

Karakteristik Pati Sagu (*Metroxylon sp.*) Hasil Modifikasi Ikat Silang

Effects of Cross-linked Modification on Sago (*Metroxylon sp.*) Starch Characteristics

Dwi Karmila Syafriyanti¹⁾, Nuri Andarwulan^{1,2)*}, Purwiyatno Hariyadi^{1,2)}, Andri J. Laksana²⁾

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. *The utilization of sago starch is very low in Indonesia while sago is the starch producing plant which grows abundantly in Indonesia. In order to increase sago starch applications, such modification is needed. This research was aimed to conduct cross-linked modification upon the sago starch, thus evaluate its physicochemical characteristics. Cross-linked modifications included by varying phosphoryl chloride (POCl₃) concentrations (i.e., 0–0.050%) and the reacting times (i.e., 0–60 minutes). Cross-linked modification yielded in a lower paste clarity, solubility, and swelling power and could increase peak viscosity, holding viscosity, final viscosity, setback, breakdown, gelatinization temperature, gel strength, amylose content, and gelatinization enthalpy. It is found that some granules of cross-linked starch lost its maltose cross property. Concentration of POCl₃ was very influential to the change of modified starch characteristics, and the highest level of modification was achieved by 0.050% POCl₃.*

Keywords: *cross-linked modification, phosphoryl chloride, sago*

Abstrak. Pemanfaatan pati sago di Indonesia masih sangat rendah sedangkan sago merupakan komoditas tanaman penghasil pati yang tumbuh melimpah di Indonesia. Upaya untuk memanfaatkan potensi tersebut sangat diperlukan seperti membuat pati termodifikasi yang merupakan salah satu produk turunan dari pati sago. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan modifikasi ikat silang pada pati sago dan melakukan uji karakteristik fisikokimia pati sago termodifikasi. Perlakuan modifikasi ikat silang meliputi konsentrasi fosforil klorida (POCl₃) 0.000, 0.015, 0.020 dan 0.050% dan waktu reaksi 0, 10, 20, 30, dan 60 menit. Uji fisikokimia yang terdiri atas analisis kejernihan pasta, derajat pembengkakan, kekuatan gel, kelarutan, profil viskositas pasta pati, dan kadar amilosa. Uji lain yang dilakukan diantaranya kadar air, residu klorin, dan derajat putih. Modifikasi ikat silang dapat menurunkan kejernihan pasta, kelarutan dan derajat pembengkakan serta dapat meningkatkan viskositas puncak, viskositas setelah *holding* 95°C, viskositas akhir, nilai *setback*, *breakdown*, suhu gelatinisasi, kekuatan gel, kadar amilosa, dan entalpi gelatinisasi. Terdapat kerusakan pola *maltose cross* pada granula pati modifikasi ikat silang. Perubahan karakteristik pati termodifikasi tersebut sangat dipengaruhi oleh konsentrasi POCl₃ dan modifikasi ikat silang tertinggi dicapai pada konsentrasi 0.050% POCl₃.

Kata Kunci: fosforil klorida, pati termodifikasi ikat silang, sago

Aplikasi Praktis. Produksi pati termodifikasi berbasis sago dapat menjadi upaya meningkatkan pemanfaatan sago. Konsentrasi POCl₃ dan waktu reaksi merupakan dua faktor penting yang memengaruhi reaksi modifikasi ikat silang pada pati sago. Kombinasi keduanya dapat digunakan untuk memperbaiki sifat fisikokimia pati alami yang tidak tahan suhu tinggi, pengadukan, dan kondisi asam. Pati sago termodifikasi ikat silang dapat diaplikasikan sebagai pembentuk viskositas dan tekstur pada berbagai produk pangan seperti sup, saus, roti, dan susu.

PENDAHULUAN

Luasan area untuk tanaman sago (*Metroxylon sp.*) di dunia yang tumbuh di Indonesia sekitar ±51.3% dan 85% diantaranya terdapat di wilayah Papua dan Maluku (Himawan 2014). Sago tersebut masuk kedalam tanaman budidaya Indonesia yang diatur dalam Permentan Nomor 134 Tahun 2013 tentang Pedoman Budidaya Sago

(*Metroxylon spp*) yang Baik. Dengan asumsi produktivitas hutan sago per pohon menghasilkan 100 kg tepung sago dengan panen tanaman 30 pohon/tahun dan tanaman yang dibudidayakan menghasilkan 200 kg tepung sago dengan panen tanaman 50 pohon/tahun, produktivitas sago Indonesia per tahun diperkirakan dapat mencapai 6.84 juta ton (Syakir dan Karmawati 2013). Himawan

Korespondensi: nuri@seafast.org

(2014) menyampaikan bahwa pemanfaatan potensi sagu masih rendah, diperkirakan 4-5%.

Pati termodifikasi termasuk kelompok bahan tambahan pangan (BTP) yang penggunaannya diatur dalam Permenkes Nomor 33 Tahun 2012 tentang Bahan Tambahan Pangan. Pati termodifikasi dapat berfungsi sebagai pengembang, pengemulsi, pengental, peningkat volume, dan penstabil pada pangan. Aplikasi pati tersebut umum digunakan sebagai pembentuk viskositas dan tekstur dalam produk sup, saus, roti, dan susu (Singh *et al.* 2007). Badan Pusat Statistik melaporkan bahwa pada tahun 2008 impor pati termodifikasi untuk kepentingan industri pangan dan non-pangan meningkat dari 56.7 juta USD menjadi 76.9 juta USD pada tahun 2012 (Kemendag 2013).

Modifikasi pati dapat dilakukan secara kimia, fisik, dan mikrobiologi (fermentasi). Salah satu modifikasi pati secara kimia yaitu modifikasi ikat silang. Modifikasi ini dilakukan dengan mencampurkan reagen ikat silang, yaitu fosforil klorida (POCl_3), sodium tripolifosfat (STPP), sodium trimetfosfat (STMP) atau epiklorohidrin (EPI) ke dalam pati dalam suasana basa selama waktu dan suhu tertentu. Beberapa penelitian modifikasi ikat silang yang pernah dilakukan dengan POCl_3 yaitu oleh Malekpour *et al.* (2016), Kim dan Yoo (2010), dan Polnaya *et al.* (2013). Penggunaan konsentrasi 0.01% POCl_3 menurut Hwang *et al.* (2009) tidak cukup untuk terjadinya reaksi ikat silang pada pati jagung. POCl_3 merupakan agen yang baik bekerja pada $\text{pH} > 11$ dan mudah larut air (Singh *et al.* 2007). Kim dan Yoo (2010) menggunakan suhu 30°C dan pH 10.5 untuk memodifikasi ikat silang pati kentang dengan berbagai konsentrasi POCl_3 . Polnaya *et al.* (2013) menggunakan 4% POCl_3 pada pH 8-11 dan suhu 25°C dalam memodifikasi ikat silang pati sagu. Malekpour *et al.* (2016) menggunakan 0.5 dan 1 gram POCl_3 per kilo pati pada suhu reaksi 25°C. Penentuan kombinasi faktor-faktor yang memengaruhi proses modifikasi menjadi penting agar dapat diperoleh kondisi proses optimum dan dihasilkan pati termodifikasi yang diinginkan. Oleh karena itu, dibutuhkan penelitian proses modifikasi ikat silang pada pati sagu. Adapun tujuan penelitian yaitu : (1) melakukan modifikasi ikat silang pada pati sagu dan (2) menganalisis karakteristik fisikokimia pati sagu termodifikasi.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan yang digunakan terdiri atas pati sagu alami (*Metroxylon sp.*) yang diperoleh dari PT ANJ Agri Papua, pati tapioka, maizena, Na_2SO_4 , HCl, POCl_3 99%, NaOH, etanol 95%, air deionisasi, asam asetat glasial, KI, larutan fosfat standar P_2O_5 , I_2 , amilosa standar, kertas saring, dan indikator pati. Alat yang digunakan adalah pH-meter, oven, blender, *hot plate*, penyaring bucher, mikroskop polarisasi, spektrofotometer UV-Vis (Model UV-2450, Shimadzu Co. Ltd., Kyoto Japan), *rapid visco analyzer*

(RVA, Model Tecmaster, Newport Scientific, Australia), *whitenessmeter* (Model C-100-3, KETT Electric Laboratory, Tokyo Japan), sentrifus, *texture analyser* (TA-XT2), dan peralatan gelas.

Modifikasi ikat silang (Modifikasi Hwang *et al.* 2009)

Pati sagu (150 g) dicampurkan dan diaduk dengan akuades hingga membentuk suspensi. Larutan Na_2SO_4 10% (bk) kemudian ditambahkan ke dalam suspensi tersebut, sehingga total solid suspensi yang terbentuk mencapai 20%. Selanjutnya, suspensi ditambah NaOH 1 M agar pH suspensi mencapai 11.5 – 11.7. Konsentrasi yang dipilih berdasarkan beberapa penelitian sebelumnya Hwang *et al.* (2009) menunjukkan konsentrasi 0.01% tidak cukup untuk terjadinya ikat silang, sehingga digunakan konsentrasi diatas 0.01%. Konsentrasi 0.05% dan 0.1% POCl_3 menghasilkan karakteristik modifikasi ikat silang yang mirip. Wu dan Seib (1990) menggunakan 0.02% POCl_3 dalam modifikasi ikat silang pati jagung dan barley. Perlakuan sampel suspensi dilakukan dengan pengadukan dan penambahan POCl_3 0.015%; 0.020%; 0.050% (bk pati) secara perlahan. Proses modifikasi dilakukan selama 10, 20, 30, 60 menit pada suhu 27–28°C dengan pengadukan menggunakan *stirrer*. Suhu 27–28°C yang digunakan merujuk pada penelitian Wu dan Seib (1990) yang menyatakan bahwa suhu dapat memengaruhi reaksi modifikasi ikat silang pada pH 10.0–10.75, sedangkan pH diatas 11.5 tidak menunjukkan adanya pengaruh suhu terhadap reaksi modifikasi ikat silang. Setelah proses modifikasi, suspensi ditambahkan HCl 1 M hingga mencapai pH 5.5. Kemudian, suspensi disaring dan dicuci dengan air deion menggunakan penyaring vakum serta disaring kembali. Langkah penyaringan dan pencucian dilakukan sebanyak 3 kali. Selanjutnya, endapan pati dikeringkan selama 48 jam pada suhu 40°C.

Karakteristik fisikokimia pati sagu

Analisis karakteristik fisikokimia pati sagu meliputi kejernihan pasta (Muhammad *et al.* 2000); derajat pembengkakan dan kelarutan (Carmona-Garcia *et al.* 2009); profil perubahan viskositas pati dengan suspensi pati 10% menggunakan *rapid visco analyzer*; kekuatan gel menggunakan *texture analyzer* (Lee dan Yoo 2011) dengan memodifikasi jarak probe 15 mm dan tinggi silinder plastik 3.0 cm; kadar air gravimetri (AOAC 2012); morfologi pati dengan mikroskop polarisasi; kadar amilosa (Aliawati 2003); analisis termal *differential scanning calorimetry* (DSC) (Budi 2016); kadar residu klorin metode iodometri; dan derajat putih dengan *whiteness-meter*.

Analisis statistik

Data karakteristik fisikokimia pati sagu dianalisis dengan menggunakan *one way analysis of variance* (ANOVA) *Software* IBM SPSS (Versi 22.0; SPSS Inc. New York, US), apabila terdapat signifikansi pada taraf 5% dilakukan uji lanjut Duncan. Dibuat pula kurva biplot

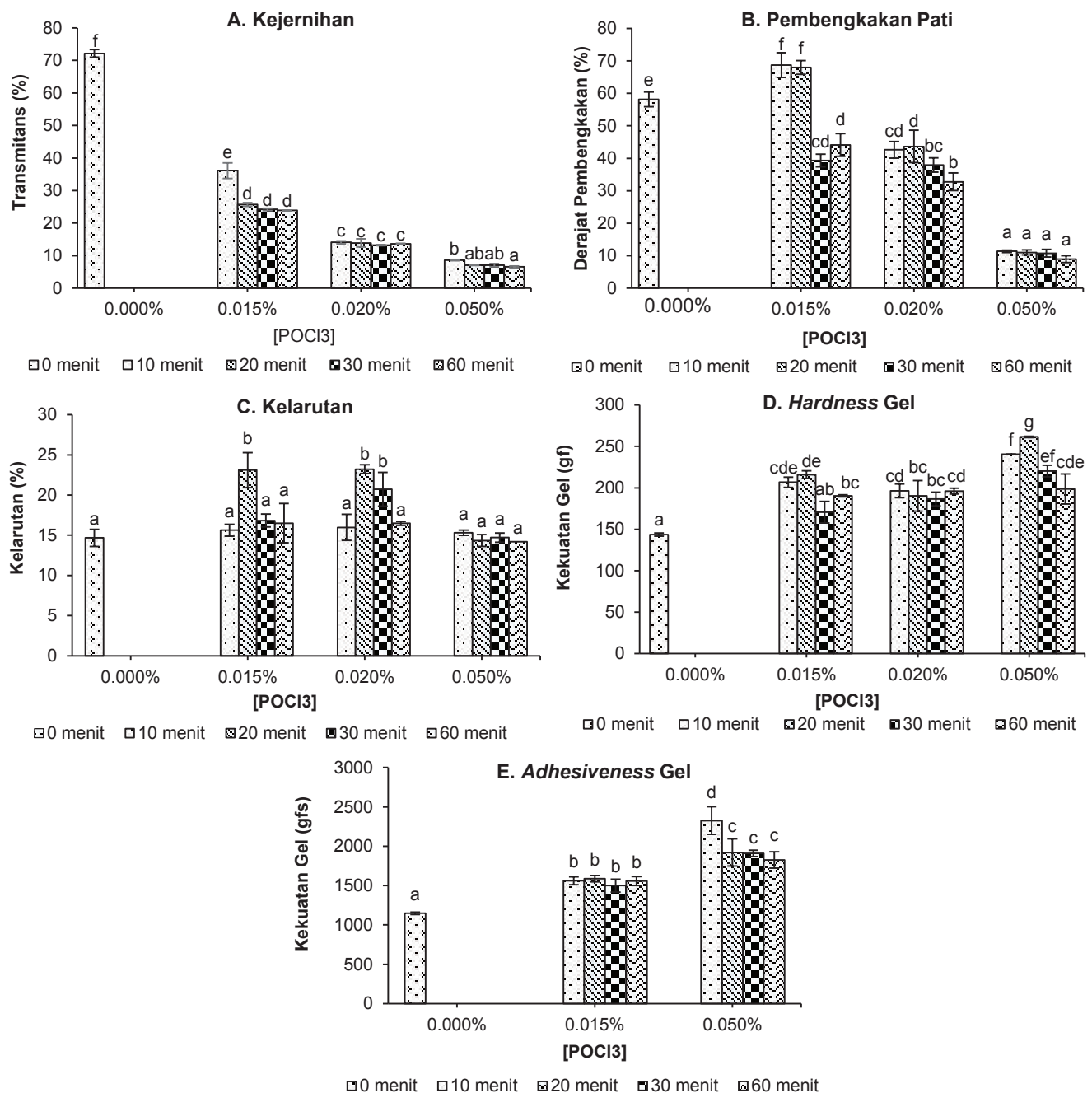
parameter analisis kejernihan pasta, derajat pembengkakan, kekuatan gel, kelarutan, dan profil viskositas dengan metode *principal component analysis* (PCA) menggunakan *Software XLSTAT 2017*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kejernihan pasta dan derajat pembengkakan pati sagu

Kejernihan pasta cenderung menurun seiring dengan meningkatnya konsentrasi POCl_3 (Gambar 1A). Kejernihan pati terendah (6.56%) dicapai pada konsentrasi

0.050% POCl_3 , waktu 60 menit. Hal tersebut sesuai dengan hasil yang diperoleh Wongsagnon *et al.* (2014) dan Heebthong *et al.* (2016). Menurut Reddy dan Seib (2000), kejernihan pasta pati termodifikasi ikat silang lebih rendah dibandingkan pati alami. Ikatan silang yang menggabungkan dua molekul pati menyebabkan struktur molekul pati lebih padat, sehingga sinar yang ditransmisikan pati termodifikasi lebih sedikit dibandingkan pati alami. Kejernihan pasta juga dipengaruhi oleh rasio amilosa terhadap amilopektin pada pati (Craig *et al.* 1989). Derajat pembengkakan pati sagu semakin menurun seiring dengan meningkatnya konsentrasi POCl_3 (Gambar 1B).



Gambar 1. Nilai (A) kejernihan, (B) derajat pembengkakan, (C) kelarutan, (D) *hardness gel* (*gram force*), dan (E) *adhesiveness gel* (*gram force second*) pati sagu alami dan pati termodifikasi ikat silang. Huruf yang sama menunjukkan sampel tidak berbeda nyata pada taraf uji 5% (Uji selang berganda Duncan)

Hasil serupa juga diperoleh Carmona-Garcia *et al.* (2009) dan Hwang *et al.* (2009). Derajat pembengkakan paling rendah dicapai pati modifikasi pada konsentrasi 0.050% POCl₃, 60 menit. Derajat pembengkakan pati dengan perlakuan waktu yang berbeda cenderung menghasilkan nilai yang tidak signifikan. Sebaliknya, perlakuan konsentrasi menghasilkan derajat pembengkakan yang signifikan (Gambar 1B).

Hal tersebut menunjukkan konsentrasi POCl₃ lebih berpengaruh dibandingkan dengan waktu reaksi pada derajat pembengkakan pati. Penurunan derajat pembengkakan disebabkan oleh ikatan silang yang kuat diantara rantai pati sehingga meningkatkan resistensi terhadap pembengkakan dan penghancuran granula pati (Yosif *et al.* 2012). Cai *et al.* (2015) melaporkan bahwa derajat pembengkakan memiliki hubungan positif dengan amilopektin rantai pendek. Amilopektin alami memiliki struktur semi kristalin, yakni hampir 30% komposisinya berbentuk kristal dengan konfigurasi yang rapat sehingga dapat menurunkan derajat pembengkakan pati ketika pati dilarutkan dalam air berlebih dan dipanaskan.

Kekuatan gel dan kelarutan pati sagu

Modifikasi ikat silang secara umum tidak menyebabkan perbedaan yang signifikan terhadap kelarutan pati sagu (Gambar 1C). Terjadi sedikit peningkatan kelarutan pada perlakuan 0.015% dan 0.020% POCl₃ serta sedikit penurunan pada 0.050% POCl₃. Kelarutan menandakan amilosa pada granula pati mengalami pemisahan (Carmona-Garcia *et al.* 2009), sehingga amilosa terlarut dalam air (Carmona-Garcia *et al.* 2009 dan Cai *et al.* 2015). Menurut Hwang *et al.* (2009), konsentrasi POCl₃ berpengaruh besar terhadap penurunan kelarutan pati. Penelitian Majzoobi *et al.* (2012) memperlihatkan terjadinya penurunan kelarutan akibat penambahan POCl₃ dengan konsentrasi tertentu. Penggunaan konsentrasi 0.015; 0.020; dan 0.050% POCl₃ diduga tidak cukup untuk menurunkan kelarutan pati sagu termodifikasi dari pati alaminya, meskipun pH reaksi modifikasi dipertahankan 11.5 hingga 11.7. Terdapat

faktor rantai eksternal amilopektin yang juga berkontribusi terhadap kelarutan pati (Carmona-Garcia *et al.* 2009). Kelarutan terjadi ketika amilosa terlepas dan larut dalam air saat proses pembengkakan pati. Komponen amilopektin di bagian luar struktur molekul pati kemungkinan membentuk permukaan yang menghambat penetrasi air (Cai *et al.* 2015), sekaligus menghambat amilosa yang hendak lepas dan larut.

Perlakuan modifikasi ikat silang memberikan perbedaan yang signifikan terhadap kekuatan gel pati sagu. Kekuatan gel diamati sebagai satuan gaya tekan (gf) dan energi (gfs). Kekuatan gel pati termodifikasi lebih tinggi dibandingkan dengan pati sagu alami (Gambar 1D dan 1E). Kekuatan gel yang dinyatakan dengan nilai gaya tidak memperlihatkan adanya kecenderungan akibat perlakuan. Namun, kekuatan gel dalam bentuk energi menunjukkan kecenderungan peningkatan nilai kekuatan gel seiring dengan peningkatan konsentrasi POCl₃. Kekuatan gel tertinggi dicapai oleh perlakuan 0.050% POCl₃. Majzoobi *et al.* (2012) menyatakan bahwa nilai *setback* yang tinggi menunjukkan bahwa pati termodifikasi lebih mudah mengalami retrogradasi atau membentuk gel. Modifikasi ikat silang meningkatkan nilai *setback*, sehingga modifikasi juga dapat meningkatkan kekuatan gel. Peningkatan *setback* yang diperoleh 2.5 kali dibandingkan dengan pati alaminya. Kurakake *et al.* (2009) menyatakan peningkatan nilai *setback* dapat terjadi 13.4 kalinya dibandingkan pati tanpa perlakuan.

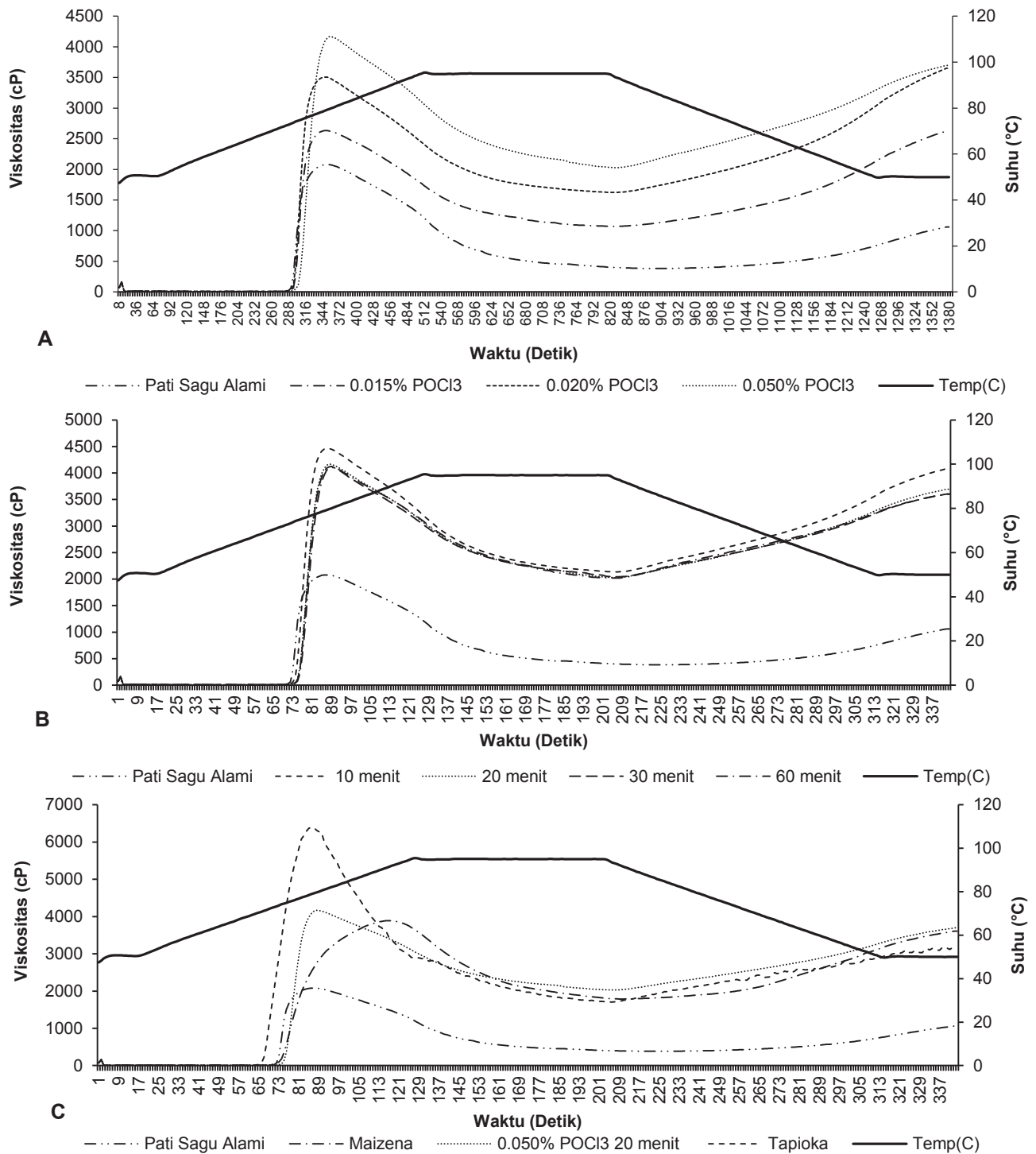
Profil viskositas pasta pati sagu

Pati sagu termodifikasi ikat silang memiliki nilai viskositas puncak, viskositas pada 95°C setelah *holding*, dan viskositas akhir yang lebih tinggi dibandingkan dengan pati alami (Gambar 2A). Suhu gelatinisasi juga cenderung meningkat pada pati sagu termodifikasi dibandingkan alaminya. Hal tersebut sesuai dengan penelitian Malekpour *et al.* (2016) yang menyatakan pati yang dimodifikasi meningkat suhu gelatinisasinya. Suhu *pasting* pati termodifikasi semakin tinggi seiring dengan meningkatnya konsentrasi POCl₃ (Tabel 1).

Tabel 1. Profil viskositas pati sagu alami dan termodifikasi ikat silang

Perlakuan		VP*	VH*	BD*	VA*	SB*	TP*	
[POCl ₃]	Waktu (Menit)	(cP)	(cP)	(cP)	(cP)	(cP)	(°C)	
0.000%	0	2078	383	1695	1059	676	72.80	
	0.015%	10	1652	402	1250	1008	606	72.80
		20	2633	1070	1563	2627	1557	73.20
		30	2650	1101	1549	2693	1592	72.85
0.020%	60	2669	1102	1567	2726	1624	72.85	
	10	3519	1582	1937	3669	2087	73.25	
	20	3504	1623	1881	3648	2025	72.85	
	30	3474	1615	1859	3988	2373	72.85	
0.050%	60	3454	1638	1816	3807	2169	73.25	
	10	4461	2136	2325	4083	1947	73.35	
	20	4170	2029	2141	3694	1665	73.70	
	30	4123	2043	2080	3602	1559	73.70	
	60	4101	2018	2083	3602	1584	73.70	

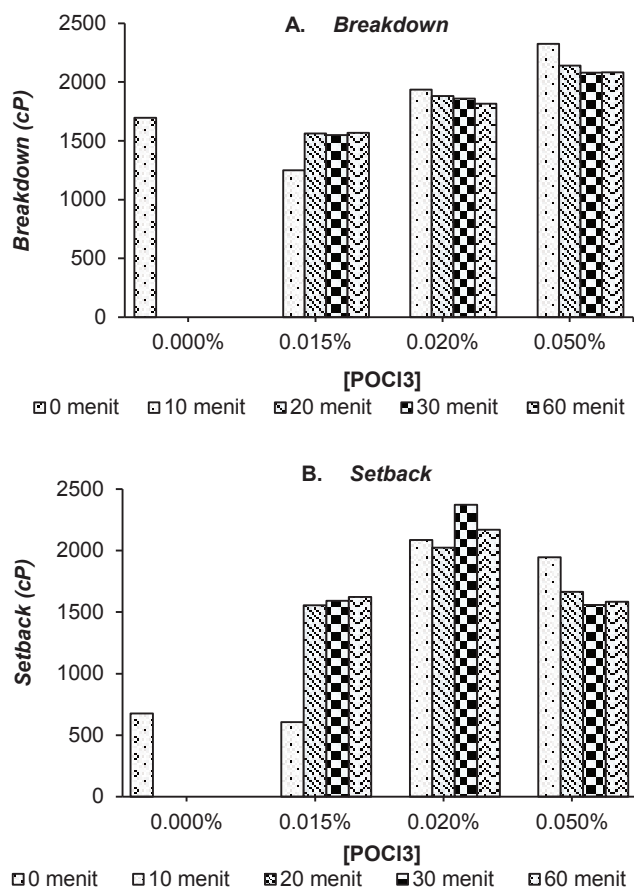
Keterangan: *VP: Viskositas puncak; VH: Viskositas pada suhu 95°C setelah *holding*; BD: *Breakdown*; VA: Viskositas akhir; SB: *Setback*; TP: Suhu *pasting*



Gambar 2. (A) Pengaruh konsentrasi $POCl_3$ dengan waktu reaksi 20 menit terhadap profil viskositas pati sagu termodifikasi ikat silang, (B) Pengaruh waktu reaksi terhadap profil viskositas pati sagu alami dan termodifikasi ikat silang pada konsentrasi 0.050% $POCl_3$, dan (C) Profil viskositas pati sagu alami, sagu termodifikasi ikat silang, tapioka, dan maizena

Penelitian Polnaya *et al.* (2013) menyatakan peningkatan suhu *pasting* mungkin disebabkan oleh pembentukan *distarch phosphate* secara dominan. Viskositas *breakdown* pati sagu termodifikasi lebih tinggi dibandingkan pati alami, kecuali pada konsentrasi 0.015% $POCl_3$ (Gambar 3A). Wattanachant *et al.* (2003), nilai *breakdown* pati sagu hidroksipropilasilikat silang yang lebih tinggi dibandingkan dengan pati alami diduga

disebabkan oleh kurangnya jumlah ikatan silang yang terbentuk. Konsentrasi $POCl_3$ diduga tidak cukup untuk menurunkan nilai *breakdown*. Nilai *setback* pati modifikasi ikat silang lebih tinggi dibandingkan dengan pati alami, kecuali pada perlakuan 0.015% $POCl_3$, 10 menit (Gambar 3B).



Gambar 3. Profil viskositas pati sagu alami dan termodifikasi ikat silang

Peningkatan *setback* terjadi seiring dengan peningkatan konsentrasi POCl₃ dan terjadi penurunan pada 0.050% POCl₃. Konsentrasi POCl₃ sangat memengaruhi profil viskositas pati modifikasi ikat silang (Gambar 2A). Waktu reaksi 10 menit menunjukkan profil viskositas pati yang tidak jauh berbeda dengan waktu reaksi 20, 30, dan 60 menit, tetapi jauh berbeda dari pati sagu alami (Gambar 2B). Hal ini menunjukkan bahwa waktu reaksi 10 menit sudah cukup untuk mengubah profil viskositas pati sagu alami. Kombinasi waktu 10 menit dan 0.015% POCl₃ (Tabel 1) belum mampu menghasilkan profil viskositas pasta pati yang berbeda dari pati sagu alami. Pati sagu alami memiliki viskositas puncak, viskositas pada 95°C setelah *holding*, viskositas akhir, *breakdown*, dan *setback* yang paling rendah di antara pati tapioka dan maizena (Tabel 2).

Suhu *pasting* pati sagu alami lebih tinggi dibandingkan dengan tapioka, tetapi lebih rendah dibandingkan dengan maizena. Sementara itu, pati sagu termodifikasi ikat silang memiliki viskositas pada 95°C setelah *holding*, viskositas akhir, dan suhu *pasting* yang paling tinggi di antara pati alami lainnya. Viskositas puncak dan *breakdown* pati sagu termodifikasi lebih rendah dibandingkan dengan tapioka, tetapi lebih tinggi dibandingkan dengan pati sagu alami dan maizena. Nilai

setback pati sagu termodifikasi lebih tinggi dibandingkan dengan tapioka serta lebih rendah dibandingkan dengan maizena. Perbedaan karakteristik dan profil viskositas pada pati tersebut dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kandungan amilosa, lemak, fosfor, bobot molekul, dan kadar air (Chen *et al.* 2003). Pati sagu termodifikasi ikat silang memiliki karakteristik yang mirip dengan maizena tetapi cukup berbeda dengan tapioka (Gambar 2C).

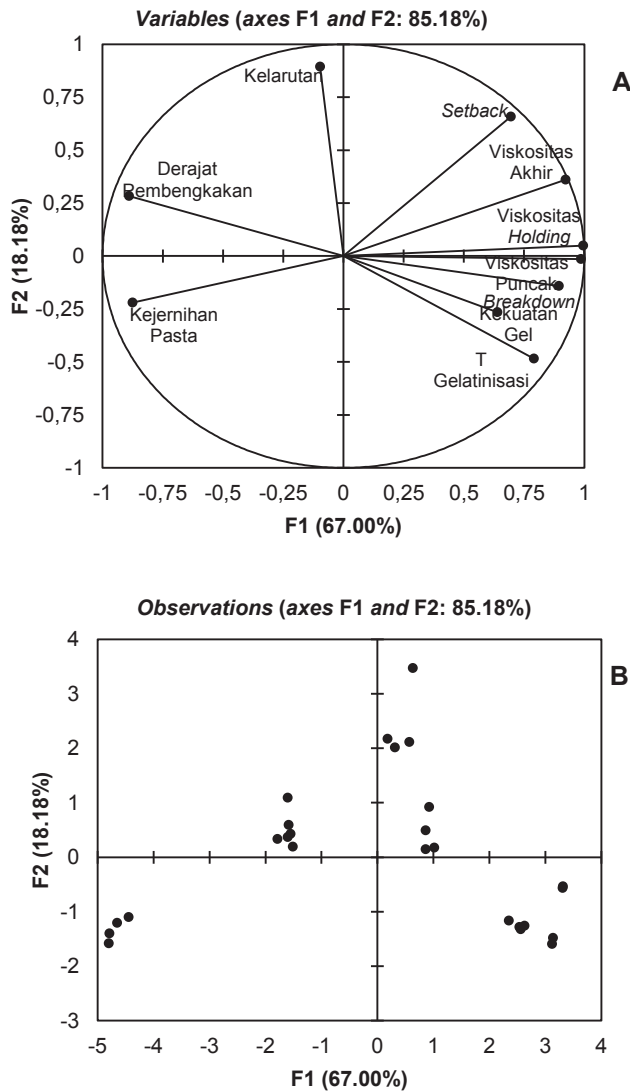
Tabel 2. Profil viskositas pati sagu alami dibandingkan dengan pati alami lain

Jenis Pati	VP* (cP)	VH* (cP)	BD* (cP)	VA* (cP)	SB* (cP)	Tgel* (°C)
Pati sagu alami	2078	383	1695	1059	676	72.80
Pati sagu ikat silang (0.050% POCl ₃ 20')	4170	2029	2141	3694	1665	73.70
Tapioka	6380	1704	4676	3161	1457	70.45
Maizena	3888	1787	2101	3608	1821	72.90

Keterangan: *VP: Viskositas puncak; VH: Viskositas pada suhu 95°C setelah *holding*; BD: *Breakdown*; VA: Viskositas akhir; SB: *Setback*; Tgel: Suhu *pasting*

Principal Component Analysis (PCA)

Principle component analysis (PCA) merupakan upaya pembentukan variabel-variabel baru (F1 dan F2) dari kombinasi linear variabel-variabel asli (konsentrasi POCl₃ dan waktu reaksi). Nilai variabilitas F1 mewakili 67.00% dari total variabilitas, sedangkan variabilitas F2 mewakili 18.18% total variabilitas, sehingga jumlah keduanya mewakili 85.18% total variabilitas (Gambar 4A). Perbedaan posisi sampel memperlihatkan tingkat perbedaan antar hubungan antara faktor, parameter analisis dan sampel (Gambar 4B). Terlihat bahwa pati sagu alami terletak pada kuadran yang berbeda dengan semua perlakuan modifikasi, kecuali K1W1 (0.015% POCl₃, 10 menit). Perlakuan konsentrasi POCl₃ berpengaruh signifikan terhadap posisi sampel pada kuadran karena sampel dengan konsentrasi yang berbeda terletak pada kuadran yang berbeda. Perlakuan waktu reaksi juga dapat memengaruhi posisi sampel, meski tetap berada pada kuadran yang sama. Posisi sampel K1W1 pada kuadran yang sama dengan pati sagu alami menandakan bahwa perlakuan K1W1 tidak mampu mengubah karakteristik pati sagu dari alaminya. Posisi sampel (perlakuan waktu 20, 30, dan 60 menit) cenderung berdekatan satu sama lain dibandingkan perlakuan waktu 10 menit. Berdasarkan hal tersebut, diperkirakan bahwa waktu reaksi 10 menit belum cukup untuk reaksi ikat silang menggunakan POCl₃. Faktor konsentrasi lebih berpengaruh terhadap modifikasi pati ikat silang dibandingkan dengan faktor waktu reaksi.



Gambar 4. (A) Korelasi antara variabel dan faktor, (B) Posisi sebaran sampel pati sagu alami dan termodifikasi ikat silang. K1W1: 0.015% POCl₃, 10 menit; K1W2: 0.015% POCl₃, 20 menit; K1W3: 0.015% POCl₃, 30 menit; K1W4: 0.015% POCl₃, 60 menit; K2W1: 0.020% POCl₃, 10 menit; K2W2: 0.020% POCl₃, 20 menit; K2W3: 0.020% POCl₃, 30 menit; K2W4: 0.020% POCl₃, 60 menit; K3W1: 0.050% POCl₃, 10 menit; K3W2: 0.050% POCl₃, 20 menit; K3W3: 0.050% POCl₃, 30 menit; K3W4: 0.050% POCl₃, 60 menit

Perbedaan karakteristik pati sagu alami dan termodifikasi ikat silang

Pati sagu yang dianalisis perbedaan karakteristiknya ialah pati termodifikasi ikat silang (0.050% POCl₃; 20 menit) dan alami. Pati sagu alami memiliki kadar amilosa 36.37% ± 0.08 dan kadar amilopektin 6.62%± 0.08 (Tabel 3). Kadar amilosa pati sagu termodifikasi ikat silang lebih tinggi 38.05%±0.27 dibandingkan dengan pati sagu alami. Tampak bahwa rasio amilosa terhadap amilopektin pada pati sagu termodifikasi lebih tinggi dibandingkan dengan pati sagu alami. Dapat dikatakan bahwa rasio amilosa terhadap amilopektin dapat meningkat pada pati temodifikasi.

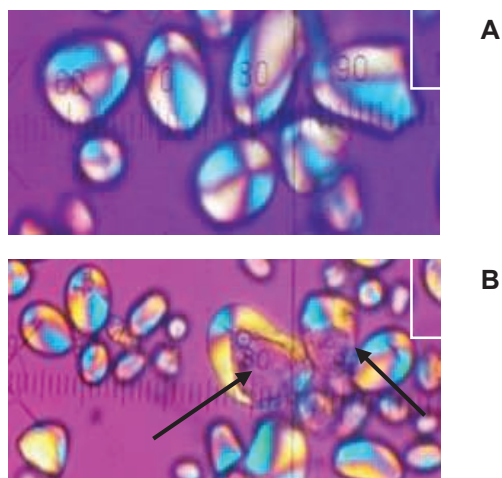
Tabel 3. Karakteristik pati sagu alami dan termodifikasi ikat silang (0.050% POCl₃; 20 menit)

Komponen	Pati Sagu Alami	Pati Sagu Termodifikasi
Air (%)	8.09±0.02	8.99±0.20
Amilosa (%)	36.37±0.08	38.05±0.27
Amilopektin (%)	63.62±0.08	61.95±0.27
Derajat pembengkakan (%)	15.01±0.95	14.26±0.63
Kelarutan (%)	61.31±5.75	10.42±0.25
Kejernihan pasta (%)	72.15±1.16	7.07±0.06
Breakdown (cP)	1695	2141
Setback (cP)	676	1665
Peak viscosity (cP)	2078	4170
Kekuatan gel (gf)	140.0±6.2	261.4±0.8
T ₀ (°C)	67.67	67.66
T _p (°C)	71.68	71.30
T _c (°C)	75.41	75.77
ΔH (J/g)	16.12	23.56
Derajat putih (%)	87.39±0.05	72.36±0.36
Residu klorin (mg/kg)	-	0.0052±0.0015

Pati sagu termodifikasi ikat silang memiliki nilai derajat putih yang lebih rendah jika dibandingkan dengan pati sagu alami. Hal tersebut berlawanan dengan penelitian yang dilakukan Sukhija *et al.* (2016) dimana perlakuan ikat silang dapat meningkatkan derajat putih pati suweg. Derajat putih pati dapat dipengaruhi oleh pH pati saat reaksi ikat silang serta jumlah pencucian. Munarso *et al.* (2004) melakukan pencucian tepung sebanyak lima kali dengan pH reaksi 10.5, sedangkan penelitian ini melakukan pencucian pati sebanyak tiga kali pada pH reaksi 11.5 hingga 11.7.

Granula pati sagu modifikasi ikat silang (Gambar 5B) terlihat mengalami sedikit kerusakan. Kerusakan pola *maltose cross* yang ditunjukkan (tanda panah) pada gambar dapat disebabkan oleh pergantian ikatan hidrogen dengan ikatan fosfat yang menghubungkan molekul pati. Struktur semi kristal pati yang dihubungkan dengan ikatan fosfat membentuk ikatan yang lebih kuat sehingga dapat memengaruhi pola *maltose cross* granula. Suhu transisi (T₀, T_p, T_c) antara pati sagu termodifikasi dan pati alami tidak memiliki perbedaan yang cukup jauh (Tabel 3). Nilai entalpi (ΔH) gelatinisasi pati termodifikasi lebih tinggi dibandingkan dengan pati alaminya (Tabel 3). Kim dan Yoo (2010) melaporkan bahwa ikat silang yang disebabkan POCl₃ secara signifikan mampu meningkatkan nilai entalpi. Ikatan kovalen fosfat yang terbentuk dari POCl₃ membutuhkan energi pemutusan lebih besar dibandingkan dengan ikatan hidrogen yang ada sebelumnya. Nilai entalpi yang rendah menunjukkan bahwa stabilitas struktur kristal yang rendah (Sing *et al.* 2006).

Reaksi ikat silang mampu menghasilkan lima tipe fosfat yaitu monopati monofosfat, monopati difosfat, siklikmonopati monofosfat, dipati monofosfat, dan pati tripolofosfat (Manoi dan Rizvi 2010). Senyawa tersebut dihasilkan pula Cl⁻ pada pati modifikasi yang dapat membentuk ikatan dengan H⁺ (Korma *et al.* 2016). Asam klorida dapat dihilangkan dari produk melalui tahap pencucian. Kadar klorin pada pati sagu termodifikasi ikat silang terdeteksi sebesar 0.0052 mg/kg. Kadar tersebut jauh di bawah batas klorin yang diperbolehkan. FSANZ (2013) membatasi residu klorin yang diperbolehkan yaitu 1 mg/kg untuk semua jenis pangan.



Gambar 5. Pati sagu alami (A); pati sagu modifikasi ikat silang 0.05% POCl₃, 20 menit (B) di bawah mikroskop polarisasi (400x)

KESIMPULAN

Sifat fisikokimia pati sagu alami dapat diubah dengan modifikasi ikat silang. Modifikasi ikat silang tersebut dapat menurunkan kejernihan pasta, kelarutan dan derajat pembengkakan serta dapat meningkatkan viskositas puncak, viskositas setelah *holding* 95°C, viskositas akhir, nilai *setback*, *breakdown*, suhu gelatinisasi, kekuatan gel, kadar amilosa, dan entalpi gelatinisasi. Terjadi kerusakan pola *maltose cross* pada granula pati yang dimodifikasi ikat silang. Perubahan karakteristik pati termodifikasi tersebut sangat dipengaruhi oleh konsentrasi POCl₃ dan modifikasi ikat silang tertinggi dicapai pada konsentrasi 0.050% POCl₃. Waktu reaksi 10 menit diduga tidak cukup untuk terjadinya reaksi ikat silang yang sempurna. Residu klorin terdeteksi pada produk dalam jumlah yang sangat rendah dan dalam batas aman.

DAFTAR PUSTAKA

Aliawati G. 2003. Teknik analisis kadar amilosa dalam beras. *Buletin Teknik Pertanian* Vol 8 No 2: 82-85.
 [AOAC] Association of Official Analytical Chemist. 2012. *Official Methods of Analytical of the Association of Official Analytical Chemist*. AOAC, Washington DC.
 Budi FS. 2016. Peran Reologi Adonan di *Die Head* Ekstruder, Derajat Gelatinisasi dan Kristalinitas Beras Analog pada Karakteristik Fisiknya. [Disertasi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
 Cai J, Man J, Huang J, Liu Q, Wei W, Wei C. 2015. Relationship between structure and functional properties of normal rice straches with different amylose contents. *Carbo Polym* 125: 35-44.
 Carmona-Garcia R, Rivera MMS, Montealvo GM, Montoya BG, Perez LAB. 2009. Effect of the cross-linked reagent type on some morphological. Physi-

cochemical and functional characteristics of banana starch (*Musa paradisiaca*). *Carbohydr Polym* 76: 117-122.
 Chen Z, Schols HA, Voragen AGJ. 2003. Physicochemical properties of starches obtained from three varieties of Chinese sweet potatoes. *JFS* 68(2): 431-437.
 Craig SAS, Maningat CC, Seib PA, Hosney RC. 1989. Starch paste clarity. *Cereal Chem* 66(3): 173-182.
 [FSANZ] Food Standards Australia New Zealand. 2013. Processing aids. <http://www.foodstandards.gov.au/code/Documents/1.3.3%20Processing%20Aids%20v144.docx>.
 Heebthong, Khanarak, Ruttarattanamongkol, Khanitta. 2016. Effects of degree of cross-linking on physical properties, pasting and freeze-thaw stability of cassava starch modified by reactive extrusion process (REX). *Proceedings of The IRES 30th International Conference*, hlm 49-54.
 Himawan H. 2014. Peran sektor kehutanan dalam mendukung kemandirian pangan berbasis sumber daya lokal menyongsong pemberlakuan MEA 2015 (Optimalisasi sagu sebagai sumber pangan nasional). Di dalam: Hutabarat B. Hermanto. Susilowati SH, editor. *Optimalisasi Sumberdaya Lokal melalui Diversifikasi Pangan menuju Kemandirian Pangan dan Perbaikan Gizi Masyarakat Menyongsong Masyarakat Ekonomi ASEAN 2015*. Seminar Nasional Hari Pangan Sedunia ke-33; 2013 Okt 21-22; Padang. Indonesia. Bogor: PSEKP Balitbang Pertanian. hlm 44-59.
 Hwang DK, Kim BY, Baik MY. 2009. Physicochemical properties of non-thermally cross-linked corn starch with phosphorus oxychloride using ultra high pressure (UHP). *Starch* 61: 438-447.
 [Kemendag] Kementerian Perdagangan Republik Indonesia. 2013. Analisis kebijakan impor komoditas food additives and ingredients dalam mengurangi defisit neraca perdagangan. <http://www.kemendag.go.id/id/view/kajian/74>.
 [Kementan] Kementerian Pertanian Republik Indonesia. 2013. Peraturan Menteri Pertanian Nomor 134 Tahun 2013 tentang Pedoman Budidaya Sagu (*Metroxylon* spp) yang Baik. Kementan, Jakarta.
 Kim BY, Yoo B. 2010. Effects of cross-linking on the rheological and thermal properties of sweet potato starch. *Starch/Stärke* 62: 577-583.
 Korma SA, Kamal-Alahmad, Niazi S, Ammar AF, Zaaboul F, Zhang T. 2016. Chemically modified starch and utilization in food stuffs. *Int J Nutr Food Sci* 5(4): 264-272.
 Kurakake M, Akiyama Y, Hagiwara H, Komaki T. 2009. Effects of cross-linking and low molecular amylose on pasting characteristics of waxy corn starch. *Food Chem* 116: 66-70.
 Lee HL, Yoo B. 2011. Effect of hydroxypropylation on physical and rheological properties of sweet potato starch. *LWT-Food Sci Technol* 44:765-770.

- Majzoobi M, Sabery B, Farahnaky A, Karrila TT. 2012. Physicochemical properties of cross-linked-annealed wheat starch. *Polym J* 21: 513-522.
- Malekpour Z, Hojjatoleslami M, Molavi H, Keramat J, Yazdi AG, Shariati MA. 2016. Effects of cross-linking modification with phosphoryl chloride (POCl₃) on physicochemical properties of barley starch. *Potravinarstvo* 10(1): 195-201.
- Manoi K, Rizvi SSH. 2010. Physicochemical characteristics of phosphorylated cross-linked starch produced by reaction supercritical fluid extrusion. *Carbo Polym* 81: 687-694.
- Muhammad K, Hussin F, Man YC, Ghazali HM, Kennedy JF. 2000. Effect of pH on phosphorylation of sago starch. *Carbo Polym* 42: 85-90.
- Munarro SJ, Muchtadi D, Fardiaz D, Syarif R. 2004. Perubahan sifat fisikokimia dan fungsional tepung beras akibat proses modifikasi ikat-silang. *J Pasca-panen* 1(1): 22-28.
- Polnaya FJ, Hariyadi, Marseno DW, Cahyanti MN. 2013. Effects of phosphorylation and cross-linking on the pasting properties and molecular structure of sago starch. *Int Food Res J* 20(4): 1609-1615.
- Reddy I, Seib PA. 2000. Modified waxy wheat starch compared to modified waxy corn starch. *J Cereal Sci* 31: 25-39.
- Singh J, Kaur L, McCarthy OJ. 2007. Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications—A review. *Food Hydrocol* 21(1): 1-22.
- Singh J, McCarthy OJ, Singh H. 2006. Physicochemical and morphological characteristics of New Zealand *Taewa* (Maori potato) starches. *Carbohyd Polym* 64: 569-581.
- Sukhija S, Singh S, Riar CS. 2016. Effect of oxidation, cross-linking and dual modification on physicochemical, crystallinity, morphological, pasting and thermal characteristics of elephant foot yam (*Amorphophallus paeoniifolius*) starch. *Food Hydrocolloids* 55: 56-64.
- Syakir M, Karmawati E. 2013. Potensi tanaman sagu (*Metroxylon spp.*) sebagai bahan baku bioenergi. *Perspektif* 12(2): 57-64.
- Wattanachant S, Muhammad K, Hashim DM, Rahman A. 2003. Effect of crosslinking reagents and hydroxypropylation levels on dual-modified sago starch properties. *Food Chem* 80: 463-471.
- Wongsagonsup R, Pujchakarn T, Jitrakbumrung S, Chaiwat W, Fuongfuchat A, Varavinit S, Dangtip S, Suphantharika M. 2014. Effect of cross-linking on physicochemical properties of tapioca starch and its application in soup product. *Carbo Polym* 101: 656-665.
- Wu Y, Seib PA. 1990. Acetylated and hydroxypropylated distarch phosphates from waxy barley: paste properties and freeze thaw stability. *Cereal Chem* 67(2): 202-208.
- Yosif EI, Gadallah MGE, Sorour AM. 2012. Physicochemical and rheological properties of modified corn starches and its effect on noodle quality. *Annals of Agricultural Science* 57(1): 19-27.

JMP-02-18-004-Naskah diterima untuk ditelaah pada 13 Maret 2017. Revisi makalah disetujui untuk dipublikasi pada 10 Februari 2018. Versi Online: <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jmp>