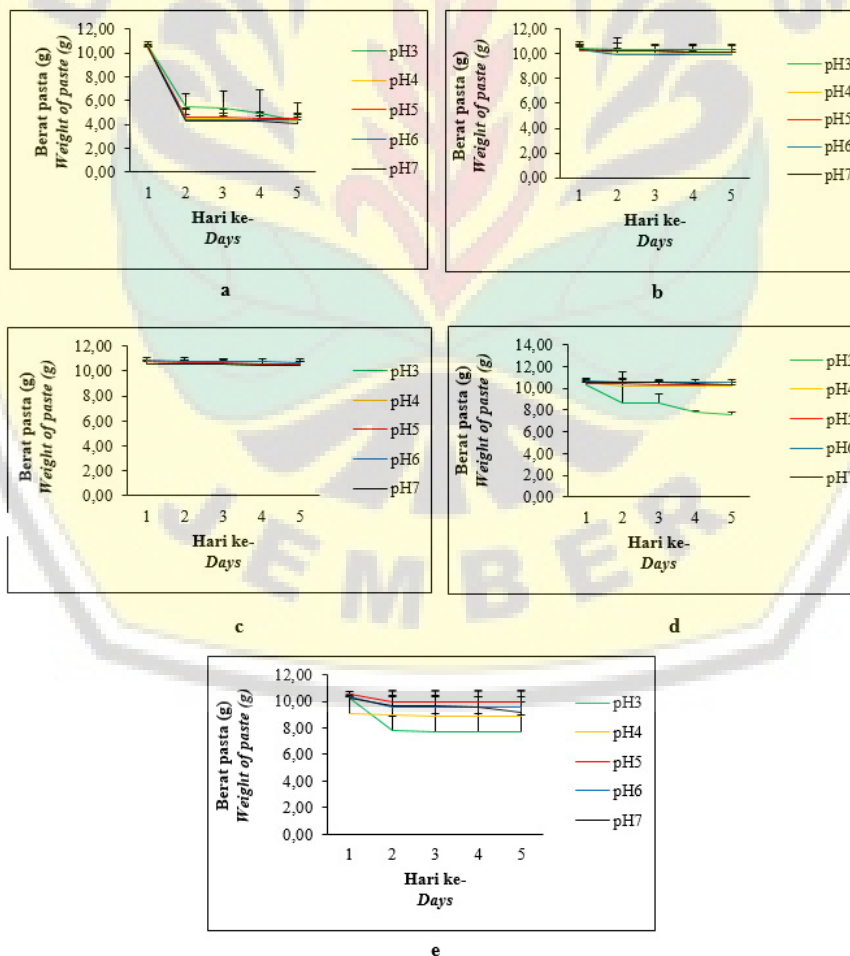
Gambar 8. Granula pati Mocaf akibat pemanasan suhu 90°C (Perbesaran 400x) ; (A) pH 3; (B) pH 4; (C) pH 5; (D) pH 6; (E) pH 7

Figure 8. Strach granule of Mocaf with temperature 60°C (magnifying 400x); (A) pH 3; (B) pH 4; (C) pH 5; (D) pH 6; (E) pH 7



Gambar 9. Granula pati Mocaflour akibat pemanasan suhu 120°C (Perbesaran 400x) ; (A) pH 3; (B) pH 4; (C) pH 5; (D) pH 6; (E) pH 7

Figure 9. Strach granule of Mocaflour with temperature 60°C (magnifying 400x); (A) pH 3; (B) pH 4; (C) pH 5; (D) pH 6; (E) pH 7



Gambar 10. Syneresis Mocaflour dengan perlakuan pH dan suhu (a) 60°C; (b) 70°C; (c) 80°C; (d) 90°C; (e) 120°C

Figure 10. Syneresis of Mocaflour with different pH and temperature treatment (a) 60°C; (b) 70°C; (c) 80°C; (d) 90°C; (e) 120°C



granula pati Mocaf memiliki bentuk bulat dan oval serta memiliki dinding yang bergerigi. Hal ini dikarenakan selama proses fermentasi terjadi kerusakan dinding sel Mocaf oleh enzim yang dihasilkan oleh bakteri asam laktat (BAL). Menurut Subagio<sup>4</sup>, liberasi granula pati terjadi akibat dinding sel ubi kayu rusak karena aktivitas mikroba yang terlibat saat proses fermentasi menghasilkan enzim selulolitik dan pektinolitik.

Secara umum dapat terlihat bahwa kerusakan granula pati terjadi saat suhu pemanasan 80°C hingga 90°C hal ini menunjukkan bahwa pada suhu pemanasan tersebut terjadi proses gelatinisasi pati. Gelatinisasi merupakan suatu fenomena granula pati mengalami pembengkakan akibat adanya air berlebih<sup>38</sup>. Suhu gelatinisasi tercapai pada saat pati pecah, yang dapat dilakukan dengan penambahan air panas. Suhu gelatinisasi bergantung pada konsentrasi pati, semakin kental larutan, maka semakin lambat pula suhu gelatinisasi tersebut tercapai, pada suhu tertentu kekentalan tidak bertambah, bahkan kadang-kadang turun.

Hal tersebut sesuai dengan Trung<sup>41</sup>, bahwa air akan menembus lapisan luar granula apabila suspensi pati dalam air dipanaskan, dan granula mulai mengembang (membengkak). Hal tersebut terjadi saat suhu meningkat dari 60-80°C. Granula pati dapat mengembang hingga volumenya lima kali lipat dari volume semula. Ketika ukuran granula pati membesar, campurannya menjadi kental. Granula pati pecah pada suhu kira-kira 80°C dan isinya terdispersi merata ke seluruh air di sekelilingnya. Molekul berantai panjang mulai membuka atau terurai dan campuran pati atau air menjadi semakin kental dan membentuk sol. Pada pendinginan, bila perbandingan pati dan air cukup besar, molekul pati membentuk jaringan dengan molekul air terkurung di dalamnya sehingga membentuk gel (Gambar 8. dan 9.). Adanya pemanasan pada suhu 100°C menyebabkan hanya 60% amilosa larut melalui celah-celah<sup>42,43,18</sup>. Pada pemanasan suhu 120°C pada semua perlakuan pH, amilosa larut lebih dari 90% dari total amilosa sehingga kenampakan granula pati pada Gambar 9 menyebabkan tingkat dispersi dan pelarutan pati menjadi lebih tinggi menghasilkan *leaching* amilosa yang lebih tinggi sehingga butiran-butiran pati sudah agak tidak jelas/tampak karena pati sudah melarut.

Apabila ditinjau dari perlakuan pH, terdapat perbedaan ukuran granula pada masing-masing perlakuan pH. Pada pH 3 ukuran granula pati lebih besar jika dibandingkan dengan perlakuan pH 7. Hal ini dikarenakan penambahan asam hingga pH 3 dapat memecah (hidrolisis) polimer

pati secara acak sehingga struktur granula pati terutama amilosa meregang (karena asam mampu menyerang permukaan) dan menyebabkan keretakan/pemecahan granula pati menjadi amilosa dan dengan mudah molekul air masuk menembus ke celah-celah pori-pori pada permukaan granula yang memungkinkan akses langsung air masuk ke dalam interior granula (terjadi penggabungan antar ikatan hidrogen dari molekul air dengan gugus hidroksil dari amilosa) sehingga terjadi pembengkakan yang lebih besar (menyebabkan peningkatan pembengkakan granula) pada butiran amilosa tersebut sehingga terlihat bentuk granula yang lebih besar<sup>44</sup>.

### Sineresis

Sineresis merupakan stabilitas beku cair (*freeze thaw stability*) pasta pati<sup>45</sup>. Menurut Winarno<sup>46</sup>, pada pati yang dipanaskan dan telah dingin kembali, sebagian air masih berada di bagian granula yang membengkak, air berikatan erat dengan molekul-molekul pati pada permukaan butir-butir pati yang membengkak. Sebagian air pada pasta yang telah dimasak berada dalam rongga-rongga jaringan yang terbentuk dari butir pati dan endapan amilosa. Bila gel tersebut disimpan selama beberapa hari pada suhu rendah, air dapat keluar dari bahan. Pada penyimpanan suhu rendah, kristalinitas pati terbentuk tidak sempurna karena pati memiliki suhu peleburan yang lebih rendah dibandingkan pembentukannya pada suhu yang lebih tinggi<sup>47</sup>.

Berdasarkan Gambar 10, perlakuan pemanasan 60°C terjadi pelepasan air yang cukup tinggi dikarenakan pati belum tergelatinisasi sehingga pati masih belum membentuk pasta. Perlakuan suhu dengan semakin meningkat menyebabkan sineresis menurun. Adanya pemanasan menyebabkan molekul air terikat dan terperangkap dalam struktur kristal amilosa dan amilopektin sehingga molekul air terperangkap di dalam matriks gel pati dan susah untuk keluar. Hal ini sejalan dengan Subroto<sup>48</sup>, pengaruh panas terhadap sineresis pati kentang menurun dengan meningkatnya suhu.

Sineresis yang tinggi terhadap degradasi parsial konstituen makromolekul pati selama hidrolisis asam juga terjadi pada modifikasi pati menggunakan potassium permanganate<sup>49</sup>. Adanya fragmentasi rantai pati selama perlakuan kimia dapat diasosiasikan dengan liberasi/pembebasan air yang lebih tinggi berdasarkan re-asosiasi molekul yang lebih intensif<sup>50</sup>. Sedangkan pada perlakuan pH, menunjukkan nilai sineresis yang konstan baik pada perlakuan suhu 70, 80, 90 dan 120°C,

terjadi penurunan berat pasta pada masing-masing hari tetapi tidak menunjukkan signifikansi. Hal tersebut menunjukkan bahwa daya ikat pati terhadap air stabil pada proses penyimpanan. Sejalan dengan penelitian Amani<sup>51</sup>, adanya modifikasi pada pati menunjukkan nilai sineresisnya cenderung konstan.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Perlakuan suhu tinggi (60-90°C) dan pH tinggi dapat meningkatkan *swelling power* dan kelarutan Mocaf tetapi pada suhu 120 °C *swelling power* dan kelarutan mengalami penurunan. Kekeuhan menurun dengan meningkatnya suhu, sedangkan viskositas meningkat dengan meningkatnya suhu (80-90°C) tetapi turun dengan pH rendah. Pada sineresis cenderung konstan pada perlakuan berbagai pH dan suhu (70-120°C) tetapi menurun pada suhu 60°C.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada LPDP pemberi dana dengan No. PRJ1964/LPDP/2014.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Leite TD, JF Nicoleti, ALB Penna, Franco CML. Effect of addition of different hydrocolloids on pasting, thermal, and rheological properties of cassava starch. 2012. *Cienc. Technol. Aliment Campinas* 32(3); 579-587.
2. Senanayake S, A Gunaratne, KKDS Ranaweera, A Bamunuarachchi. Effect of hydroxypropylation on functional properties of different cultivars of sweet potato starch in sri lanka. 2014. *Intern. J. of Food Science* 2014; 1-8.
3. Hoover R. The impact of heat-moisture treatment on molecular structures and properties of starches isolated from different botanical sources. 2010. *Critical Reviews in Food Sci. and Nutri* 50; 835-847.
4. Subagio A, Windrati WS, Y Witono dan Fahmi F. *Produksi operasi standar (POS): produksi mocaf berbasis klaster*. 2008. Jakarta: Kementerian Riset dan Teknologi.
5. Diniyah N, Giyarto, A Subagio, dan Akhiriani RA. Penggunaan umur simpan “beras cerdas” berbasis mocaf, tepung jagung menggunakan metode accelerated shelf-life testing (ASLT) pendekatan arrhenius. 2015. *Warta IHP* 32(1); 1-8.
6. Anwar MA, WS Windrati, dan N Diniyah. Karakterisasi tepung bumbu berbasis MOCAF (modified cassava flour) dengan penambahan maizena dan tepung beras. 2016. *J. Agroteknologi* 10(2); 167-179.
7. Diniyah N, L Firdaus, WS Windrati, A Nafi', A Prasetyo, dan A Subagio. Indeks glikemik beras analog dari mocaf dengan substitusi jagung, ubi jalar ungu dan wortel. 2016. *Warta IHP* 33(2); 66-73.
8. Diniyah N, A Puspitasari, A Nafi', A Subagio. Characteristic of analog rice using hot extruder twin screw. 2016. *J. Penelitian Pascapanen Pertanian* 13 (1); 36-42.
9. Diniyah N, D Setiawati, WS Windrati, dan A Subagio. Karakterisasi mi mojang (mocaf-jagung) dengan perbedaan jenis dan konsentrasi bahan pengikat. 2017. *J. Penelitian Pascapanen Pertanian* 12(2); 98-107.
10. Diniyah N, A Subagio, ENL Sari, N Yuwana. Sifat fisikokimia, dan fungsional pati dari mocaf (modified cassava flour) varietas kaspro dan cimanggu. 2018. *J. Penelitian Pascapanen Pertanian* 15(2); 80-90.
11. Diniyah N, A Subagio, RNL Sari, PG Vindy, AA Rofiah. Effect of fermentation time and cassava varieties on water content and the yield of starch from modified cassava flour (mocaf). 2018. *Indonesian J. of Pharmaceutical Science and Technology* 5(2); 71-75.
12. Yu H, Cao Y, Fang Q, Liu Z. Effects of treatment temperature on properties of starch-based adhesives. 2015. *BioResources* 10(2); 3520-3530.
13. Zuo YF, Gu JY, Zhang YH, Tan HY. Effect of acid hydrolysis of temperature and time on properties of corn starch. 2012. *J. of Southwest Forestry University* 32(5); 107-110.
14. Hoover R. Acid-treated starched. 2000. *Food Review International* 16 (3); 369-392
15. Han JA, Lim ST. Structural changes in corn starches during alkaline dissolution by vortexing. 2004. *Carbohydrate Polymers* 55; 193-199.
16. Zhang X, Li M, Xiang T. Genetic modification of MEOR bacterium bacillus licheniformis h strain by low energy ion beam irradiation. 2010. *Open Biotechnol J* 4; 14-17.
17. Klein B, VZ Pinto, NL Vanier, E da Rosa Zavareze, R Colussi, JA do Evangelho, LC Gutkoski, ARG Dias. Effect of single and dual heat-moisture treatments on properties of rice, cassava, and pinhao starches. 2013. *Carbohydrate polymers* 98; 1578-1584.
18. Noranizan MA, MH Dzulkiffy, AR Russly. Effect of heat treatment on the physico-chemical properties of starch from different botanical sources. 2010. *Intern. Food Research J* 17; 127-135.
19. Torres DR, WM Arango, HAV Herrera, JFS Duque. Thermal and physicochemical properties of starches from three Colombian rice varieties. 2017. *Agronomia Colombina* 35(1); 116-124.
20. Arns B, J Bartz, M Radunz, JA do Evangelho, VZ Pinto, E da Rosa Zavareze, ARG Dias. Impact of heat-moisture treatment on rice starch, applied directly in grain paddy rice or in isolated starch. 2015. *Food Sci. and Technol* 60; 708-713.

21. Immaningsih N. Profil gelatinisasi beberapa formulasi tepung-tepungan untuk pendugaan sifat pemasakan. 2012. Panel Gizi Makan 35(1); 13-22.
22. Zavareze E da Rosa, CR Storck, LAS de Castro, MA Schirmer, ARG Dias. Effect of heat-moisture treatment on rice starch of varying amylose content. 2010. Food Chemistry 121(2); 358-365.
23. Man J, L Lin, Z Wang, Y Wang, Q Liu, C Wei. Different structures of heterogeneous starch granules from high amylose rice. 2014. J. of Agri. And Food Chem 62; 11254-11263.
24. Dudu OE, AB Oyedeji, SA Oyeyinka, Y Ma. Impact of steam-heat-moisture treatment on structural and functional properties of cassava flour and starch. 2019. Intern. J. of Biological Macromolecules 126; 1056-1064.
25. Hung PV, NTH My, NTL Phi. Impact of acid and heat-moisture treatment combination on physicochemical characteristics and resistant starch contents of sweet potato and yam starches. 2014. Starch/Starke 66(11-12).
26. Pudjihastuti I, N Handayani, S Sumardiono. Effect of pH on physicochemical properties of cassava starch modification using ozone. 2017. MATEC Web of Conference 156; 1-4.
27. Sun Q, Zhu X, Si F, Xiong L. Effect of acid hydrolysis combined with heat moisture treatment on structure and physicochemical properties of corn starch. 2013. Journal Food Science and Technology 52; 375-382.
28. Rafiq SI, Jan K, Singh S, Saxena D. Physicochemical, pasting, rheological, thermal and morphological properties of horse chestnut starch. 2015. J. of Food Science and Technology 52(9); 561-565.
29. Deka D & N Sit. Dual modification of taro starch by microwave and other heat moisture treatments. 2016. Int. J. Biol. Macromol 92; 416-422.
30. Zavareze ER, & Dias ARG. Impact of heat-moisture treatment and annealing in starch: A review. 2011. Carbohydrate Polymers 83; 317-328.
31. Yuliana N, S Nurdjanah, R Sugiharto, D Amethy. Effect of spontaneous lactic acid fermentation on physico-chemical properties of sweet potato flour. 2014. Microbiology 8(1); 1-8.
32. Yu S, Y Ma, L, Menager, D Sun. Physicochemical properties of starch and flour from different rice cultivars. 2012. Food Bioprocess Technol 5(2); 626-637.
33. Shogren RI RVG & YV Wu. Complexes of starch polysaccharides and poly (ethylene co-acrylic acid): structure and stability in solution. 1991. Journal of Applied Polymer Science. 42; 1701-1709.
34. Eltaboni F, A Imragaa, K Edbey, K Elabdily, N Mousa. Adsorption and conformations of starch at solid-liquid interfaces using spectrophotometry and turbidity techniques. 2015. American Chemical Sciences Journal 9; 1-11.
35. Jivan MJ, M Yarmand, A Madadlou. Preparation of cold water-soluble potato starch and its characterization. 2014. J. Food Sci. Technol 51(3); 601-605.
36. Alam F, Hasnain A. Studies on swelling and solubility of modified starch from Taro (*Colocasia esculenta*): effect of pH and temperature. 2009. Agric. Conspec. Sci 74; 45-50.
37. Danbaba N, MN Ugwungwu, AT Maji, SA Ndindeng, AG Jiya, S Danfulani, EN Onyeneke. End-use quality of upland NERICA rice (*Oryza sativa* L) as affected by the addition of sweet cassava (low cyanide, *Manihot esculenta*) flour. 2014. Int. J. of Agri. and Foresty 4(3); 237-245.
38. De Barros Mesquita C, Leonel M, Franco CML, Leonel S, Garcia EL, & dos Santos TPR. Characterization of banana starches obtained from cultivars grown in Brazil. 2016. International J. of Biological Macromolecules 89; 632-639.
39. Rodriguez-Sosa EJ, Parsi-Ros O, Gonzalez MA. Effect of pH on pasting properties of habanero (*Dioscorea rotundata*) yam starch. 1980. Journal of Agriculture of University of Puerto Rico 29; 154-159.
40. Zarzycki P, Sobota A. Effect of pH on apparent viscosity of wholemeal oat flour water dispersions. 2014. International Journal of Food Properties 18;303-315.
41. Trung PTB, LBB Ngoc, PN Hoa, NNT Tien. Impact of heat-moisture and annealing treatments on physicochemical properties and digestibility of starches from different colored sweet potato varieties. 2017. Intern. J. of Biological Macromolecules 105; 1071-1078.
42. Lee CJ, SI Shin, Y Kimi, HJ Choi, WM Tae. Structural characteristics and glucose response in mice of potato starch modified by hydrothermal treatments. 2011. Carbohydr. Polym 83; 1879-1886.
43. Udagawa E, Matsuda H, M Tanaka, T Shirai. Effect of heat-acid treatment on the formation of resistant starch and the estimated glycemic index in potatoes. 2017. J. Appl. Glycoseci 64; 75-80
44. Olayinka OO, Adebowale KO, Olu-Owolabi IB. Physicochemical properties, morphological and x-ray pattern of chemically modified white sorghum starch. 2011. Journal Food Science and Technology 50; 70-77.
45. Haryanti P, R Setyawati, R Wicaksono. Pengaruh suhu dan lama pemanasan suspensi pati serta konsentrasi butanol terhadap karakteristik fisikokimia pati tinggi amilosa dari tapioca. 2014. Agritech 34(3); 308-315.
46. Winarno FG. Kimia Pangan dan Gizi. 2004. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
47. Gudmundsson M. Retrogradation of starch and role of its components. 1994. Thermochemica Acta 246(2); 329-341.
48. Subroto E, Indiarso R, Marta H, Shalijaj S. Effect of heat-moisture treatment on functional and pasting properties of potato (*Solanum tuberosum* L. var. Granola) starch. 2019. Food Research 3; 469-476.

49. Takizawa FF, da Silva G de O, Konkel FE, Demiate IM. Characterization os tropical starches modified with potassium permanganate and lactic acid. 2004. Brazilian Archives of Biology and Technology 47; 921-931.
50. Thys RCS, Aires AG, Marczak LDF, Norena CPZ. The effect of acid hydrolysis on the technological functional properties of pinhao (*Araucaria brasiliensis*) starch. 2013. Cienc Technol. Aliment Campinas 33; 89-94
51. Amani NG, Tetchi FA, Dufour D, Kamenan A. A comparative study of the syneresis of yam starches and other modified starches. 2002. The J. of Food Tech. in Africa 7(1); 4-8.

