

Sifat Fisikokimia Pati Sagu Termodifikasi dengan Metode Oksidasi Menggunakan Natrium Hipoklorit

Physicochemical Properties of Oxidized Sago Starch Using Sodium Hypochlorite

Erka Fitria¹⁾, Purwiyatno Hariyadi^{1,2)}, Nuri Andarwulan^{1,2)*}, Ria Noviar Triana²⁾

¹⁾Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor
²⁾South East Asian Food and Agricultural Science and Technology Center, Institut Pertanian Bogor, Bogor

Abstract. Indonesia has the largest sago plantation area in the world with sago flour production up to 6.84 metric ton a year. Based on this data, sago starch has the potential to be utilized as food ingredients. However, some of its physicochemical characteristics have weaknesses and become its limitation in the processing and its application on food products. Therefore, the modification process of sago starch by oxidation method could be used to change its characteristics. Oxidation was done by adding 1%, 2%, and 3% sodium hypochlorite for 30, 60, 90, and 120 minutes. Physicochemical characteristics of native and oxidized sago starch were measured for comparing their swelling power, solubility, gel strength, whiteness index, syneresis, and paste viscosity profile. The results showed that the carboxyl content increased and the amylose content decreased by the process. As compared to native sago starch, oxidation decreased swelling power capability, increased solubility, gel strength, whiteness index, also increased syneresis at the beginning of oxidation process but decreased with increasing time of oxidation and NaOCl concentration. Oxidation also affected the paste viscosity profile by increasing the pasting temperature, decreasing the peak viscosity, holding viscosity, breakdown viscosity, final viscosity, and setback viscosity. These results showed that oxidized sago starch was better physicochemical characteristic than that of native starch in term of increasing the heat and shear resistant and reducing the tendency of retrogradation.

Keywords: modified starch, oxidation, sago, sodium hypochlorite

Abstrak. Indonesia memiliki wilayah perkebunan sagu terbesar di dunia dengan produksi tepung sagu hingga 6,84 metrik ton per tahun. Berdasarkan data ini, pati sagu memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan makanan. Namun, beberapa karakteristik fisikokimia pati sagu asli memiliki beberapa kelemahan dan menjadi keterbatasan dalam pemrosesan dan penerapannya pada produk makanan. Oleh karena itu, proses modifikasi pati sagu dengan metode oksidasi dapat digunakan untuk mengubah karakteristiknya. Oksidasi dilakukan dengan menambahkan 1, 2, dan 3% natrium hipoklorit selama 30, 60, 90, dan 120 menit. Karakteristik fisikokimia pati sagu asli dan teroksidasi diukur untuk membandingkan kekuatan pembengkakan, kelarutan, kekuatan gel, indeks keputihan, sineresis, dan profil viskositas pasta. Hasilnya menunjukkan bahwa kandungan karboksil meningkat dan kandungan amilosa menurun oleh proses. Dibandingkan dengan pati sagu asli, oksidasi menurunkan kemampuan daya pembengkakan, peningkatan kelarutan, kekuatan gel, indeks keputihan, juga meningkatkan sineresis pada awal proses oksidasi tetapi menurun dengan meningkatnya waktu dan konsentrasi NaOCl. Oksidasi juga mempengaruhi profil viskositas pasta dengan meningkatkan suhu *pasting*, menurunkan viskositas puncak, *holding viscosity*, *breakdown viscosity*, viskositas akhir, dan *setback viscosity*. Hasil ini menunjukkan bahwa pati sagu yang teroksidasi memiliki karakteristik fisikokimia yang lebih baik daripada pati asli dalam hal meningkatkan ketahanan terhadap panas dan tekanan geser serta mengurangi kecenderungan retrogradasi.

Kata Kunci: natrium hipoklorit, oksidasi, pati termodifikasi, sagu

Aplikasi Praktis: Penelitian ini memberikan informasi proses produksi pati sagu termodifikasi oksidasi yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku maupun bahan tambahan pangan yang memberikan nilai tambah pada produk pangan. Pati sagu termodifikasi oksidasi dapat digunakan sebagai *bulking agent* dan pengental *salad dressing*, sebagai bahan pelapis, penstabil, bahan pengikat pada *batter*, *breeding* dan *confectionary* serta pembentuk film.

PENDAHULUAN

Pati merupakan biopolimer paling melimpah kedua setelah selulosa yang ditemukan pada tumbuhan tingkat tinggi, dapat diperbaharui, dan tersedia di seluruh bagian dunia (Kasemsuwan 1995; Fonseca *et al.* 2015). Pati juga menyumbang sebanyak 50% kalori rata-rata yang dikonsumsi oleh masyarakat bagian barat serta mencapai 90% dikonsumsi oleh masyarakat di negara berkembang (Wang *et al.* 2015). Tanaman sagu merupakan salah satu sumber pangan dan energi yang sangat potensial di Indonesia karena memiliki luas areal sagu terluas di dunia, yaitu sekitar 60% berada di Indonesia dengan produksi tepung sagu yang mencapai 6.84 juta ton/tahun (Syakir dan Karmawati 2013, Flach 1993).

Pati sagu alami memiliki beberapa kekurangan di dalam hal kualitas seperti viskositas yang tidak konsisten atau profil pasta yang bervariasi, memiliki bau yang tidak umum, dan warna yang pudar (Karim *et al.* 2008). Pati sagu alami juga memiliki keterbatasan dalam hal resistensi terhadap *shear* dan suhu rendah serta memiliki kecenderungan yang tinggi terhadap retrogradasi (Singh *et al.* 2007). Sifat-sifat tersebut menjadi faktor pembatas dalam hal penerimaan konsumen serta penerapannya. Modifikasi pati dilakukan untuk mengatasi keterbatasan fungsional serta memperluas penggunaan pati dalam industri pangan.

Aplikasi pati termodifikasi oksidasi di dalam industri pangan meningkat karena sifat-sifat seperti viskositas yang rendah, kestabilan tinggi terhadap pemanasan dan pengadukan, pasta pati lebih jernih, memiliki kemampuan untuk membentuk film dan sebagai bahan pengikat (Sanchez-Rivera *et al.* 2005). Produk pangan yang menggunakan pati termodifikasi oksidasi memiliki rasa yang netral (Xiao *et al.* 2012). Pati yang dimodifikasi dengan oksidasi banyak digunakan sebagai *batter* dan *breadcrumbing* untuk penyalut berbagai macam makanan, sebagai bahan pengikat dan pembentuk film pada produk *confectionary*, sebagai *texturizer* pada produk *dairy* (Singh *et al.* 2007).

Tingginya produksi sagu di Indonesia dan potensinya untuk dikembangkan sebagai ingredien pangan yang lebih luas dibutuhkan penelitian proses modifikasi oksidasi pada pati sagu. Adapun tujuan penelitian yaitu : (1) melakukan modifikasi oksidasi pada pati sagu dan (2) menguji karakteristik fisiko-kimia pati sagu termodifikasi. Metode modifikasi pati yang dilakukan dalam penelitian ini adalah metode oksidasi dengan menggunakan NaOCl sebagai oksidator. NaOCl merupakan agen pengoksidasi yang paling banyak digunakan di dalam proses modifikasi pati di skala industri (Chan *et al.* 2011; Chavez-Murillo *et al.* 2008; Xiao *et al.* 2012). Oksidasi akan mengubah gugus hidroksil pada pati menjadi gugus karbonil. Oksidasi lebih lanjut akan mengubah gugus karbonil menjadi karboksil lalu memecah ikatan glikosidik pada molekul pati.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Pati sagu *native* (*Metroxylon sagu* R.) diperoleh dari PT ANJ Agri Papua, larutan sodium hipoklorit (NaOCl) 10% grade extrapure dari SAP Chemicals, kertas saring, air deionisasi, air destilata, amilosa standar, KI, I₂, etanol 95%, HCl, NaOH, H₂SO₄, Na₂S₂O₃, indikator pati, asam asetat glasial, phenolphtalein. Peralatan yang digunakan adalah hotplate, timbangan analitik, termometer, pH meter, oven, *Whiteness Meter* merk Kett Electric Laboratory (C-100-3), *Texture Analyzer* TAXT 2, sentrifuse, tabung sentrifuse, *Rapid Visco Analyzer* (RVA), dan peralatan gelas lainnya.

Modifikasi pati sagu dengan metode Oksidasi (Kuakpetoon dan Wang 2006 dengan modifikasi)

Dibuat suspensi pati 40% menggunakan air destilata. Suspensi pati dipanaskan sambil diaduk hingga mencapai suhu 35°C dan pH suspensi pati diatur sebesar 9.5 dengan menambahkan 2.0 M NaOH. Suspensi pati secara perlahan ditambahkan masing masing sebesar 1, 2, dan 3% larutan natrium hipoklorit pada suhu 35°C dan pH 9.5 serta menambahkan NaOH 2.0 M setiap 15 menit sekali saat terjadi penurunan pH. Setelah seluruh NaOCl ditambahkan, suhu dan pH reaksi dipertahankan hingga 30, 60, 90, dan 120 menit. Setelah waktu oksidasi tercapai, suspensi pati diatur pHnya hingga mencapai kisaran 6.5-7.0 dengan menambahkan 1.0 M H₂SO₄. Suspensi disaring dengan kertas saring dan dicuci sebanyak tiga kali dengan air deionisasi. Filtrat dikeringkan di dalam oven udara pada suhu 50°C selama 48 jam.

Karakterisasi pati sagu

Karakteristik pati sagu yang diamati adalah kadar air (AOAC 2006), derajat putih, kekuatan gel (Wattanachant *et al.* 2002, Modifikasi), derajat sineresis (Singh *et al.* 2006), kelarutan dan *swelling power* (Tethool *et al.* 2012, modifikasi), profil perubahan viskositas pasta pati, kadar gugus karboksil (FAO 2001), kadar amilosa (Aliawati 2003, modifikasi) dan kadar residu klorin (*standard method for the Examination of Water and Waste-water*, 2000).

Analisis kekuatan gel dengan *texture analyzer* (Wattanachant *et al.* 2002 dengan Modifikasi)

Suspensi pati sebesar 10% (10 gram pati dalam 100 mL air) dipanaskan hingga mencapai 95°C dan dipertahankan selama 30 menit kemudian didinginkan sampai suhu 50°C. Pasta dituang setinggi ± 3 cm ke dalam wadah silinder kemudian disimpan pada suhu 4°C selama 16-24 jam. Pengukuran kekuatan gel dilakukan dengan menggunakan *texture analyzer* pada kondisi kecepatan *probe* 2 mm/s sampai jarak 15 mm dengan menggunakan *probe* silinder berdiameter 10 mm.

Analisis kelarutan dan swelling power (Tethool et al. 2012 dengan modifikasi)

Sebanyak 0.16 g pati ditambahkan dengan 5 mL air destilata di dalam tabung reaksi tertutup. Suspensi dipanaskan di dalam penangas air pada suhu 90°C selama 30 menit. Suspensi didinginkan cepat hingga mencapai suhu ruang di dalam penangas air dingin lalu sampel disentrifus pada kecepatan 3000xg selama 15 menit. *Swelling power* ditentukan melalui:

$$SP (g/g) = \frac{\text{Berat tabung berisi pati basah} - \text{Berat tabung kering}}{\text{Berat kering pati}}$$

Supernatan didekantasi lalu dikeringkan pada suhu 120°C selama 2 jam atau hingga tercapai berat konstan. Kelarutan diukur berdasarkan:

$$\text{Kelarutan} = \frac{\text{Supernatan kering}}{\text{Berat kering pati}}$$

Analisis kadar amilosa (Aliawati 2003 dengan modifikasi)

Pembuatan kurva standar amilosa

Sebanyak 40 mg amilosa standar dimasukkan ke dalam tabung reaksi kemudian ditambahkan 1 mL etanol 95% dan 9 mL NaOH 1N. Selanjutnya, tabung reaksi dipanaskan di dalam penangas air mendidih selama 10 menit hingga membentuk gel. Setelah didinginkan, pindahkan secara kuantitatif ke dalam labu takar 100 mL dan tepatkan dengan air sampai tanda tera. Larutan sebanyak masing-masing 1, 2, 3, 4, dan 5 mL dipipet dan dimasukkan ke dalam labu takar 100 mL dan ditambahkan pada masing-masing labu takar asam asetat 1 N sebanyak 1 mL dan 2% larutan iod sebanyak 2 mL dan ditepatkan hingga tanda tera. Selanjutnya, larutan tersebut sebanyak 1, 2, 3, 4, dan 5 mL dimasukkan ke dalam labu takar 100 mL dan ditambahkan masing-masing 2 mL larutan iod dan 1 mL asam asetat 1 N. Larutan dikocok, lalu didiamkan selama 20 menit lalu absorbansi diukur dengan menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 620 nm. Kurva standar dibuat sebagai hubungan antara konsentrasi amilosa dengan absorbansi.

Pengukuran kadar amilosa sampel

Sebanyak 100 mg sampel dimasukkan ke dalam tabung reaksi tertutup lalu ditambahkan 1 mL etanol 95% dan 9 mL NaOH 1 N. Sampel dikocok lalu dipanaskan di dalam penangas air mendidih selama 10 menit hingga amilosa membentuk gel. Setelah 10 menit, angkat dan dinginkan. Pasta pati dipindahkan secara kualitatif ke dalam labu takar 100 mL dan ditepatkan dengan air destilata. Larutan tersebut diambil sebanyak 5 mL dan dimasukkan ke dalam labu takar 100 mL dan ditambahkan 1 mL asam asetat 1 N, 2 mL larutan iod dan

ditepatkan hingga tanda tera. Selanjutnya larutan didiamkan selama 20 menit lalu diukur absorbansinya dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 620 nm.

Analisis data

Rancangan percobaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Rancangan Acak Lengkap dengan kombinasi tiga taraf konsentrasi natrium hipoklorit (1, 2, dan 3%) dan empat taraf waktu reaksi yaitu 0, 30, 60, 90, dan 120 menit. Data dianalisis dengan menggunakan One-Way ANOVA (*Analysis of Variance*) Software IBM SPSS (Versi 22.0; SPSS Inc. New York, US), apabila terdapat pengaruh perlakuan yang nyata pada taraf 5% dilakukan uji lanjut Duncan. Dibuat kurva biplot antar variabel analisis yang dilakukan menggunakan software XLSTAT 2014 serta dilakukan analisis korelasi Pearson.

HASIL DAN PEMBAHASAN

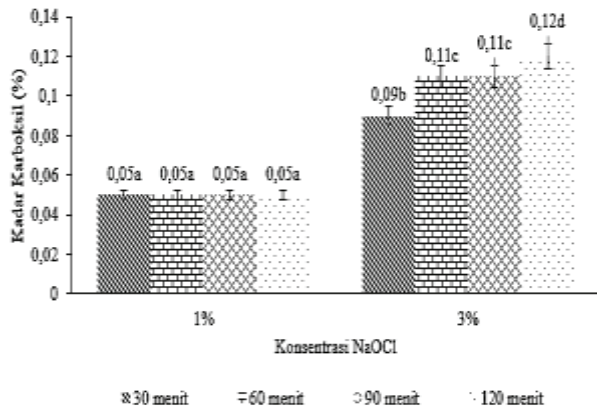
Karakterisasi sifat kimia pati sagu termodifikasi oksidasi

Kisaran kadar air pati sagu *native* dan termodifikasi oksidasi antara 7.92% sampai 11.89% yang tertera pada Tabel 1. Kadar air pati sagu ini memenuhi standar SNI 3729:2008 yang mensyaratkan bahwa kadar air maksimum yang diperbolehkan pada tepung sagu adalah 13% b/b (BSN 2008).

Tabel 1. Kadar air pati sagu *native* dan termodifikasi oksidasi

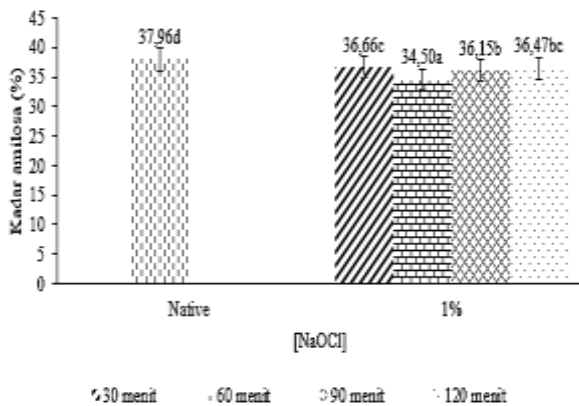
[NaOCl]	Perlakuan		Kadar Air (% b/b)
	Waktu (menit)		
1%	<i>Native</i>		11.63 ± 0.11
		30	10.81 ± 0.82
		60	10.78 ± 0.24
		90	11.01 ± 1.77
2%		120	10.84 ± 0.77
		30	11.04 ± 0.61
		60	11.14 ± 0.55
		90	11.57 ± 0.38
3%		120	10.99 ± 0.14
		30	9.18 ± 1.39
		60	9.26 ± 1.24
		90	10.84 ± 0.19
	120	10.81 ± 0.91	

Gambar 1 menunjukkan bahwa semakin meningkatnya konsentrasi natrium hipoklorit (NaOCl) dan waktu reaksi, kadar karboksil semakin meningkat namun tidak terjadi peningkatan kadar karboksil pada perlakuan oksidasi dengan konsentrasi NaOCl 1% selama 30, 60, 90, dan 120 menit yaitu sebesar 0.05%. Perlakuan oksidasi dengan NaOCl 3% meningkatkan kadar karboksil dari 0.09% pada waktu 30 menit, 0.11% pada waktu 60 dan 90 menit, serta 0.12% pada waktu 120 menit. Pengukuran kadar karboksil hanya dilakukan untuk perlakuan konsentrasi NaOCl 1 dan 3% untuk menunjukkan adanya perbedaan dengan pati *native*.



Gambar 1. Kadar karboksil pati sagu termodifikasi oksidasi dengan perlakuan NaOCl 1% dan 3%. Huruf yang sama menunjukkan sampel tidak berbeda nyata pada taraf uji $p=0.05$ (Uji selang berganda Duncan)

Terdapatnya gugus karboksil pada pati merupakan hasil dari reaksi oksidasi dari gugus hidroksil molekul pati menjadi karbonil lalu karboksil. Nilai karbonil dan karboksil bergantung pada berbagai faktor seperti jenis pati, tipe oksidator, konsentrasi, waktu, pH, dan suhu reaksi (Fonseca *et al.* 2015). Meningkatnya kadar karboksil dengan semakin meningkatnya konsentrasi oksidator yang digunakan ini sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Kuakpetoon dan Wang (2001), Zavareze *et al.* (2012), Dias *et al.* (2011), Li dan Vasanthan (2003), dan Spier *et al.* (2003). Kadar amilosa pati sagu termodifikasi oksidasi lebih rendah dibandingkan dengan pati sagu *native* seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Hal ini disebabkan karena struktur linear dari amilosa membuat amilosa lebih rentan terdegradasi karena oksidasi (Sandhu *et al.* 2008).



Gambar 2. Kadar amilosa pati sagu *native* dan teroksidasi pada konsentrasi NaOCl 1%. Huruf yang sama menunjukkan sampel tidak berbeda nyata pada taraf uji $p=0.05$ (Uji selang berganda Duncan)

NaOCl sebagai bahan penolong diperbolehkan sebagai zat pemutih, pencuci, dan zat pengupas untuk semua jenis pangan, memiliki batas aman yang diatur oleh FSANZ (2013) sebesar 1 mg/kg klorin tersedia. FDA (2014) mengizinkan residu natrium hipoklorit sebagai zat

kimia untuk modifikasi pati dengan residu tidak melebihi 0.055 gram klorin per gram pati kering. Pada semua perlakuan modifikasi oksidasi tidak terdeteksi adanya residu klorin pada produk akhir. Dengan demikian, produk pati sagu termodifikasi oksidasi pada penelitian ini telah memenuhi batas aman residu klorin yang diperbolehkan.

Pengaruh modifikasi oksidasi terhadap nilai derajat putih pati sagu

Penelitian ini menunjukkan bahwa nilai derajat putih pati *native* (87.39%) lebih rendah dari pada pati termodifikasi. Derajat putih pati modifikasi semakin tinggi dengan semakin meningkatnya konsentrasi NaOCl dan waktu reaksi dengan nilai tertinggi sebesar 97.46% pada pati sagu termodifikasi dengan konsentrasi NaOCl 2% selama 120 menit, namun derajat putih pati menurun pada awal perlakuan oksidasi karena adanya proses penambahan NaOH sebelum reaksi yang memberikan warna pada suspensi pati serta belum sepenuhnya hilang ketika dilakukan perlakuan modifikasi pada waktu 30 menit (data tidak disajikan). NaOCl meningkatkan nilai derajat putih pada pati dengan cara mengoksidasi *impurities* seperti karoten, xantofil, dan pigmen-pigmen terkait (Benkeblia 2014).

Pengaruh modifikasi oksidasi terhadap nilai kekuatan gel pati sagu

Perlakuan oksidasi meningkatkan nilai kekuatan gel dibandingkan dengan pati sagu *native*. Nilai kekuatan gel pati sagu *native* sebesar 1202.38 gs (data tidak disajikan). Nilai kekuatan gel paling tinggi dimiliki oleh pati sagu termodifikasi oksidasi dengan perlakuan NaOCl 1% selama 30 menit namun terjadi penurunan dengan semakin meningkatnya konsentrasi NaOCl dan waktu reaksi. Pada penelitian ini pengukuran kadar karboksil yang meningkat pada pati termodifikasi dibanding pati *native*, menunjukkan bahwa semakin meningkatnya tingkat oksidasi, nilai kekuatan gel semakin menurun namun masih lebih tinggi dibandingkan *native*. Meningkatnya gugus karboksil dalam pati termodifikasi diduga melemahkan struktur granula pati karena meningkatkan kemampuan interaksi ikatan hidrogen dengan air.

Pengaruh modifikasi oksidasi terhadap derajat sineresis pati sagu

Derajat sineresis pati sagu termodifikasi memiliki kisaran antara 81.88-89.22% (data tidak disajikan). Derajat sineresis pati sagu termodifikasi oksidasi lebih tinggi dibandingkan dengan *native*. Derajat sineresis menurun dengan perlakuan oksidator yang semakin tinggi konsentrasinya, namun derajat sineresis menurun dengan semakin lama waktu oksidasi. Peningkatan derajat sineresis di perlakuan oksidasi mungkin disebabkan oleh peningkatan jumlah ikatan hidrogen karena terbentuknya karboksil dan diduga menurunnya ukuran molekul amilosa yang berakibat pada retrogradasi

karena molekul amilosa dengan berat menengah mempunyai kemampuan yang lebih baik untuk teretrogradasi dan membentuk gel (Zavareze *et al.* 2012).

Pengaruh modifikasi oksidasi terhadap swelling power pati sagu

Perlakuan modifikasi pada pati sagu menurunkan swelling power pada semua perlakuan modifikasi oksidasi. Swelling power terendah dimiliki oleh sampel yang diberi perlakuan oksidasi dengan NaOCl 3% selama 90 menit yaitu sebesar 5.19 g/g, sedangkan pati native memiliki nilai swelling power sebesar 8.51 g/g. Penurunan nilai swelling power disebabkan oleh desintegrasi granula pati selama proses oksidasi berlangsung, selain itu juga karena munculnya struktur porous pada granula pati akibat adanya peningkatan gugus karboksil yang membuat pati dapat menyerap air lebih banyak namun tidak dapat menahan air yang terserap saat dilakukan sentrifugasi (Fonseca *et al.* 2015).

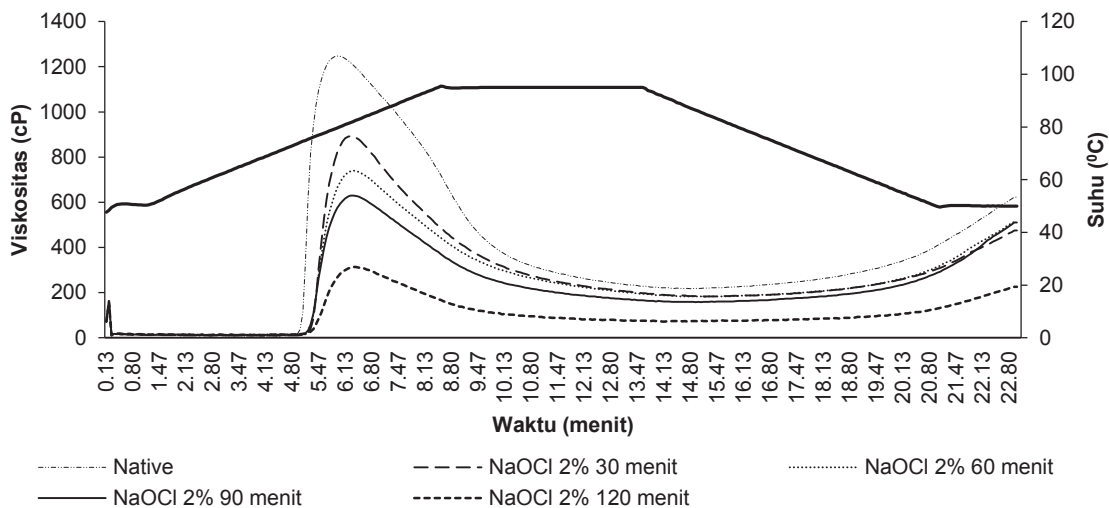
Pengaruh modifikasi oksidasi terhadap kelarutan pati sagu

Dibandingkan pati native, nilai kelarutan pati sagu cenderung mengalami peningkatan namun menurun pada

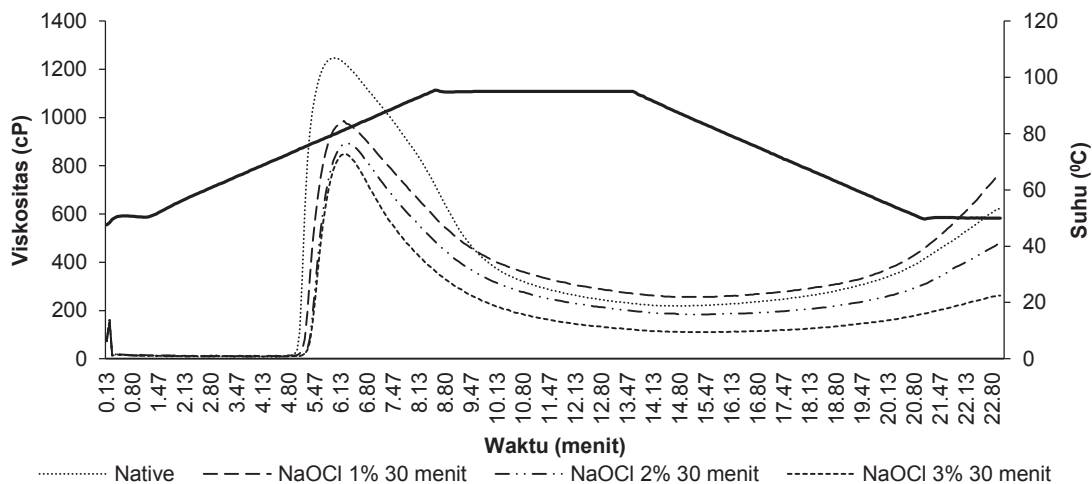
perlakuan oksidasi dengan konsentrasi NaOCl 2% 30 menit, 3% 30 menit dan 120 menit. Kelarutan yang meningkat dapat berfungsi di dalam enkapsulasi produk pangan dan bahan tambahan pangan (Zavareze *et al.* 2012), peningkatan ini diakibatkan oleh adanya depolimerisasi dan melemahnya struktur internal granula pati (Gumul *et al.* (2013); Sandhu *et al.* (2008); Garrido *et al.* (2012)).

Profil perubahan viskositas pasta pati sagu native dan termodifikasi

Pengaruh waktu reaksi dan konsentrasi NaOCl terhadap profil pasta pati sagu termodifikasi oksidasi dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4. Semakin meningkatnya level oksidasi pada pati sagu menurunkan nilai viskositas puncak, viskositas holding, viskositas akhir, serta meningkatkan suhu pasting. Penurunan nilai viskositas disebabkan pecahnya sebagian rantai glikosidik saat oksidasi sehingga terjadi penurunan bobot molekul pati. Karboksil pada struktur pati melemahkan struktur granula pati dan memberikan kontribusi untuk menurunkan viskositas pasta (Kuakpetoon dan Wang 2001; Lawal *et al.* 2005).



Gambar 3. Pengaruh waktu oksidasi terhadap profil perubahan pasta pati sagu



Gambar 4. Pengaruh konsentrasi NaOCl terhadap profil perubahan pasta pati sagu

Semakin meningkatnya konsentrasi NaOCl dan waktu reaksi menurunkan nilai viskositas *setback*. Karena adanya gugus karboksil yang menggantikan gugus hidroksil, jarak antara molekul-molekul amilosa menjadi lebih renggang sehingga kemungkinan untuk reasosiasi menurun sehingga viskositas *setback* menurun (Vanier *et al.* 2012). Nilai viskositas *breakdown* menurun dengan semakin meningkatnya level oksidasi. Penurunan nilai *breakdown* akibat dari kandungan gugus karboksil yang dapat meningkatkan stabilitas viskositas pasta pati dan menunjukkan bahwa pati semakin stabil terhadap panas dan pengadukan secara kontinu (Sangseethong *et al.* 2009; Zavareze *et al.* 2012). Modifikasi oksidasi meningkatkan suhu *pasting* pati sagu. Suhu *pasting* adalah suhu pada saat viskositas pati mulai naik (Kong *et al.* 2015). Dibandingkan dengan pati *native* lain, pati sagu memiliki suhu *pasting* yang paling tinggi serta viskositas puncak, viskositas *holding*, viskositas akhir, *breakdown*, dan *setback* yang paling rendah dibandingkan dengan tapioka dan pati jagung (Gambar 5).

Hal ini mengindikasikan bahwa pati sagu memiliki resistansi yang tinggi terhadap *swelling* namun memiliki kapasitas *swelling* yang lebih rendah dibanding pati lainnya (Teng *et al.* 2013). Menurut Chen *et al.* (2003), suhu *pasting* berkorelasi positif dengan ukuran granula pati dan berkorelasi negatif dengan kadar amilosa. Ukuran granula pati sagu adalah yang paling besar (20-60) μm , diikuti oleh tapioka (5-35) μm , lalu jagung (5-25) μm , pati sagu juga memiliki rasio amilosa : amilopektin yang paling tinggi diikuti oleh pati jagung lalu tapioka (Kusnandar 2010).

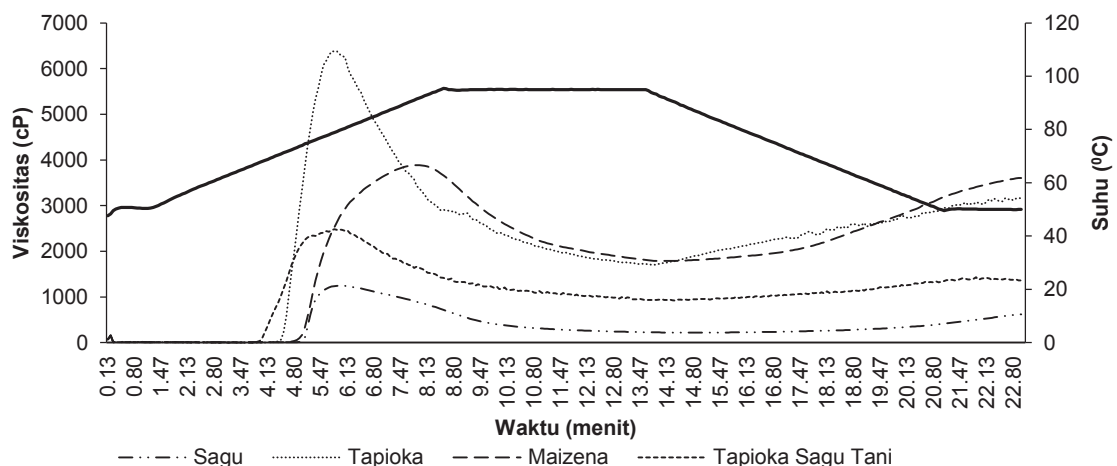
Korelasi pearson antar sifat fisikokimia pati sagu termodifikasi oksidasi

Hasil analisis korelasi Pearson menunjukkan bahwa kadar amilosa berkorelasi positif dengan kelarutan ($r = 0.783^{**}$). Hal ini terjadi karena amilosa merupakan komponen utama yang larut di dalam supernatan selama terjadi pembengkakan pati sehingga meningkatkan nilai kelarutan. Kadar karboksil berkorelasi positif dengan

nilai derajat putih ($r=0.949$) dan berkorelasi negatif dengan kekuatan gel ($r=-0.944$). Peningkatan nilai derajat putih dan kadar karboksil diikuti oleh penurunan kekuatan gel. Penurunan nilai kekuatan gel terjadi karena degradasi amilosa/amilopektin dan berubahnya gugus hidroksil menjadi aldehida dan karboksil. Kadar karboksil memiliki korelasi negatif dengan kelarutan ($r=-0.550$). Selama proses oksidasi, terjadi penurunan nilai pH karena terbentuknya gugus karboksil yang semakin meningkat (Lawal *et al.* 2005). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan Adebawale dan Lawal (2003), nilai kelarutan dipengaruhi oleh pH, semakin rendah pH, kelarutan menurun. Kekuatan gel memiliki korelasi positif dengan kelarutan karena sebagian besar komponen yang larut di dalam supernatan adalah amilosa, sehingga meningkatkan nilai kelarutan (Cai *et al.* 2015) dan amilosa rantai pendek hasil depolimerisasi memiliki kemampuan untuk membentuk gel yang lebih kuat (Dias *et al.* 2011). Kadar karboksil berkorelasi negatif dengan sineresis ($r = 0.892$), sineresis memiliki korelasi positif dengan kekuatan gel ($r = 0.753$), sesuai dengan penelitian Yu *et al.* (2012) dan Kong *et al.* (2015), kekuatan gel berhubungan dengan kristalisasi amilosa dalam waktu singkat yang mengakibatkan gel menjadi keras. Sineresis dipengaruhi oleh jumlah dan berat molekul amilosa yang keluar dari granula pati yang telah tergelatinisasi, yang kemudian akan meningkatkan nilai kelarutan (Ashogbon dan Akintayo 2012, Ali dan Hasnain 2013), pada penelitian ini ada kecenderungan nilai kelarutan meningkat pada pati termodifikasi. Nilai koefisien korelasi pada setiap parameter ditampilkan pada Tabel 2.

Principal component analysis

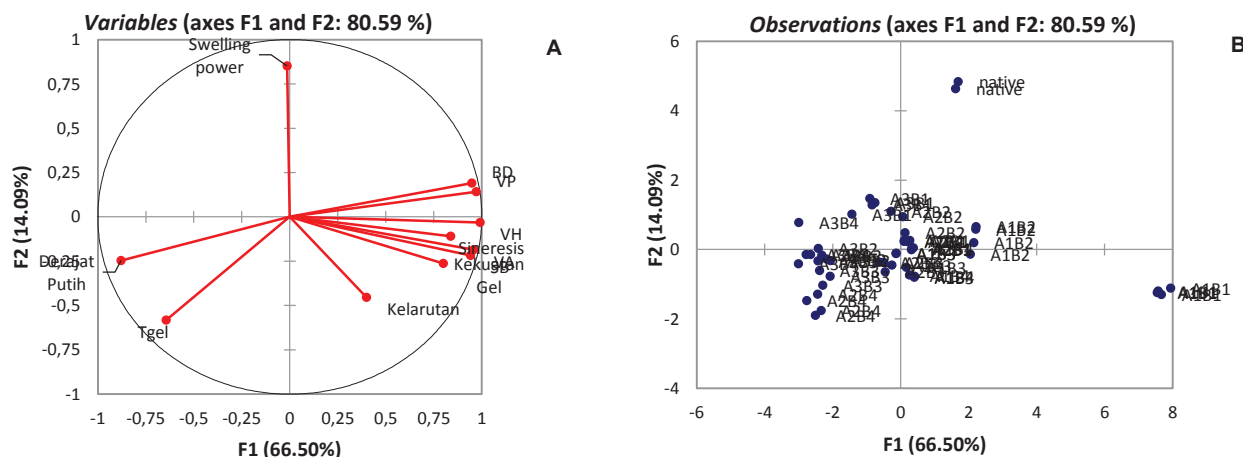
Gambar 6 menunjukkan sebuah lingkaran korelasi yang menunjukkan proyeksi variabel di dalam suatu ruang faktor. Eigen pertama (F1) merupakan kombinasi linier dari seluruh variabel yang diamati dan memiliki varian terbesar, F1 dalam analisis ini dapat mewakili sebanyak 66.50% dari total variasi.



Gambar 5. Profil perubahan pasta pati sagu *native* dibandingkan dengan pati *native* lain

Tabel 2. Korelasi pearson antar sifat fisikokimia pati sagu termodifikasi oksidasi

	Derajat Putih	Kekuatan Gel	Kelarutan	Sineresis	Swelling Power	Karboksil	Amilosa
Derajat putih	1	-0.826	-0.202	-0.754	0.137	0.949	0.237
Kekuatan gel		1	0.322	0.753	0.010	-0.944	-0.137
Kelarutan			1	0.332	-0.070	-0.550	0.783
Sineresis				1	-0.121	-0.892	0.112
Swelling power					1	0.186	-0.070
Karboksil						1	c
Amilosa							1



Gambar 6. Kurva biplot: (A) variasi antara sifat yang berbeda dari pati sagu *native* dan termodifikasi oksidasi, (B) variasi keseluruhan antara pati sagu *native* dan termodifikasi oksidasi.

Eigen kedua (F2) merupakan kombinasi linier dari seluruh variabel yang diamati yang bersifat ortogonal (berlawanan) dengan F1 dan memiliki varian kedua terbesar, F2 dalam analisis ini dapat mewakili sebanyak 14.09% variasi. Gabungan keduanya dapat mewakili sebanyak 80.59% total variabilitas. Secara keseluruhan, sebaran data menunjukkan bahwa sampel *native* memiliki perbedaan sifat fisikokimia dengan sampel pati yang telah dimodifikasi dari parameter analisis *swelling power*, kekuatan gel, sineresis, derajat putih, dan kelarutan.

salad dressing karena memiliki viskositas rendah pada konsentrasi solid yang tinggi. Kelarutan yang tinggi, kekuatan gel yang tinggi, viskositas rendah, warna yang lebih putih, serta *flavor* yang netral membuat pati sagu termodifikasi oksidasi memungkinkan untuk digunakan sebagai bahan pelapis (*coating*), bahan pengikat pada *batter*, *breeding*, dan *confectionary*, serta pementuk film. Stabilitas terhadap panas dan pengadukan membuat pati sagu termodifikasi oksidasi cocok digunakan sebagai penstabil.

KESIMPULAN

Perlakuan modifikasi oksidasi pada pati sagu *native* dengan menggunakan natrium hipoklorit yang dilakukan pada penelitian ini dapat mengubah sifat kimia pati sagu *native* dibuktikan dengan meningkatnya kadar karboksil dan menurunnya kadar amilosa. Perlakuan oksidasi juga menyebabkan perubahan pada karakteristik fisik seperti meningkatnya nilai derajat putih, menurunkan *swelling power*, menurunkan sineresis, meningkatkan kelarutan, kekuatan gel, serta mengubah profil perubahan viskositas pasta pati seperti meningkatkan suhu *pasting*, menurunkan viskositas puncak, viskositas *holding*, viskositas akhir, viskositas *breakdown*, dan viskositas *setback* yang menunjukkan bahwa pati sagu termodifikasi oksidasi memiliki resistensi terhadap *swelling* yang tinggi, stabil terhadap pemanasan dan pengadukan, serta menurunkan kemungkinan terjadinya retrogradasi. Berdasarkan karakteristik fisikokimianya, pati sagu termodifikasi oksidasi cocok sebagai *bulking agent* dan

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada *Southeast Asian Food and Agricultural Science and Technology (SEAFST) Center* yang telah memberikan bantuan bahan dan fasilitas untuk melakukan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Adebowale KO, Lawal OS. 2003. Functional properties and retrogradation behavior of *native* and chemically modified starch of mucuna bean (*Mucuna pruriens*). *J Sci Food Agric* 83: 1541–1546. DOI: 10.1002/jsfa.1569.

Ali TM, Hasnain A. 2013. Morphological, Physicochemical, and Pasting Properties of Modified White Sorghum (*Sorghum bicolor*) Starch. *Int J Food Properties* 17(3): 523-535. DOI: 10.1080/10942912.2012.654558.

- Aliawati G. 2003. Teknik analisis kadar amilosa dalam beras. *Bul Teknik Pertanian* 8: 82-84.
- Ashogbon AO, Akintayo ET. 2012. Morphological, functional and pasting properties of starches separated from rice cultivars grown in Nigeria. *Int Food Research J* 19(2): 665-671.
- Benkeblia N. 2014. Potato Starches: Properties, Modification, and Nutrition. Di dalam: *Poly-saccharides: Natural Fibers in Food and Nutrition*. Benkeblia N, editor. Boca Raton (US): CRC Press.
- [BSN] Badan Standarisasi Nasional. 2008. Tepung Sagu. SNI 3729:2008. Jakarta (ID): BSN
- Cai J, Man J, Huang J, Liu Q, Wei W, Wei C. 2015. Relationship between structure and functional properties of normal rice starches with different amylose contents. *Carbohyd Polym* 125: 35–44. DOI: 10.1016/j.carbpol.2015.02.067.
- Chan H, Leh CP, Bhat R, Senan C, Williams PA, Karim AA. 2011. Molecular structure, rheological and thermal characteristics of ozone-oxidized starch. *Food Chem* 126: 1019–1024. DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.11.113.
- Chavez-Murillo CE, Wang Y, Bello-Perez LA. 2008. Morphological, physicochemical, and structural characteristic of oxidized barley and corn starches. *Starch/Starke* 60:634-645. DOI: 10.1002/star.200800016.
- Chen Z, Schols HA, Voragen AGJ. 2003. Physicochemical properties of starches obtained from three varieties of Chinese sweet potatoes. *J food Sci* 68: 431-437.
- Dias ARG, Zavareza ER, Helbig E, De Moura FA, Vargas CG, Ciacco CF. 2011. Oxidation of fermented cassava starch using hydrogen peroxide. *Carbohyd Polym* 86: 185-191.
- [FAO] Food and Agriculture Organization. 2001. *FAO Food and Nutrition Paper 52 Addendum 9. Food and Agriculture Organization of the United Nations.*
- Flach M. 1993. Problems and prospects of present sago palm development. *Sago Palm* 1: 8-17.
- Fonseca LM, Goncalves JR, Halal SLME, Pinto VZ, Dias ARG, Jaccques AC, Zavareze ER. 2015. Oxidation of potato starch with different sodium hypochlorite concentrations and its effect on biodegradable films. *LWT- Food Sci Technol* 714-720.
- FSANZ [Food Standards Australia New Zealand]. 2013. *Processing Aids*. [Internet]. <http://www.foodstandards.gov.au/code/Documents/1.3.3%20Processing%20Aids%20v144.docx>. [2016 Desember 15].
- Garrido LH, Schnitzler E, Zortea MEB, Rocha TS, Demiate IM. 2012. Physicochemical properties of cassava starch oxidized by sodium hypochlorite. *J Food Sci Technol* DOI: 10.1007/s13197-012-0794-9.
- Gumul D, Krystyan M, Buksa K, Ziobro R, Zieba T. 2013. The influence of oxidation, extrusion, and oxidation/extrusion on physicochemical properties of potato starch. *Starch/Starke* 65: 1-9. DOI: 10.1002/star.201300069.
- Karim AA, Pei-Lang Tie A, Manan DMA, Zaidul SM. 2008. Starch from the sago (*Metroxylon sagu*) palm tree- properties, prospect, and challenges as a new industrial for food and other uses. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 7: 215-228.
- Kasemsuwan T. 1995. *Characterization and Food Application of High Amylose and Other Varieties of Starch*. [Disertasi]. Iowa : Iowa State University.
- Kong X, Zhu P, Sui Z, Bao J. 2015. Physico-chemical properties of starches from diverse rice cultivars varying in apparent amylose content and gelatinisation temperature combinations. *Food Chemistry* 172: 433–440. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.09.085.
- Kuakpetoon D, Wang Y. 2001. Characterisation of different starches oxidised by hypochlorite. *Starch/Starke* 53: 211–218.
- Kuakpetoon D, Wang Y. 2006. Structural characteristics and physicochemical properties of oxidized corn starches varying in amylose content. *Carbohyd Res* 341: 1896–1915.
- Kusnandar F. 2010. *Kimia Pangan Komponen Makro*. Jakarta (ID): Dian Rakyat.
- Lawal OS, Adebawale KO, Ogunswai BM, Barba LL, Ilo NS. 2005. Oxidized and acid thinned starch derivatives of hybrid maize: Functional characteristic, wide-angle X-ray diffractometry, and thermal properties. *Int J Biological Macromolecules* (35): 71-79. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2004.12.004.
- Li JH, Vasanthan T. 2003. Hypochlorite oxidation of field pea starch and its suitability for noodle making using an extrusion cooker. *Food Res Int* 36: 381–386. DOI: 10.1016/S0963-9969(02)00230-2.
- Sangseethong K, Sriroth K. 2009. The Effect of Reaction Temperature on Hypochlorite Oxidation of Cassava Starch. *Starch Update: the 5th International Conference on Starch Technology* 177-182.
- Sanchez-Rivera MM, Garcia Suarez FJL, Velazquez del Valle M, Gutierrez-Meraz, Bello-Perez LA. 2005. Partial characterization of banana starches oxidized by different levels of sodium hypochlorite. *Carbohyd Polym* 62: 50–56.
- Sandhu KS, Kaur M, Singh N, Lim S. 2008. A comparison of native and oxidized normal and waxy corn starches: Physicochemical, thermal, morphological, and pasting properties. *LWT* 41: 1000-1010. DOI: 10.1016/j.lwt.2007.07.012.
- Singh N, Kaur L, Sandhu KS, Kaur J, Nishinari K. 2006. Relationship between physicochemical, morphological, thermal, rheological properties of rice starches. *Food Hydrocolloids* 20: 532–542.
- Singh J, Kaur L, McCarthy OJ. 2007. Factors influencing the physicochemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified

- starches for food applications—A review. *Food Hydrocolloids* 21: 1–22.
- Spier F, Zavareze ER, Silva RM, Elias MC, Dias ARG. 2013. Effect of alkali and oxidative treatments on the physicochemical, pasting, thermal and morphological properties of corn starch. *J Sci Food Agric* 93: 2331–2337. DOI: 10.1002/jsfa.6049.
- Syakir M, Karmawati E. 2013. Potensi tanaman sagu (*Metroxylon spp.*) sebagai bahan baku bioenergi. *Perspektif* 12(2): 57-64.
- Tethool EF, Jading A, Santoso B. 2012. Characterization of physicochemical and baking expansion properties of oxidized sago starch using hydrogen peroxide and sodium hypochlorite catalyzed by uv irradiation. *Food Science Quality Management* 10: 1-11.
- Vanier NL, Zavareze ER, Ppinto VZ, Klein B, Botelho FT, Dias ARG, Elias MC. 2012. Physicochemical, crystallinity, pasting and morphological properties of bean starch oxidised by different concentrations of sodium hypochlorite. *Food Chem* 131: 1255–1262. DOI: 10.1016/j.foodchem.2011.09.114.
- Wang S, Li C, Copeland L, Niu Q, Wang S. 2015. Starch retrogradation: A comprehensive review. *Comprehensive Reviews Food Science Food Safety* 14: 568-585.
- Wattanachant S, Muhammad SKS, Hashim DM, Rahman RA. 2002. Suitability of sago starch as a base for dual-modification. *J Sci Technol* 24(3): 431-438.
- Xiao H, Lin Q, Liu G, Yu F. 2012. A comparative study of the characteristics of cross-linked, oxidized and dual-modified rice starches. *Molecules* 17: 10946-10957.
- Yu S, Ma Y, Menager L, Sun D. 2012. Physicochemical properties of starch and flour from different rice cultivars. *Food Bioprocess Technol* 5: 626–637. DOI: 10.1007/s11947-010-0330-8.
- Zavareze ER, Pinto VZ, Klein B, Halal SLME, Elias MC, Prentice-Hernandez C, Dias ARG. 2012. Development of oxidised and heat-moisture treated potato starch film. *Food Chem* 132: 344-350.

JMP-02-18-007-Naskah diterima untuk ditelaah pada 19 Februari 2018. Revisi makalah disetujui untuk dipublikasi pada 19 Mei 2018. Versi Online: <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jmp>