

Artikel Penelitian

Sifat Fungsional dan Amilografi Pati Millet Putih (*Pennisetum glaucum*) Termodifikasi secara *Heat Moisture Treatment* dan *Annealing*

Functional and Amylographic Properties of Modified Millet Starch (Pennisetum glaucum) by Heat Moisture Treatment and Annealing

Herlina Marta, Marsetio, Yana Cahyana, Arum Galih Pertiwi

Korespondensi dengan penulis (herlina.marta@unpad.ac.id)

Departemen Teknologi Industri Pangan, Fakultas Teknologi Industri Pertanian, Universitas Padjadjaran

Artikel ini dikirim pada tanggal 30 April 2016 dan dinyatakan diterima tanggal 16 Juni 2016. Artikel ini juga dipublikasi secara online melalui www.jatp.ift.or.id. Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang diperbanyak untuk tujuan komersial.

Diproduksi oleh Indonesian Food Technologists ©2016

Abstrak

Pati millet putih alami mempunyai beberapa kendala jika dipakai sebagai bahan baku dalam industri pangan, yaitu pati alami tidak tahan pada pemanasan suhu tinggi dan tidak tahan pada proses mekanis, sehingga kurang cocok untuk diaplikasikan pada produk yang memerlukan proses pemanasan tinggi seperti saus. Oleh karena itu, perlu dilakukan modifikasi pati untuk memperbaiki sifat pati alami tersebut. Modifikasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah modifikasi secara *Heat Moisture Treatment* (HMT) dan *annealing*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perbedaan sifat fungsional dan amilografi pati millet putih alami dengan pati millet putih yang termodifikasi secara HMT dan *annealing*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa modifikasi HMT dan *annealing* dapat memperbaiki sifat pati alami tersebut, yaitu meningkatkan ketahanan terhadap panas dan proses mekanis. Berdasarkan grafik amilogram, pati termodifikasi HMT memiliki pola viskositas tipe B sehingga cocok diaplikasikan untuk produk saus dan pati termodifikasi *annealing* memiliki pola viskositas tipe A sehingga cocok diaplikasikan untuk produk roti. Modifikasi HMT menyebabkan terjadinya penurunan *swelling volume*, *freeze thaw stability*, kekuatan gel, derajat putih, kadar air, viskositas puncak, viskositas pasta panas, viskositas *breakdown*, viskositas pasta dingin, dan viskositas *setback* pati millet putih alami serta peningkatan kelarutan, kapasitas penyerapan air, DE, dan suhu awal gelatinisasi pati millet putih alami, sedangkan modifikasi *annealing* menyebabkan terjadinya penurunan *swelling volume*, *freeze thaw stability*, kadar air, viskositas puncak, viskositas pasta panas, viskositas pasta dingin, dan viskositas *setback* pati millet putih serta peningkatan kelarutan, kapasitas penyerapan air, kekuatan gel, derajat putih, DE, suhu awal gelatinisasi, dan viskositas *breakdown* pati millet putih.

Kata kunci: *patimillet*, *Heat Moisture Treatment (HMT)*, *annealing*, *fungsional*, *amilografi*

Abstract

Native millet starch has several problems when used as raw materials in the food industry, which is native millet starch can not stand on the high temperature heating and can not stand on the mechanical process, so that it doesn't suitable for products that require high heating process such as sauces. Therefore, native starch had to modified to improve the properties of the native starch. Modifications that used in this study were Heat Moisture Treatment (HMT) and annealing. The aim of this study was to determine the differences of functional and amylograph properties of native millet starch with HMT and annealing millet starch. Results from this research was HMT and annealing modification can improve the properties of the native starch, which increase resistance in thermal and mechanical process. Based on the amylogram graph, HMT starch has a type B pattern that properly used for sauces and annealing starch has a type A pattern that properly used for bakery products. HMT modification cause decrease in swelling volume, freeze thaw stability, gel strength, whiteness, water content, peak viscosity, hold viscosity, breakdown viscosity, final viscosity, and setback viscosity of native millet starch, and also increase in solubility, water absorption capacity, DE, and gelatinization temperature of native millet starch, while the annealing modification cause decrease in swelling volume, freeze thaw stability, moisture content, viscosity peak, hold viscosity, final viscosity and setback viscosity of native millet starch and increase in solubility, water absorption capacity, gel strength, whiteness, DE, gelatinization temperature and breakdown viscosity of native millet starch.

Keywords: *millet starch*, *Heat Moisture Treatment (HMT)*, *annealing*, *functional*, *amylograph*.

Pendahuluan

Salah satu jenis sereal yang dapat dijadikan sumber pati adalah millet putih. Selama ini, pemanfaatan millet masih kurang dikarenakan millet biasanya hanya dimanfaatkan sebagai pakan burung. Hal tersebut disebabkan karena kurangnya referensi serta pengetahuan masyarakat tentang karakteristik serta kandungan didalam biji millet sehingga menyulitkan masyarakat untuk mengolah millet menjadi

bahan pangan, dimana millet tersebut juga memiliki potensi untuk dikembangkan menjadi produk pangan karena millet memiliki kandungan gizi yang hampir sama dengan padi, jagung, dan gandum. Oleh karena itu, perlu dikaji lebih lanjut tentang pemanfaatan millet agar dapat meningkatkan nilai jual millet tersebut.

Millet adalah sejenis sereal berbiji kecil yang pernah menjadi makanan pokok masyarakat Asia Timur dan Tenggara sebelum mereka bercocok tanam

tumbuhan serealia lainnya. Millet termasuk tanaman ekonomi minor namun memiliki nilai kandungan gizi yang mirip dengan tanaman pangan lainnya seperti padi, jagung, gandum, dan tanaman biji-bijian yang lain karena tanaman millet tergolong ke dalam jenis tanaman biji-bijian (Marlin, 2009). Tanaman millet di Indonesia tersebar diseluruh wilayah Indonesia seperti pulau Buru, Jember, dan di Sulawesi Selatan seperti Enrekang, Sidrap, Maros, Majene serta daerah lainnya (Marlin, 2009).

Millet yang dipakai pada penelitian ini adalah millet putih yang merupakan jenis *pearl* millet dengan kandungan pati sebesar 71,6% (Abate dan Gomez, 1984). Pemilihan jenis millet ini dikarenakan *pearl* millet memiliki potensi tertinggi dibandingkan jenis millet lainnya berdasarkan karakteristik atau sifatnya untuk dieksploitasi secara komersil. Selain itu, millet putih juga mudah ditemukan dipasaran karena biasa digunakan sebagai pakan burung sehingga untuk ketersediaan bahan baku dapat terjamin.

Dilihat dari kandungan patinya yang cukup tinggi, millet putih memiliki potensi untuk lebih dapat dikembangkan dalam pangan. Aplikasi pati dalam pangan selain sebagai komponen nutrisi, juga sebagai penentu karakteristik suatu produk, namun, pati dalam bentuk alami tidak dapat diaplikasikan untuk semua tipe pengolahan (Taggart, 2004 di dalam Elliason, 2004). Karakteristik pati millet putih alami telah diuji sebelumnya oleh Bhupender *et al.* (2013) dan Beileia *et al.* (1980).

Pati millet putih alami memiliki keterbatasan seperti pati alami lainnya yaitu tidak tahan terhadap pemanasan suhu tinggi dan proses mekanis. Oleh karena itu, perlu dilakukan modifikasi pati untuk memperbaiki sifat pati alami tersebut. Teknik modifikasi yang digunakan pada penelitian ini adalah modifikasi secara fisik, yaitu dengan menggunakan metode *Heat Moisture Treatment* (HMT) dan metode *annealing*.

Heat Moisture Treatment (HMT) adalah proses pemanasan pati pada suhu tinggi di atas suhu gelatinisasi dalam kondisi semi kering, yaitu tingkat kadar air yang lebih rendah dari kondisi yang disyaratkan untuk terjadinya proses gelatinisasi. Kadar air yang disyaratkan untuk proses HMT adalah 18-30% (Lorenz dan Kulp, 1981). Menurut Olayinka (2008), metode HMT adalah proses pemanasan pati pada suhu tinggi (diatas suhu gelatinasi) dengan kandungan air terbatas (11 – 28%) pada waktu yang lama (sampai 16 jam). Secara umum dilaporkan bahwa HMT menurunkan viskositas puncak, menurunkan viskositas *breakdown*, meningkatkan suhu gelatinisasi, dan menurunkan kapasitas pembengkakan granula pati (Pukkahuta *et al.*, 2008 dan Vermeylen *et al.*, 2006).

Modifikasi pati *annealing* merupakan perlakuan fisik terhadap granula pati dengan air berlebih (>65% w/w) atau air sedang (40-55% w/w) pada suhu dibawah suhu gelatinisasi pada waktu yang telah ditentukan (Hoover dan Vasanthan, 1994). Modifikasi pati menggunakan metode *annealing* dilaporkan dapat menurunkan *swelling power* dan kelarutan pati, dan menghambat gelatinisasi (Siswoyo dan Morita, 2010).

Berdasarkan uraian tersebut maka perlu dikaji informasi mengenai pengaruh modifikasi pati secara HMT dan *annealing* terhadap sifat fungsional dan amilografi pati millet putih alami.

Materi dan Metode

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah millet putih yang diperoleh di Sukajadi, Bandung; akuades, dan air bersih. Bahan yang digunakan untuk analisis adalah akuades, BaSO₄, larutan luffschool, batu didih, H₂SO₄, KI 20%, Na₂S₂O₃, dan amilum.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah oven, refrigerator, RVA (*Rapid Visco Analyzer starch master 2 parten warriewood NSW 2012 Australia*, *Kett Electric Laboratory C-100-3 Whiteness meter*, desikator, blender, *grinder*, ayakan 100 mesh, baskom, neraca analitik, *sealer*, pisau *stainless steel*, loyang, kain saring, *stopwatch*, gelas ukur, timbangan, talenan, erlenmeyer joint, reflux, vortex, *sentrifuse*, tabung *sentrifuse*, *vortex mixer*, spatula, gunting, sendok, *aluminium foil*, *waterbath*, dan plastik *propylene*.

Metode

Penelitian dilakukan dengan metode eksperimental yang bersifat deskriptif untuk pati millet putih alami dan metode eksperimental yang bersifat deskriptif serta dilanjutkan dengan uji beda (uji t) untuk pati millet putih termodifikasi HMT dan *annealing*. Pemilihan metode ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan sifat fungsional dan amilografi antara pati millet putih termodifikasi HMT dan *annealing*. Pada penelitian ini, tidak dilakukan uji beda (uji t) untuk pati millet putih alami karena pada proses pembuatan pati millet putih alami tidak dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali. Perlakuan pada penelitian ini terdiri dari modifikasi HMT dan *annealing* dengan 3 kali ulangan untuk masing-masing perlakuan. Data tersebut lalu diolah secara statistik menggunakan uji beda (uji t) pada tingkat kepercayaan 95% (p<0,05).

Uji beda (uji t) yang digunakan merupakan uji beda dua rata-rata berpasangan (*paired observation*) dimana dikatakan berpasangan antara variabel X₁ dan X₂. Antara X₁ dan X₂ tidak bisa dipisahkan antara satu dengan lainnya. Variabel X₁ dan X₂ yang dimaksud yaitu X₁ adalah pati millet putih termodifikasi HMT, dan X₂ adalah pati millet putih termodifikasi *annealing*.

Penelitian ini dilaksanakan dalam dua tahap penelitian. Penelitian tahap I dilakukan untuk mempelajari cara pembuatan pati millet putih alami dan melakukan pengujian sifat fungsional dan sifat amilografi pada pati millet putih alami. Tahapan penelitian adalah dimulai dari penyortiran yang bertujuan untuk memisahkan bahan baku dari bahan yang telah rusak, pecah, atau busuk pada biji dan juga menghilangkan pasir, kotoran, dan debu yang ada pada bahan. Tahap pencucian dilakukan untuk menghilangkan kotoran yang masih melekat pada millet putih. Tahap penghancuran dilakukan secara basah dengan cara menambahkan air 1:2 (1 kg biji millet putih ditambah 2 liter air). Penambahan air bertujuan untuk

memudahkan penghancuran. Penghancuran dilakukan dengan menggunakan blender. Tahapan selanjutnya adalah penyaringan yang bertujuan untuk memisahkan fraksi pati dengan ampas dengan menggunakan kain saring.

Pengendapan

Pengendapan pati bertujuan untuk memisahkan fraksi pati dengan komponen lain yang tidak diinginkan. Pengendapan dilakukan selama 24 jam.

Pencucian Pati

Pencucian pati bertujuan untuk memisahkan komponen pati dengan kotoran-kotoran yang masih melekat pada pati. Pencucian dilakukan dengan bantuan air bersih. Jumlah pencucian yang dilakukan yaitu sebanyak dua kali pencucian.

Pengeringan

Pengeringan bertujuan untuk mengeluarkan atau mengurangi sebagian air dari suatu bahan. Pengeringan dilakukan dengan menggunakan oven pada suhu 50°C selama 24 jam.

Penggilingan

Penggilingan bertujuan untuk mengecilkan ukuran pati yang masih menggumpal setelah dikeringkan hingga berbentuk partikel-partikel halus. Penggilingan dilakukan dengan menggunakan *grinder* selama 1 menit.

Pengayakan

Pengayakan bertujuan untuk menyeragamkan ukuran pati sesuai dengan yang diinginkan dan memisahkan kotoran atau debu yang mungkin masih terdapat pada pati. Pengayakan dilakukan dengan menggunakan ayakan berukuran 100 mesh.

Penelitian tahap II dilakukan untuk mengkaji pengaruh modifikasi HMT dan *annealing* terhadap sifat fungsional dan amilografi pati millet putih.

Heat Moisture Treatment (HMT)

Pengaturan Kadar Air

Pati millet putih dilakukan pengaturan kadar air yang diawali dengan pengukuran kadar air pati sebelum diberi perlakuan. Setelah kadar air awal pati diketahui, pati diberi akuades dengan cara disemprot sambil diaduk dengan menggunakan sendok sebagai pengaduk. Penambahan akuades dilakukan hingga mencapai kadar air 25% ± 1. Setelah penambahan akuades, dilakukan pengukuran kadar air menggunakan *Grain Moisture Meter* untuk memastikan kadar air pati yang diinginkan tercapai.

Penyeimbangan Kadar Air dalam Refrigerator

Pati dibungkus dalam *aluminium foil* kemudian ditempatkan dalam loyang. Pati didinginkan dalam *refrigerator* pada suhu 4-5°C selama semalam untuk menyeimbangan kadar air.

Pemanasan

Pati dikemas dengan *aluminium foil* tertutup rapat yang bertujuan untuk menjaga kadar air 25% ± 1. Pemanasan dilakukan pada suhu 110°C selama 16 jam untuk proses modifikasi *Heat Moisture Treatment* (HMT). Pemanasan dilakukan dengan menggunakan oven cabinet dan menggunakan loyang yang ditutup dengan *aluminium foil*.

Pengeringan

Pati yang telah diberi perlakuan pemanasan selanjutnya dibuka untuk dikeringkan. Pengeringan bertujuan untuk mengurangi kadar air yang terdapat pada pati dan dilakukan pada suhu 50°C selama 4 jam. Pengeringan dilakukan dengan menggunakan oven cabinet.

Penggilingan

Pati yang telah dikeringkan selanjutnya digiling untuk memperkecil ukuran dan mempermudah proses pengayakan. Proses penggilingan dilakukan dengan menggunakan *grinder*.

Pengayakan

Pati yang telah digiling kemudian diayak dengan menggunakan pengayak 100 mesh.

Annealing

Pembuatan suspensi pati dilakukan dengan menambahkan akuades sehingga mencapai perbandingan 1:4 antara pati dengan air yang digunakan. Selanjutnya proses pemanasan yang dilakukan pada suhu 50°C selama 24 jam untuk proses modifikasi *annealing*. Pemanasan dilakukan dengan menggunakan *water bath* yang dilanjutkan dengan sentrifugasi guna memisahkan air dengan endapan pati pada larutan pati. Selanjutnya dilakukan proses yang bertujuan untuk mengurangi kadar air yang terdapat pada pati dan dilakukan pada suhu 50°C selama 6 jam. Penggilingan selanjutnya digunakan untuk memperkecil ukuran dan mempermudah proses pengayakan. Proses penggilingan dilakukan dengan menggunakan *grinder* dan terakhir dilakukan pengayakan dengan menggunakan pengayak 100 mesh.

Pengamatan dilakukan terhadap sifat fungsional, yaitu *Swelling Volume* dan Kelarutan (Collado dan Corke, 1999), kapasitas penyerapan air secara gravimetric (Kadan *et al.*, 2003), *freeze thaw stability* (Wattanachant *et al.*, 2002), derajat putih (Soekarto, 1990), kekuatan gel (Collado dan Corke 1999), kadar air secara gravimetric (AOAC, 2006), *dextrose equivalent* (DE) (AOAC, 1970). Sifat amilografi dianalisis dengan menggunakan alat *Rapid Visco Analyzer* (RVA) (Collado *et al.*, 2001) yang terdiri dari suhu awal gelatinisasi, viskositas puncak, viskositas pasta panas, perubahan viskositas selama pemanasan (*breakdown*), viskositas pasta dingin, perubahan viskositas selama pendinginan (*setback*).

Hasil dan Pembahasan

Swelling Volume

Berdasarkan hasil analisis statistik, pati millet putih termodifikasi HMT memiliki *swelling volume* yang berbeda nyata dengan *swelling volume* pati millet putih termodifikasi *annealing*. Hasil analisis nilai *swelling volume* dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai *Swelling Volume* Pati Millet Putih Alami, Pati Millet Putih Termodifikasi HMT, dan Pati Millet Putih Termodifikasi *Annealing*

| Perlakuan | Nilai rata-rata (ml/g bk) |
|------------------|---------------------------|
| Alami | 10,21 |
| HMT | 7,96 ± 0,36 a |
| <i>Annealing</i> | 7,14 ± 0,64 b |

Keterangan: Nilai rata-rata perlakuan yang ditandai huruf kecil yang berbeda menyatakan bahwa *swelling volume* berbeda nyata menurut uji kesamaan dua rata-rata pada taraf 5%.

Pati millet putih termodifikasi HMT memiliki *swelling volume* yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan pati millet putih termodifikasi *annealing*. Pati millet putih alami memiliki *swelling volume* yang lebih tinggi dibandingkan *swelling volume* pati millet putih termodifikasi HMT. Penurunan *swelling volume* ini disebabkan karena pada kondisi termodifikasi HMT, granula pati mengalami perubahan susunan struktur dan kristalisasi. Perubahan tersebut kemungkinan menyebabkan pembentukan ikatan hidrogen antara air yang berada di luar granula dengan molekul pati baik amilosa maupun amilopektin menjadi lebih sulit, sehingga kemampuan granula untuk membengkak menjadi terbatas (Collado and Corke, 1999).

Pati millet putih alami memiliki *swelling volume* yang lebih tinggi dibandingkan *swelling volume* pati millet putih termodifikasi *annealing*. Hal ini disebabkan karena menurut Horndok dan Noomhorm (2007), perlakuan hidrotermal dapat menyebabkan pengaturan kembali molekul pati yang berakibat pada menurunnya kemampuan pengembangan granula pati (*swelling volume*). Interaksi amilosa-amilosa dan amilosa-amilopektin yang terbentuk selama *annealing* dapat membatasi penetrasi air ke dalam granula pati sehingga kemampuan pengembangan pati menurun.

Kelarutan

Berdasarkan hasil analisis statistik, pati millet putih termodifikasi HMT memiliki kelarutan yang berbeda nyata dengan kelarutan pati millet putih termodifikasi *annealing*. Hasil analisis nilai kelarutan dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai Kelarutan Pati Millet Putih Alami, Pati Millet Putih Termodifikasi HMT, dan Pati Millet Putih Termodifikasi *Annealing*

| Perlakuan | Nilai rata-rata (% bk) |
|------------------|------------------------|
| Alami | 5,63 |
| HMT | 12,17 ± 0,00 a |
| <i>Annealing</i> | 13,53 ± 0,00 b |

Keterangan: Nilai rata-rata perlakuan yang ditandai huruf kecil yang berbeda menyatakan bahwa kelarutan berbeda nyata menurut uji kesamaan dua rata-rata pada taraf 5%.

Pati millet putih termodifikasi HMT memiliki kelarutan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan pati millet putih termodifikasi *annealing*. Pati millet putih alami memiliki kelarutan yang lebih rendah dibandingkan kelarutan pati millet putih termodifikasi HMT. Menurut Adebawale *et al.* (2005), perlakuan suhu modifikasi yang tinggi merusak struktur molekul pati millet putih termodifikasi HMT yang mengakibatkan rusaknya ikatan hidrogen molekuler dalam granula pati sehingga amilosa sangat mudah lepas yang berarti kelarutan akan meningkat.

Pati millet putih alami memiliki kelarutan yang lebih rendah dibandingkan kelarutan pati millet putih termodifikasi *annealing*. Menurut Hoover dan Hadziyev (1981) dalam Ratnayake *et al.* (2002), ketika sejumlah pati dipanaskan dalam jumlah air yang berlebih, struktur kristalannya menjadi terganggu sehingga menyebabkan kerusakan pada ikatan hidrogen dan molekul hidrogen keluar dari grup hidroksil amilosa dan amilopektin sehingga terjadi peningkatan kelarutan pati millet putih alami.

Kapasitas Penyerapan Air

Berdasarkan hasil analisis statistik, pati millet putih termodifikasi HMT memiliki kapasitas penyerapan air yang tidak berbeda nyata dengan kapasitas penyerapan air pati millet putih termodifikasi *annealing*. Hasil analisis nilai kapasitas penyerapan air dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Nilai Kapasitas Penyerapan Air Pati Millet Putih Alami, Pati Millet Putih Termodifikasi HMT, dan Pati Millet Putih Termodifikasi *Annealing*

| Perlakuan | Nilai rata-rata (ml/g bk) |
|------------------|---------------------------|
| Alami | 1,15 |
| HMT | 1,91 ± 0,22 a |
| <i>Annealing</i> | 1,81 ± 0,25 a |

Keterangan: Nilai rata-rata perlakuan yang ditandai huruf kecil yang sama menyatakan bahwa kapasitas penyerapan air tidak berbeda nyata menurut uji kesamaan dua rata-rata pada taraf 5%.

Pati millet putih termodifikasi HMT memiliki kapasitas penyerapan air yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan pati millet putih termodifikasi *annealing*. Pati millet putih alami memiliki kapasitas penyerapan air yang lebih rendah dibandingkan kapasitas penyerapan air pati millet putih termodifikasi HMT dan *annealing*. Menurut Adebawale *et al.* (2005), perlakuan modifikasi HMT dapat meningkatkan kapasitas pengikatan air karena pati mengalami kecenderungan peningkatan sifat hidrofilik. Peningkatan ini disebabkan karena bagian amorphous mengalami sedikit pengembangan sehingga beberapa ikatan hidrogen antara bagian amorphous dan bagian kristalin akan putus untuk kemudian berikatan dengan hidrogen dari air. Sedangkan peningkatan kapasitas penyerapan air pada modifikasi *annealing* dapat disebabkan karena wilayah amorf meluas dan beberapa ikatan hidrogen antara daerah amorf dan kristalin menjadi rusak.

Freeze Thaw Stability

Berdasarkan hasil analisis statistik, pati millet putih termodifikasi HMT memiliki sineresis yang tidak berbeda nyata dengan sineresis pati millet putih termodifikasi *annealing*. Hasil analisis nilai *freeze thaw stability* dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Nilai *Freeze Thaw Stability* Pati Millet Putih Alami, Pati Millet Putih Termodifikasi HMT, dan Pati Millet Putih Termodifikasi *Annealing*

| Perlakuan | Nilai rata-rata (% bk) |
|------------------|------------------------|
| Alami | 45,55 |
| HMT | 34,02 ± 0,03 a |
| <i>Annealing</i> | 31,56 ± 0,02 a |

Keterangan: Nilai rata-rata perlakuan yang ditandai huruf kecil yang sama menyatakan bahwa *freeze thaw stability* tidak berbeda nyata menurut uji kesamaan dua rata-rata pada taraf 5%.

Pati millet putih termodifikasi HMT memiliki sineresis yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan pati millet putih termodifikasi *annealing*. Pati millet putih alami memiliki sineresis yang lebih tinggi dibandingkan sineresis pati millet putih termodifikasi HMT dan *annealing*. Menurut *Sunarti et al. (2007)*, semakin rendah sineresis menunjukkan bahwa pati tersebut semakin stabil terhadap penyimpanan suhu beku. Hal ini menunjukkan bahwa pati millet putih alami memiliki kestabilan yang rendah jika *dithawing* (dilelehkan) setelah proses pembekuan. Pada saat pelelehan, sebagian komponen pati dalam hal ini amilosa akan mengalami *leaching* sehingga komponen amilosa akan keluar bersama air. Hal ini disebabkan karena pembentukan ikatan hidrogen dari molekul air dengan molekul pati berantai lurus (amilosa) atau disebut retrogradasi (*Hoover dan Ratnayake 2002*).

Derajat Putih

Berdasarkan hasil analisis statistik, pati millet putih termodifikasi HMT memiliki derajat putih yang berbeda nyata dengan derajat putih pati millet putih termodifikasi *annealing*. Hasil analisis nilai derajat putih dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Nilai Derajat Putih Pati Millet Putih Alami, Pati Millet Putih Termodifikasi HMT, dan Pati Millet Putih Termodifikasi *Annealing*

| Perlakuan | Nilai rata-rata (%) |
|------------------|---------------------|
| Alami | 77,48 |
| HMT | 69,07 ± 0,01 a |
| <i>Annealing</i> | 79,51 ± 0,00 b |

Keterangan: Nilai rata-rata perlakuan yang ditandai huruf kecil yang berbeda menyatakan bahwa derajat putih berbeda nyata menurut uji kesamaan dua rata-rata pada taraf 5%.

Pati millet putih termodifikasi *annealing* memiliki derajat putih yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan pati millet putih termodifikasi HMT. Hal ini diduga karena pada modifikasi HMT suhu yang digunakan lebih tinggi yaitu 110°C jika dibandingkan dengan suhu pada modifikasi *annealing* yaitu 50°C sehingga pati millet putih termodifikasi HMT mengalami reaksi

pencoklatan yang menyebabkan derajat putihnya lebih rendah jika dibandingkan derajat putih pati millet putih termodifikasi *annealing*.

Pati millet putih alami memiliki derajat putih yang lebih tinggi dibandingkan derajat putih pati millet putih termodifikasi HMT. Penurunan derajat putih ini diduga karena pada modifikasi HMT, suhu yang digunakan cukup tinggi yaitu 110°C dengan waktu modifikasi selama 16 jam sehingga terjadi reaksi pencoklatan pada pati. Hal ini menyebabkan warna pati semakin coklat dan derajat putih pati semakin turun.

Pati millet putih alami memiliki derajat putih yang lebih rendah dibandingkan derajat putih pati millet putih termodifikasi *annealing*. Pada modifikasi *annealing*, dilakukan perendaman pati pada air yang berlebihan. Menurut penelitian *Yanuar (2013)* mengenai karakteristik tepung cangkang rajungan berdasarkan metode penepungan yang berbeda, derajat putih tepung cangkang rajungan yang dihasilkan dengan metode basah lebih tinggi daripada dengan metode kering. Hal ini dikarenakan pada metode kering, pemanasan yang dilakukan hanya membebaskan air bebasnya saja, sedangkan pada metode basah pemanasan yang dilakukan tidak hanya membebaskan air bebas tetapi juga membebaskan sebagian zat warna alami pada cangkang karena adanya uap.

Kekuatan Gel

Berdasarkan hasil analisis statistik, pati millet putih termodifikasi HMT memiliki kekuatan gel yang berbeda nyata dengan kekuatan gel pati millet putih termodifikasi *annealing*. Hasil analisis nilai kekuatan gel dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Nilai Kekuatan Gel Pati Millet Putih Alami, Pati Millet Putih Termodifikasi HMT, dan Pati Millet Putih Termodifikasi *Annealing*

| Perlakuan | Nilai rata-rata (gf) |
|------------------|----------------------|
| Alami | 2,51 |
| HMT | 1,72 ± 0,29 a |
| <i>Annealing</i> | 2,71 ± 0,22 b |

Keterangan: Nilai rata-rata perlakuan yang ditandai huruf kecil yang berbeda menyatakan bahwa kekuatan gel berbeda nyata menurut uji kesamaan dua rata-rata pada taraf 5%.

Pati millet putih termodifikasi *annealing* memiliki kekuatan gel yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan pati millet putih termodifikasi HMT. Pati millet putih alami memiliki kekuatan gel yang lebih tinggi dibandingkan kekuatan gel pati millet putih termodifikasi HMT. Penurunan kekuatan gel ini dapat disebabkan oleh penurunan viskositas *setback* pati millet putih alami dimana semakin rendah nilai *setback* maka menunjukkan semakin rendah pula kecenderungan untuk membentuk gel. Pati millet putih alami memiliki kekuatan gel yang lebih rendah dibandingkan kekuatan gel pati millet putih termodifikasi *annealing*. Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian *Chung et al. (2000)*, yaitu bahwa perlakuan modifikasi *annealing* dapat meningkatkan kekuatan gel pati kacang hijau.

Kadar Air

Berdasarkan hasil analisis statistik, pati millet putih termodifikasi HMT memiliki kadar air yang berbeda nyata dengan kadar air pati millet putih termodifikasi *annealing*. Hasil analisis nilai kadar air dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Nilai Kadar Air Pati Millet Putih Alami, Pati Millet Putih Termodifikasi HMT, dan Pati Millet Putih Termodifikasi *Annealing*

| Perlakuan | Nilai rata-rata (% bk) |
|------------------|------------------------|
| Alami | 9,07 |
| HMT | 5,50 ± 0,01 a |
| <i>Annealing</i> | 7,95 ± 0,01 b |

Keterangan: Nilai rata-rata perlakuan yang ditandai huruf kecil yang berbeda menyatakan bahwa kadar air berbeda nyata menurut uji kesamaan dua rata-rata pada taraf 5%.

Pati millet putih termodifikasi *annealing* memiliki kadar air yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan pati millet putih termodifikasi HMT. Hal ini dikarenakan pada saat modifikasi HMT waktu pengeringan yang digunakan lebih lama yaitu selama 6 jam jika dibandingkan dengan waktu pengeringan pada saat modifikasi *annealing* yaitu selama 4 jam.

Pati millet putih alami memiliki kadar air yang lebih tinggi dibandingkan kadar air pati millet putih termodifikasi HMT dan *annealing*. Penurunan kadar air pada pati millet putih termodifikasi HMT dan *annealing* dikarenakan proses pengeringan. Pengeringan berlangsung dengan memecahkan ikatan molekul-molekul air yang terdapat di dalam bahan. Apabila ikatan molekul-molekul air yang terdiri dari unsur-unsur dasar oksigen dan hydrogen dipecahkan, maka molekul tersebut akan keluar dari bahan. Akibatnya, bahan tersebut akan kehilangan air yang dikandungnya (Rosdaneli, 2005).

Dextrose Equivalent (DE)

Berdasarkan hasil analisis statistik, pati millet putih termodifikasi HMT memiliki DE yang tidak berbeda nyata dengan DE pati millet putih termodifikasi *annealing*. Hasil analisis nilai DE dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Nilai *Dextrose Equivalent* Pati Millet Putih Alami, Pati Millet Putih Termodifikasi HMT, dan Pati Millet Putih Termodifikasi *Annealing*

| Perlakuan | Nilai rata-rata |
|------------------|-----------------|
| Alami | 0,08 |
| HMT | 0,22 ± 0,01 a |
| <i>Annealing</i> | 0,24 ± 0,01 a |

Keterangan: Nilai rata-rata perlakuan yang ditandai huruf kecil yang sama menyatakan bahwa DE tidak berbeda nyata menurut uji kesamaan dua rata-rata pada taraf 5%.

Pati millet putih termodifikasi HMT dan *annealing* memiliki nilai DE yang lebih tinggi dibandingkan pati millet putih alami. Peningkatan nilai DE ini disebabkan oleh perlakuan panas pada modifikasi HMT dan *annealing*. Namun, perlakuan panas pada modifikasi HMT dan *annealing* tidak cukup efektif untuk

menghidrolisis pati sehingga nilai DE nya kecil. Menurut Jati (2006), nilai DE pada pati alami singkong adalah sebesar 0. Pati alami mengandung karbohidrat dalam bentuk amilosa dan belum terbentuk gula pereduksi. Gula pereduksi yang dimaksud adalah gula sederhana yang termasuk dalam golongan monosakarida (dekstrosa).

Sifat Amilografi

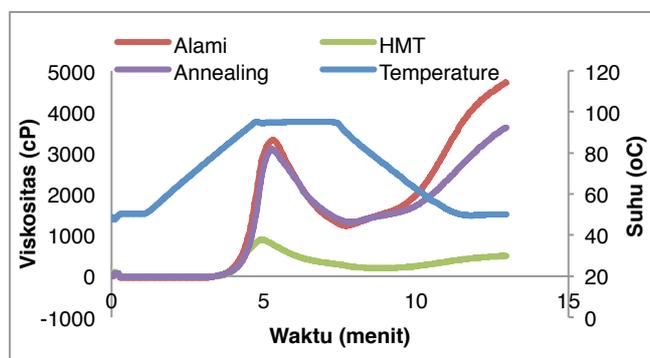
Grafik sifat amilogram pati millet putih dapat dilihat pada Gambar 1 dan data sifat amilografi pati millet putih dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Nilai Sifat Amilografi Pati Millet Putih Alami, Pati Millet Putih Termodifikasi HMT, dan Pati Millet Putih Termodifikasi *Annealing*

| Sifat Amilografi | Alami | HMT | <i>Annealing</i> |
|----------------------------------|--------|-------------------|--------------------|
| Suhu Awal Gelatinisasi (°C) | 77,31 | 81,45 ± 2,40 a | 78,26 ± 0,34 a |
| Viskositas Puncak (cP) | 3403 | 979,83 ± 143,31 a | 3260,33 ± 169,19 b |
| Viskositas Pasta Panas (cP) | 1362,5 | 294,83 ± 98,81 a | 1210,33 ± 60,25 b |
| Viskositas <i>Breakdown</i> (cP) | 2040,5 | 685 ± 204,69 a | 2050 ± 121,28 b |
| Viskositas Pasta Dingin (cP) | 4762 | 651,33 ± 158,81 a | 3954 ± 139,27 b |
| Viskositas <i>Setback</i> (cP) | 3399,5 | 365,5 ± 60,50 a | 2744 ± 198,45 b |

Keterangan: Nilai rata-rata perlakuan yang ditandai huruf kecil yang berbeda menyatakan bahwa sifat amilografi pada baris yang sama berbeda nyata menurut uji kesamaan dua rata-rata pada taraf 5%.

Berdasarkan hasil analisis statistik, pati millet putih termodifikasi HMT memiliki viskositas puncak, viskositas pasta panas, viskositas *breakdown*, viskositas pasta dingin, dan viskositas *setback* yang berbeda nyata dibandingkan pati millet putih termodifikasi *annealing*, namun pati millet putih termodifikasi HMT memiliki suhu awal gelatinisasi yang tidak berbeda nyata dengan suhu awal gelatinisasi pati millet putih termodifikasi *annealing*.



Gambar 1. Grafik Amilogram Pati Millet Putih

Suhu Awal Gelatinisasi

Pati millet putih termodifikasi HMT memiliki suhu awal gelatinisasi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan pati millet putih termodifikasi *annealing*. Pati millet putih alami memiliki suhu awal gelatinisasi yang lebih rendah dibandingkan suhu awal gelatinisasi pati millet putih termodifikasi HMT. Peningkatan suhu

gelatinisasi ini disebabkan karena proses modifikasi HMT menyebabkan rekristalisasi komponen granula pati sehingga menyebabkan pati yang dimodifikasi HMT menjadi lebih tahan terhadap panas sehingga membutuhkan suhu yang lebih tinggi untuk menggelatinisasi (Gunaratne and Corke 2007).

Pati millet putih alami memiliki suhu awal gelatinisasi yang lebih rendah dibandingkan suhu awal gelatinisasi pati millet putih termodifikasi *annealing*. Menurut Hoover dan Vasanthan (1994), modifikasi *annealing* membuat pati lebih resisten pada saat gelatinisasi karena modifikasi *annealing* dapat meningkatkan suhu gelatinisasi, terutama pada pati yang mengandung amilosa tinggi. Peningkatan suhu awal gelatinisasi pada modifikasi *annealing* disebabkan karena terjadinya transformasi amorf amilosa menjadi bentuk heliks, peningkatan interaksi antar rantai amilosa, dan perubahan dalam interaksi antar kristalit dan matriks amorf selama *annealing* (Eerlingen *et al.*, 1998).

Viskositas Puncak

Pati millet putih alami memiliki viskositas puncak yang lebih tinggi dibandingkan viskositas puncak pati millet putih termodifikasi HMT dan *annealing*. Penurunan viskositas mengindikasikan terjadi pula penurunan kemampuan untuk mengembang selama pemanasan. Selain itu, pati hasil modifikasi HMT dan *annealing* memiliki pasta yang lebih stabil dibanding pati alami. Kestabilan ini dapat ditunjukkan oleh viskositas *breakdown* pati HMT dan *annealing* yang lebih rendah dibanding pati alaminya. Semakin kecil nilai viskositas *breakdown* maka semakin stabil pati tersebut terhadap proses pemanasan dan pengadukan (Gunaratne and Corke 2007).

Menurut Gunaratne dan Hoover (2002), penurunan viskositas puncak disebabkan karena interaksi rantai amilosa–amilosa dengan rantai amilosa–amilopektin yang terjadi selama proses modifikasi, sehingga ikatan antar molekul menjadi lebih rapat dan lebih sulit untuk berpenetrasi ke dalam granula. Interaksi ini menyebabkan viskositas pati millet putih yang dimodifikasi menjadi lebih encer dibandingkan pati millet putih alami. Selain itu, penurunan viskositas puncak selama disebabkan karena meningkatnya ikatan hidrogen karena terbentuknya kompleks antar amilosa dan amilosa dengan lemak.

Viskositas Pasta Panas dan Viskositas *Breakdown*

Tabel 12 di atas menunjukkan bahwa pati millet putih alami memiliki rata-rata viskositas pasta panas sebesar 1362,5 cP, pati millet putih termodifikasi HMT memiliki rata-rata viskositas pasta panas sebesar 294,83 cP, dan pati millet putih termodifikasi *annealing* memiliki rata-rata viskositas pasta panas sebesar 1210,33 cP.

Viskositas pasta panas pati millet alami lebih tinggi dibandingkan pati millet putih termodifikasi HMT dan *annealing*. Sementara, viskositas *breakdown* pati millet putih alami lebih rendah dibandingkan pati millet

putih termodifikasi *annealing* dan lebih tinggi dibandingkan pati millet putih termodifikasi HMT. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan HMT dapat meningkatkan kestabilan pati millet putih termodifikasi HMT ketika dilakukan pemanasan dan pengadukan bila dibandingkan dengan pati millet putih alami. Menurut Beta dan Corke (2001), *breakdown viscosity* berhubungan dengan kestabilan pasta pati selama proses pemanasan dan pengadukan. *Breakdown* atau penurunan viskositas selama pemanasan menunjukkan bahwa semakin rendah *breakdown* maka pasta yang terbentuk akan semakin stabil terhadap pemanasan dan pengadukan.

Pati millet putih termodifikasi HMT memiliki viskositas pasta panas dan viskositas *breakdown* yang lebih rendah jika dibandingkan dengan pati millet putih termodifikasi *annealing*. Hal ini menunjukkan bahwa pati millet putih termodifikasi HMT memiliki kestabilan pati yang lebih tinggi pada saat dilakukan pemanasan dan pengadukan jika dibandingkan dengan pati millet putih *annealing*. Menurut Hoover *et al.* (1993), penurunan nilai viskositas *breakdown* pati termodifikasi HMT dibandingkan pati alami dikarenakan meningkatnya keteraturan matriks kristalin dan pembentukan kompleks amilosa-lemak yang menurunkan kapasitas pembengkakan granula dan memperbaiki stabilitas pasta selama pemanasan.

Viskositas Pasta Dingin dan Viskositas *Setback*

Pati millet putih alami memiliki viskositas pasta dingin yang lebih tinggi dibandingkan viskositas pasta dingin pati millet putih termodifikasi HMT dan *annealing*. Nilai viskositas pasta dingin menunjukkan kemampuan pati millet putih untuk mengalami proses retrogradasi. Semakin rendah viskositas pasta dingin maka semakin rendah pula kecenderungan untuk membentuk gel.

Pati millet putih alami memiliki viskositas *setback* yang lebih tinggi dibandingkan viskositas *setback* pati millet putih termodifikasi HMT dan *annealing*. Hal ini dikarenakan adanya pembentukan kompleks antar amilosa, amilosa dengan amilopektin, dan amilosa dengan lemak yang terjadi selama HMT dan *annealing* sehingga mengurangi jumlah komponen pati terutama amilosa yang dapat saling berikatan kembali. Oleh karena itu, terjadi penurunan viskositas *setback* atau penurunan kemampuan untuk meretrogradasi.

Pati millet putih termodifikasi HMT memiliki viskositas pasta dingin dan viskositas *setback* yang lebih rendah jika dibandingkan dengan pati millet putih termodifikasi *annealing*. Hal ini menunjukkan bahwa pati millet putih termodifikasi HMT memiliki kestabilan pati yang lebih tinggi pada saat dilakukan pendinginan dan kemampuan retrogradasi yang lebih rendah jika dibandingkan dengan pati millet putih *annealing*.

Berdasarkan grafik amilogram (Gambar 1), pati millet putih termodifikasi HMT cenderung menunjukkan pola viskositas tipe B, yaitu profil gelatinisasi yang memiliki kemampuan pengembangan yang sedang ditunjukkan dengan lebih rendahnya viskositas puncak dan viskositas mengalami penurunan yang tidak terlalu tajam selama pemanasan (Collado *et al.*, 2001). Pola

viskositas tipe B memiliki nilai *breakdown* yang lebih rendah dibandingkan dengan tipe A sehingga tipe B tidak lebih mudah rusak dan menghasilkan viskositas yang lebih tinggi selama pemasakan daripada tipe A (Chen, 2003).

Kestabilan bahan selama proses pemanasan dan pengadukan merupakan faktor penting dalam proses pengolahan, terutama pada aplikasi bahan pangan yang menggunakan suhu tinggi selama pengolahan, misalnya produk saus dan sup. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa pati millet putih termodifikasi HMT dapat diaplikasikan dalam produk pangan yang menggunakan suhu tinggi seperti saus. Menurut Kusnandar (2006), karakteristik pati yang tahan panas dan kecenderungan retrogradasi rendah cocok untuk diaplikasikan kedalam produk saus. Semakin tinggi suhu gelatinisasi maka saus yang dihasilkan selama waktu pemasakan akan semakin kental.

Lain halnya dengan pati millet putih termodifikasi *annealing*, pati millet putih termodifikasi *annealing* cenderung menunjukkan pola viskositas tipe A, yaitu menunjukkan pengembangan granula pati yang tinggi dan diikuti dengan penurunan viskositas dengan cepat selama pemasakan sehingga sesuai untuk produk yang butuh pengembangan tinggi seperti roti.

Kesimpulan

Pati millet putih termodifikasi HMT memiliki *swelling volume*, kapasitas penyerapan air, sineresis, dan suhu awal gelatinisasi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan pati millet putih termodifikasi *annealing*, serta memiliki kelarutan, derajat putih, kekuatan gel, kadar air, DE, viskositas puncak, viskositas pasta panas, viskositas *breakdown*, viskositas pasta dingin, dan viskositas *setback* yang lebih rendah jika dibandingkan dengan pati millet putih termodifikasi *annealing*.

Modifikasi *Heat Moisture Treatment* (HMT) menyebabkan terjadinya penurunan *swelling volume*, *freeze thaw stability*, kekuatan gel, derajat putih, kadar air, viskositas puncak, viskositas pasta panas, viskositas *breakdown*, viskositas pasta dingin, dan viskositas *setback* pati millet putih alami serta peningkatan kelarutan, kapasitas penyerapan air, DE, dan suhu awal gelatinisasi pati millet putih alami.

Modifikasi *annealing* menyebabkan terjadinya penurunan *swelling volume*, *freeze thaw stability*, kadar air, viskositas puncak, viskositas pasta panas, viskositas pasta dingin, dan viskositas *setback* pati millet putih serta peningkatan kelarutan, kapasitas penyerapan air, kekuatan gel, derajat putih, DE, suhu awal gelatinisasi, dan viskositas *breakdown* pati millet putih.

Saran

Berdasarkan hasil sifat fungsional dan amilografi pati millet putih yang telah dimodifikasi secara *Heat Moisture Treatment* (HMT) dan *annealing* dapat dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap aplikasi penggunaannya dalam pembuatan berbagai produk pangan, seperti saus untuk pati millet putih

termodifikasi HMT, dan roti untuk pati millet putih termodifikasi *annealing*. Selain itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut pula untuk mengetahui apakah perbedaan sifat fungsional dan amilografi antara pati millet putih alami dengan pati millet putih termodifikasi HMT dan *annealing* signifikan atau tidak, karena pada penelitian ini tidak dilakukan uji statistik pada sifat fungsional dan amilografi pati millet putih alami.

Daftar Pustaka

- Abate, A. N and M. Gomez. 1984. Substitution of Finger Millet and Bulrush Millet For Mis Zen in Boiler Feeds, Anim. Feed Sci. Tech-nol. 10:291.
- Adebowale, K. O., B. I. Olu-Owolabi, O. O. Olayinka, and O. S. Lawal. 2005. Effect of Heat Moisture Treatment and Annealing On Physicochemical Properties of Red Sorghum Strach. African Jurnal Of Biotechnol. 4(9) : 928-933.
- Beleia, A., E.Varriano-Marston, and R. C. Hosenev. 1980. Characterization of Starch from Pearl Millets. Cereal Chem 57(5): 300-303.
- Beta, T. and Corke. 2001. Noodle Quality As Related To Sorghum Starch Properties. Cereal Chem 78:417-420.
- Bhupender, S. K., B. Rajneesh, and S. Y. Baljeet. 2013. Physicochemical, Functional, Thermal And Pasting Properties Of Starches Isolated From Pearl Millet Cultivars. International Food Research Journal 20(4): 1555-1561.
- Chen, Z. 2003. Physicochemical Properties of Sweet Potato Starches and Their Application in Noodle Products. Disertation of Wageningen University, Netherland.
- Chung, H.J., Q. Liu, and R. Hoover. 2009. Impact of Annealing and HMT on Rapidly Digestible, Slowly Digestible, and Resistant Starch Levels in Native and Gelatinized Corn, Pea, and Lentil Starches. Carbohydrate Polymers 75 436-447.
- Collado, L. S. and H. Corke. 1999. Heat Moisture Treatment Effect On Sweet Potato Starches Differing In Amylosa Content. Food Cherm 65 (3): 339-346.
- Collado, L. S., L. B. Mabesa, C. G. Oates, and H. Corke. 2001. Bihon Type Of Noodles From Heat Moisture Treatment Treated Sweet Potato Starch. J Food Science 66(4): 604-609.
- Elliason, A. C. 2004. Starch in Food: Structur, Function, and Application. CRC Press. North America.
- Eerlingen, R. C., H. Jacobs, W. Rousen, P. Colona, J. A. Delcour. 1998. Acid Hydrolysis of Native and Annealed Wheat Potato and Pea Starches – DSC Melting Features and Chain Lengths Distributions of Lintnerished Starches. Carbohydrates Res. 308: 359-371.
- Gunaratne, A and Hoover, R. 2002. Effect of Heat Moisture Treatment on The Structure and Physicochemical Properties of Tuber and Root Starches. Cahbohydrat Polymer 49: 425-435.
- Gunaratne, A and H. Corke, 2007. Effect of Hydroxypropylation and Alkaline Treatments in Hydroxypropylation on some Structural and

- Physicochemical Properties of Heat-Moisture Treated Wheat, Potato and Waxy Maize Starch. *J. Carbohydrate Polymers* 68 : 305 – 313.
- Hoover, R. and T. Vasanthan. 1994. The Effect of Annealing on The Physicochemical Properties of Wheat, Oat, Potato and Lentil Starches. *Journal of Food Biochemistry*. 17, 303-325.
- Hoover, R., Swamidas, G., & Vasanthan, T. 1993. Studies on the Physicochemical Properties of Native, Defatted, and Heat Moisture Treated Pigeon pea (*Cajanus cajan* L.) starch. *Carbohydrate Research*, 246: 185-203.
- Hormdok, R, and A. Noomhorm. 2007. Hydro-thermal treatments of Rice Starch for Improvement of Rice Noodle Quality. *LWT-Food Sci and Tech* 40: 1723-1731.
- Jati, P. W. 2006. Pengaruh Waktu Hidrolisis dan Konsentrasi HCl terhadap Nilai Dextrose Equivalent (DE) dan Karakterisasi Mutu Pati Termodifikasi dari Pati Tapioka dengan Metode Hidrolisis Asam. [Skripsi]. Fakultas Teknologi Pertanian. Institut Pertanian Bogor.
- Kusnandar, F. 2006. Modifikasi Pati dan Aplikasinya pada Industri Pangan. di dalam majalah *Food Review* Vol.1 No.3 April 2006.
- Lorenz, K. dan K. Kulp. 1981. Heat-Moisture Treatment of Starches II: Functional Properties and Baking Potential. Di dalam: Manuel, H. J. 1996. *The Effect Of Heat-Moisture Treatment On The Structure and Physicochemical Properties of Legume Starches*. [Thesis]. Department of Biochemistry, Memorial University of Newfoundland Canada.
- Marlin. 2009. Sumber Pangan Tanaman Minor. Available at: <http://daengnawan.blogspot.com/2009/07/sumber-pangan-tanaman-minor.html>. Diakses pada tanggal 16 Februari 2015.
- Olayinka, O.O., K.O.Adebowale, and B.I. Olu-Owolabi. 2008. Effect Of Heat Moisture Treatment On Physicochemical Properties Of White Shorghum Starch. *Food Hydrocolloids*, 22: 225-230.
- Pukkahuta, C., S. Bussawan, S. Sujin, and S. Saiyavit. 2008. Comparative Study of Pasting and Thermal Transition Characteristics of Osmotic Pressure and Heat-Moisture Treated Corn Starch. *Journal Carbohydrate Polymer*, 72 (2008) 527– 536.
- Ratnayake, W. S. and D. S. Jackson. 2002. Gelatinization and Solubility Of Corn Starch During Heating in Excess Water: New Insight. *J Agric. Food Chem.* 54:3712-3716.
- Rosdaneli, H. 2005. Proses Pengeringan. Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik USU. Sumatera Utara.
- Siswoyo, T.A. and N. Morita. 2010. Influence Of Annealing On Gelatinization Properties, Retrogradation And Susceptibility Of Breadfruit Starch (*Artocarpus Communis*) *International Journal of Food Properties*, 13: 553–561.
- Sunarti, T.C., N. Richana., F. Kasim., Purwoko, dan A. Budiyanto. 2007. Karakterisasi Sifat Fisiko Kimia Tepung dan Pati Jagung Varietas Unggul Nasional dan Sifat Penerimaannya terhadap Enzim dan Asam. Departemen Teknologi Industri Pertanian. Fakultas Teknologi Pertanian, IPB, Bogor.
- Vermeylen, R., B. Goderis, dan J. A. Delcour. 2006. An X-ray study of hydrothermally treated potato starch. *Carbohydr. Polym.* 64:364-375.
- Yanuar, V. 2013. Karakteristik Tepung Gampang Rajungan Berdasarkan Metode Penepungan yang Berbeda. *Jursitek* Vol 1 No 2 Januari 2013: 1-10.