

Kajian Sifat Fungsional dan Amilografi Pati dengan Penambahan Senyawa Fenolik (Review)

*Functional and Pasting Properties of Starch with Phenolic Compound Addition: Review*Rizka Nadhira¹ and Yana Cahyana¹¹Departemen Teknologi Industri Pangan, Fakultas Teknologi Industri Pertanian, Universitas Padjadjaran*Email korespondensi: nadhirarizka@gmail.com

ARTICLE INFO

Article history

Received: 9 March 2023

Accepted: 10 July 2023

Published: 12 August 2023

*Keywords :**Amilography, Phenolic, Functional, Starch*

Kata kunci :

Amilografi, Fenolik, Fungsional, Pati

ABSTRAK

Pati memegang peranan penting dalam industri pengolahan pangan secara luas. Pati yang digunakan dalam industri pengolahan pangan biasanya berupa pati termodifikasi, yaitu pati yang diberi perlakuan baik secara kimia, fisik maupun enzimatis. Selain modifikasi secara kimia, fisik atau enzimatis, senyawa fenolik dilaporkan mampu memodifikasi sifat fungsional dan amilografi pati. Struktur senyawa fenolik yang memiliki beberapa gugus hidroksil berinteraksi dengan pati. Senyawa fenolik adalah senyawa metabolit sekunder yang memiliki struktur cincin aromatik yang memiliki rantai cabang hidroksil (OH) serta rantai turunannya seperti ester, metil eter, glikosida, dan lain-lain). Senyawa fenolik yang berasal dari berbagai macam tanaman dapat mengubah sifat fungsional dan amilografi pati, diantaranya dapat mengubah sifat gelatinisasi pati, menurunkan kecenderungan retrogradasi serta mengubah sifat amilografi pati sehingga kurang tahan terhadap pemanasan tinggi. Hal tersebut dapat disebabkan oleh adanya interaksi antara gugus hidroksil pada senyawa fenolik dengan pati. Selain itu, pH juga dapat mempengaruhi sifat fungsional dan amilografi pati karena senyawa fenolik sebagian besar memiliki pH rendah.

ABSTRAK

Starch plays an important role in the food processing industry widely. Starch used in the food processing industry is usually a modified starch, which treated with both chemical, physical and enzymatic. In addition to chemical, physical or enzymatic modifications, phenolic compounds are reportedly capable of modifying the functional and pasting properties of starch. The structure of a phenolic compound having several hydroxyl groups interacts with starch. The phenolic compound is a secondary metabolite compound having an aromatic ring structure having a hydroxyl (OH) branch chain and a chain derivative such as ester, methyl ether, glycoside, etc.). Phenolic compounds derived from a variety of plants can alter the functional and pasting properties of starches, among which can change the properties of starch gelatinization, decrease retrogradation tendency and change the pasting properties of starch so less resistant to high heating. This may be due to the interaction between hydroxyl groups in phenolic compounds with starch. In addition, the pH may also affect the functional and pasting properties of starches since most phenolic compounds have a low pH

Pendahuluan

Pati memegang peranan penting dalam industri pengolahan pangan secara luas. Pati yang digunakan dalam industri pengolahan pangan biasanya berupa pati termodifikasi, yaitu pati yang diberi perlakuan baik secara kimia, fisik maupun enzimatis sehingga dapat mengubah sifat fungsional dan amilografi pati menjadi yang diinginkan seperti retrogradasi rendah, kestabilan pada suhu tinggi yang baik, dan lain-lain. Hal ini dikarenakan sifat pati alami yang kurang cocok digunakan pada industri pangan seperti sifat retrogradasi yang tinggi, serta viskositas yang tinggi

(Koswara, 2009). Selain modifikasi secara kimia, fisik atau enzimatis, senyawa fenolik dilaporkan mampu memodifikasi sifat fungsional dan amilografi pati. Struktur senyawa fenolik yang memiliki beberapa gugus hidroksil berinteraksi dengan pati melalui ikatan hidrogen dan ikatan hidrofobik, sehingga dapat menurunkan retrogradasi pati (Zhu, et al., 2009 dan Chi, et al., 2017).

Senyawa fenolik memiliki peran penting pada produk pangan seperti mempengaruhi karakteristik sensori, tekstur dan nutrisi selama pengolahan dan penyimpanan (Goldberg, et al., 1999), contohnya, tannin

(proantosianidin) dapat membentuk kompleks dengan protein sehingga dapat mencegah obesitas (Sugiyama, et al., 2007). Senyawa fenolik mampu memperpanjang daya simpan produk pangan karena memiliki efek antioksidan dan antimikroba (Shan, et al., 2007).

Interaksi antara makromolekul (karbohidrat, protein, lemak) dengan senyawa fenolik dapat membentuk ikatan non-kovalen yang menghasilkan gaya elektrostatis jarak pendek dan gaya Van der Waals. Interaksi non-kovalen antara pati dengan senyawa fenolik pada sistem pangan melibatkan ikatan hidrogen, interaksi hidrofobik dan interaksi elektrostatis dan ionik (Bordenave, et al., 2014). Hasil dari interaksi tersebut dapat mempengaruhi sifat fungsional dan amilografi pati sehingga salah satunya dapat menghambat retrogradasi pati. Kajian mengenai pengaruh senyawa fenolik terhadap sifat fungsional dan amilografi pati masih terbatas, maka dari itu dalam studi literatur ini akan dibahas mengenai pengaruh berbagai jenis senyawa fenolik terhadap sifat fungsional dan amilografi pati.

Pati

Pati adalah polimer karbohidrat yang tersusun atas amilosa dan amilopektin. Amilosa disebut sebagai fraksi terlarut, sedangkan amilopektin sebagai fraksi tidak larut (Arif et al., 2013). Pati dalam bahan pangan terdapat dalam bentuk granula, yaitu tempat dimana amilosa dan amilopektin berada. Struktur granula pati tersusun secara kompleks dan dipengaruhi oleh asal botaninya (Buleon, et al., 1998). Ukuran granula pati bervariasi dari diameter 2-100 μm . Granula pati terdiri dari bagian amorf dan bagian kristalin. Bagian kristalin terbentuk dari rantai pendek molekul amilopektin yang tersusun membentuk gugus. Bagian titik percabangan rantai amilopektin disebut dengan bagian amorf (Liu, 2005).

Struktur granula pati dipengaruhi oleh amilosa dan amilopektin yang terikat oleh ikatan hidrogen. Adanya ikatan $\alpha\text{-D-(1-4)}$ -glikosidik pada amilopektin menyebabkan terbentuknya zona antara bagian amorf dan kristalin. Ketika ikatan hidrogen semakin kuat, banyak dan teratur, rantai akan membentuk bagian kristalin. Namun pada bagian amorf, ikatan hidrogen cenderung lemah (Liu, 2005).

Sifat fungsional pati berguna dalam pemanfaatan pati untuk produk pangan maupun non-pangan (Zhu, 2010).

Sifat fungsional pati sangat berhubungan dengan sifat-sifat setelah dilakukan pengolahan/pemasakan. Berikut merupakan beberapa sifat fungsional pati.

Gelatinisasi

Gelatinisasi merupakan proses pembengkakan granula pati ketika dipanaskan dalam media air (Rahman, 2007). Pembengkakan granula pati akan meningkat seiring dengan naiknya suhu. Menurut Rahman (2007) ketika granula pati dipanaskan dalam air, granula pati mulai mengembang. Pengembangan pati terjadi pada daerah amorf granula pati. Ikatan hidrogen yang lemah antar molekul pati pada daerah amorf akan terputus saat pemanasan, sehingga terjadi hidrasi air oleh granula pati. Bagian amorf pada kandungan amilosa lebih banyak dibandingkan kandungan amilopektinnya (Musita, 2009).

Retrogradasi

Retrogradasi pati digunakan untuk mendeskripsikan perubahan pati setelah mengalami gelatinisasi. Retrogradasi pati merupakan proses ketika molekul pati yang sudah mengalami gelatinisasi bergabung kembali selama pendinginan membentuk struktur teratur seperti heliks ganda (Liu, 2005 dan Zhu, 2010). Retrogradasi amilosa pada pengolahan pangan berkaitan dengan sifat lengket, kemampuan untuk menyerap air dan daya cerna, sedangkan retrogradasi pada amilopektin berkaitan dengan staling pada roti dan kue (Copeland, et al., 2009).

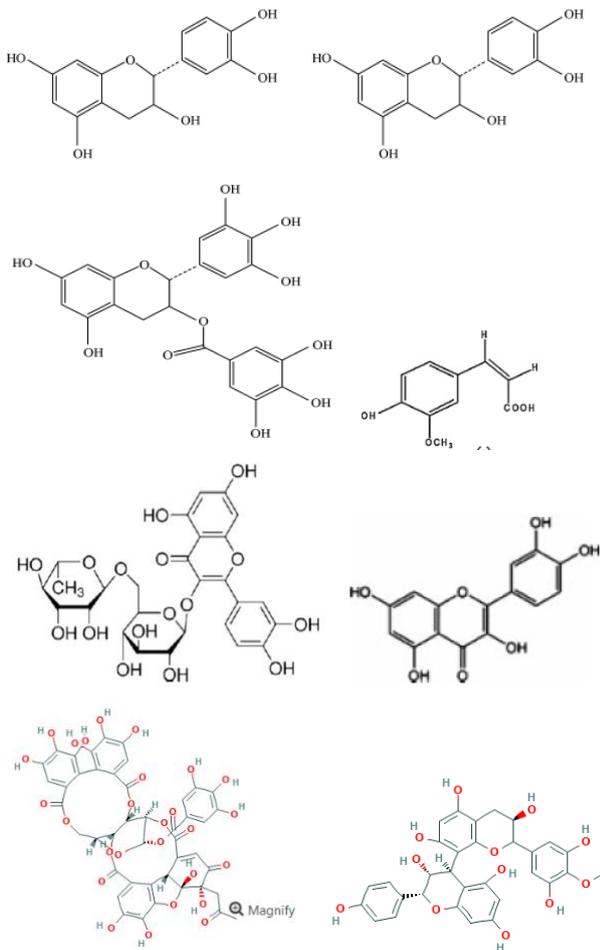
Sifat Amilografi Pati

Sifat amilografi berkaitan dengan pengukuran viskositas pati dengan konsentrasi tertentu selama pemanasan dan pengadukan. Secara umum, pasta pati dapat dideskripsikan sebagai dua fase yang terdiri dari fase granula pati mengembang dan fase dimana amilosa larut. Karakteristik rheologi pati dipengaruhi oleh berbagai macam faktor, seperti rasio amilosa/ amilopektin, komponen minor, panjang rantai molekul amilosa dan amilopektin, konsentrasi pati, dan suhu. (Liu, 2005).

Senyawa Fenolik

Senyawa fenolik adalah senyawa metabolit sekunder yang dihasilkan tanaman dan memiliki fungsi baik untuk tanaman itu sendiri maupun bagi manusia. Senyawa

fenolik memiliki manfaat diantaranya sebagai antioksidan, anti bakteri dan banyak lagi (Zhu, et al., 2008). Struktur senyawa fenolik yang paling khas adalah cincin aromatik yang memiliki rantai cabang hidroksil (OH) serta rantai turunannya seperti ester, metil eter, glikosida, dan lain-lain). Senyawa fenolik yang banyak ditemukan pada tanaman sebagian besar merupakan senyawa bioaktif dan memiliki dua atau lebih gugus hidroksil pada strukturnya (Ho, 1992). Berikut merupakan beberapa struktur senyawa fenolik yang terdapat pada studi literatur ini.



Gambar 1. Epicatechin (a), epigallocatechin (b), epigallocatechin gallate (c), asam ferulik (d), rutin (e), quercetin (f), ellagitannin (g) dan proantosianidin (h) (Wu, et al., 2015; Kumar dan Pruthi, 2014; Zhu, et al., 2008; pubchem)

Pembahasan SIFAT FUNGSIONAL

Gelatinisasi

Proses gelatinisasi dan retrogradasi merupakan sifat fungsional yang penting dalam diversifikasi produk pangan berbahan dasar pati. Senyawa fenolik yang

ditambahkan ke dalam pati dapat mempengaruhi sifat fungsional tersebut (Zhu, et al., 2015). Proses gelatinisasi dapat diketahui dengan cara mengukur suhu puncak gelatinisasi (T_g) dan entalpi gelatinisasi (ΔH_g) menggunakan DSC (Differential Scanning Colorimetry). Suhu puncak gelatinisasi (T_g) yang tinggi menunjukkan ketahanan pati terhadap gelatinisasi, dimana struktur kristalin tersusun lebih banyak dibandingkan dengan struktur amorf (Barichello, et al., 1990), sementara entalpi gelatinisasi (ΔH_g) adalah jumlah energi yang dibutuhkan untuk mengubah struktur kristalin pati alami menjadi struktur amorfnya. Semakin tinggi ΔH_g maka ketahanan pati terhadap panas semakin besar sehingga dapat menghambat gelatinisasi lebih lanjut (Wu, et al., 2015).

Berdasarkan Wu, et al. (2015) beras yang diberi penambahan beberapa jenis katekin dapat menurunkan T_g namun ΔH_g tidak berbeda dengan kontrolnya. Berbeda dengan Karunaratne dan Zhu (2016) dimana penambahan asam ferulik pada pati maizena dapat menurunkan T_g dan ΔH_g . Penurunan ΔH_g terjadi seiring dengan peningkatan konsentrasi asam ferulik yang ditambahkan. Lain halnya dengan Zhu dan Wang (2012) dimana penambahan rutin pada beras dapat menurunkan T_g namun meningkatkan ΔH_g , namun peningkatan konsentrasi rutin lebih lanjut menyebabkan penurunan ΔH_g pada beras. Xu, et al. (2017) menemukan bahwa penambahan ekstrak pigmen daun *Vaccinium bracteatum* Thunb. pada beras (pengaruh senyawa fenolik terhadap sifat fungsional pati dapat dilihat pada tabel 1 dan 2) dapat menurunkan T_g dan ΔH_g seiring dengan peningkatan konsentrasi ekstrak. Menurut Zhu, et al. (2009) penambahan ekstrak kulit buah pomegranate, daun teh hijau dan buah chinese hawthorn meningkatkan T_g dan menurunkan ΔH_g pada pati gandum, sementara pati gandum dengan penambahan ekstrak buah chinese gall memiliki hasil yang berlawanan. Sharma, et al. (2013) menyatakan adanya senyawa fenolik yang berinteraksi dengan pati dapat menghambat proses gelatinisasi disebabkan oleh bersaingnya senyawa tersebut dengan pati untuk dapat mengikat air, sehingga menyebabkan peningkatan ketahanan pati terhadap panas. Senyawa fenolik juga dapat mempengaruhi pH, menjadikan pH pada pati rendah sehingga dapat mengubah sifat gelatinisasinya (Zhu, et al., 2009).

Tabel 1. Sifat Fungsional dan Amilografi Pati dengan Penambahan Senyawa Fenolik

Pati	Senyawa Fenolik	Sifat Fungsional		Sifat Amilografi	Referensi
		Gelatinisasi	Retrogradasi		
Beras	<i>Epicatechin</i> , <i>epigallocatechin</i> dan <i>epigallocatechin gallate</i>	√	√	√	Wu, et al (2015)
Maizena	Asam ferulik	√	√	√	Karunaratne dan Zhu (2016)
Beras	Rutin	√	√	-	Zhu dan Wang (2012)

Tabel 2. Sifat Fungsional dan Amilografi Pati dengan Penambahan Ekstrak Tanaman yang Mengandung Senyawa Fenolik

Pati	Senyawa Fenolik		Sifat Fungsional		Sifat Amilografi	Referensi
	Sumber	Kandungan utama	Gelatinisasi	Retrogradasi		
Beras	Pigmen daun <i>Vaccinium bracteatum</i> Thunb.	Quercetin	√	√	√	Xu, et al (2017)
Beras, chickpea dan ubi jalar	Jinten hitam	Thymoquinone	-	-	√	Alamri, et al (2016)
Gandum	<ul style="list-style-type: none"> • kulit buah <i>pomegranate</i> • buah <i>chinese gall</i> • daun teh hijau • buah <i>chinese hawthorn</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • ellagitannin • gallotannin • <i>epicatechin gallate</i> • proantosianidin 	√	-	√	Zhu, et al (2009)

Retrogradasi

Proses retrogradasi pati dapat diketahui salah satunya dengan cara mengukur entalpi retrogradasi (ΔH_r) menggunakan DSC. Entalpi retrogradasi (ΔH_r) adalah energi yang dibutuhkan untuk melelehkan amilopektin yang telah terekristalisasi atau mengalami retrogradasi. Semakin rendah nilai entalpi retrogradasi maka kecenderungan pati untuk mengalami retrogradasi semakin rendah pula (Wu, et al., 2015 dan Karunaratne dan Zhu, 2016). Wu, et al. (2015) menyatakan bahwa penambahan berbagai macam katekin terhadap beras dapat menurunkan ΔH_r dengan lama penyimpanan 30 hari dibandingkan dengan perlakuan kontrol. Karunaratne dan Zhu (2016) menyatakan bahwa penambahan asam ferulik pada pati maizena dapat menurunkan ΔH_r pada penyimpanan hingga 21 hari seiring dengan meningkatnya konsentrasi asam ferulik. Hal ini sesuai dengan Zhu dan Wang (2012) dimana penambahan rutin pada beras dapat menghambat retrogradasi dengan baik selama 7 hari dengan cara menurunkan ΔH_r . Xu, et al. (2017) mengungkapkan bahwa penambahan ekstrak pigmen daun *Vaccinium bracteatum* Thunb. pada beras dapat menurunkan ΔH_r dengan lama penyimpanan 15 hari. Menurut Chai, et al. (2013) terhambatnya retrogradasi

disebabkan oleh interaksi antara senyawa fenolik dengan rantai amilosa sehingga interaksi antara rantai pati menjadi berkurang. Hal ini dapat menghambat pembentukan kembali formasi amilosa.

Sifat Amilografi

Sifat amilografi berkaitan dengan pengukuran viskositas pati dengan konsentrasi tertentu selama pemanasan dan pengadukan. Sifat amilografi tepung atau pati dapat dianalisis menggunakan alat *Rapid Visco Analyzer* (RVA) (Singh, et al., 2003). Terdapat tiga jenis viskositas pada pengukuran sifat amilografi yang dapat menggambarkan karakteristik pati ketika dipanaskan, salah satunya yaitu viskositas puncak (V_p), viskositas *breakdown* (V_b) dan viskositas *setback* (V_s).

Viskositas puncak (V_p) adalah viskositas maksimum yang dihasilkan dari proses gelatinisasi pati selama dipanaskan dalam air, dimana akan menunjukkan kapasitas granula pati dalam mengikat air (Wu, et al., 2015). Xu, et al. (2017) menyatakan dimana penambahan ekstrak pigmen daun *Vaccinium bracteatum* Thunb. dapat meningkatkan V_p . Wu, et al. (2015) menyatakan bahwa penambahan katekin yang berbeda seperti *epicatechin*,

epigallocatechin dan *epigallocatechin gallate* pada beras dapat meningkatkan Vp dengan peningkatan Vp tertinggi diperoleh dari penambahan *epigallocatechin gallate*. Sesuai dengan Zhu, et al. (2009) pula bahwa penambahan ekstrak kulit buah *pomegranate*, buah *chinese gall* dan daun teh hijau terhadap pati gandum dapat meningkatkan Vp sementara penambahan ekstrak buah *chinese hawthorn* tidak mempengaruhi Vp pati gandum. Berbeda dengan Karunaratne dan Zhu (2016) dimana penambahan asam ferulik terhadap pati maizena dapat menurunkan Vp. Sesuai dengan Alamri, et al. (2016) dimana penambahan ekstrak jinten hitam dapat menurunkan Vp beras, pati ubi jalar dan pati *chickpea*. Senyawa fenolik yang memiliki beberapa gugus hidroksil dapat meningkatkan viskositas puncak dengan cara bersaing dengan pati untuk dapat berikatan dengan pati melalui proses hidrasi. Interaksi antara gugus hidroksil pada senyawa fenolik dengan molekul air akan merubah aktifitas air dan kekuatan ion pada air, dimana pati biasanya bersifat elektronegatif (Zhu, et al., 2009). Penurunan viskositas puncak dapat disebabkan oleh tipe senyawa fenolik yang memiliki pH rendah sehingga interaksi antar pati menjadi berkurang (Karunaratne dan Zhu, 2016).

Viskositas *breakdown* (Vb) menunjukkan tingkat kestabilan pati saat dipanaskan pada suhu 95°C. Tingginya Vb menandakan bahwa pati tersebut tidak tahan terhadap pemanasan dan pemasakan dalam suhu tinggi (Wu, et al., 2015). Zhu, et al. (2009) menyatakan bahwa penambahan ekstrak kulit buah *pomegranate*, daun teh hijau, buah *chinese hawthorn* dan buah *chinese gall* dapat meningkatkan viskositas *breakdown* pati gandum. Sesuai dengan Wu, et al. (2015) dimana penambahan berbagai jenis katekin dapat meningkatkan Vb beras. Sejalan dengan Xu, et al. (2017) dimana penambahan ekstrak pigmen daun *Vaccinium bracteatum* Thunb. pada beras dapat meningkatkan Vb. Peningkatan viskositas *breakdown* disebabkan karena peningkatan pemecahan granula pati selama proses pemanasan serta pengadukan. Hal ini yang menyebabkan banyaknya air yang terabsorpsi ke dalam granula pati sehingga melemahkan struktur granula pati. Selain itu, adanya senyawa fenolik juga dapat meningkatkan absorpsi air ke dalam pati (Wu, et al., 2015). Menurut Hwang, et al. (2008) peningkatan viskositas terjadi karena adanya penetrasi air ke dalam pati ditambah

dengan adanya interaksi senyawa fenolik dengan amilosa atau amilopektin dengan membentuk ikatan hidrogen.

Viskositas *setback* (Vs) menunjukkan adanya kekuatan gel selama pendinginan untuk menentukan kecenderungan amilosa melakukan retrogradasi. Rendahnya Vs menandakan bahwa pati tersebut tidak mudah mengalami retrogradasi (Wu, et al., 2015). Menurut Xu, et al. (2017) penambahan ekstrak pigmen daun *Vaccinium bracteatum* Thunb. pada beras dapat menurunkan Vs. Menurut Alamri, et al. (2016) penambahan ekstrak jinten hitam dapat menurunkan Vs beras, pati ubi jalar dan pati *chickpea*. Sejalan dengan Karunaratne dan Zhu (2016) dimana penambahan asam ferulik dapat menurunkan Vs pati maizena. Wu, et al. (2015) menyatakan bahwa penambahan *epigallocatechin* dan *epigallocatechin gallate* pada beras dapat menurunkan Vs. Sesuai pula dengan pernyataan Zhu, et al. (2009) dimana penambahan ekstrak kulit buah *pomegranate*, buah *chinese gall* dan buah *chinese hawthorn* dapat menurunkan Vs pati gandum. Menurut Alamri, et al. (2016) senyawa fenolik dapat memberikan ruang antara molekul amilosa sehingga mencegah terbentuknya kembali rantai amilosa dan menghambat terjadinya retrogradasi.

Kesimpulan

Senyawa fenolik yang berasal dari berbagai macam tanaman dapat mengubah sifat fungsional dan amilografi pati, diantaranya dapat mengubah sifat gelatinisasi pati, menurunkan kecenderungan retrogradasi serta mengubah sifat amilografi pati sehingga kurang tahan terhadap pemanasan tinggi. Hal tersebut dapat disebabkan oleh adanya interaksi antara gugus hidroksil pada senyawa fenolik dengan pati. Selain itu, pH juga dapat mempengaruhi sifat fungsional dan amilografi pati karena senyawa fenolik sebagian besar memiliki pH rendah. Literatur yang ada belum menjelaskan mengenai mekanisme interaksi antara senyawa fenolik dengan pati, maka dari itu perlu dilakukan kajian dan penelitian mengenai sifat kristalinitas menggunakan XRD serta mengetahui gugus fungsi menggunakan FTIR untuk mengetahui ikatan dan mekanisme apa saja yang terjadi pada interaksi antara senyawa fenolik dengan pati.

Daftar Pustaka

- Alamri, M., S. Hussain, A. Mohamed, A.A.A. Qasem dan M. Ibrahim. 2016. A Study on the Effect of Black Cumin Extract on the Swelling Power, Textural and Pasting Properties of Different Starches. *Starch* 68: 1-11
- Arif, A. B., A. Budiyanto dan Hoerudin. 2013. Nilai Indeks Glikemik Produk Pangan dan Faktor-Faktor yang Mempengaruhinya. *Jurnal Litbang Pertanian* 32(3): 91-99
- Barichello, V., Yada, R. Y., Coffin, R. H., dan D. W. Stanley. 1990. Low Temperature Sweetening in Susceptible and Resistant Potatoes: Starch Structure and Composition. *Journal of Food Science* 55:1054-1059
- Bordenave, N., B. R. Hamaker, dan M. G. Ferruzzi. 2014. Nature and Consequences of Non-Covalent Interactions Between Flavonoids and Macronutrients in Food. *Food and Function* 5: 18-34
- Buleon, A., P. Colonna, V. Planchot dan S. Ball. 1998. Starch Granules: Structure and Biosynthesis. *International Journal of Biological Macromolecules* 23: 85-112
- Chai, Y., M. Wang, dan G. Zhang. 2013. Interaction between Amylose and Tea Polyphenols Modulates the Postprandial Glycemic Response to High-Amylose Maize Starch. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 61: 8608-8615
- Chi, C., X. Li, Y. Zhang, L. Chen, L. Li dan Z. Wang. 2017. Digestibility and Supramolecular Structural Changes of Maize Starch by Non-Covalent Interactions with Gallic Acid. *Food and Function* 8(2):720-730
- Copeland, L., J. Blazek, H. Salman dan M. C. Tang. 2009. Form and Functionality of Starch. *Food Hydrocolloids* 23: 1527-1534
- Goldberg, D. M., B. Hoffman, J. Yang, dan G. J. Soleas. 1999. Phenolic Constituents, Furans, and Total Antioxidant Status of Distilled Spirits. *Journal Agricultural Food Chemistry* 47: 3978-3985
- Ho, C. T. 1992. Phenolic Compounds in Food Dalam Ho, C. T., C. Y. Lee, M. T. Huang. Phenolic Compounds in Food and Their Effects on Health I. American Chemical Society, New Jersey
- Hwang, J. Y., W. C. Sung dan Y. S. Shyu. 2008. Effect of Mulberry Lees Addition on Dough Mixing Characteristics and the Quality of Mulberry Toast. *Journal of Marine Science and Technology* 16(2): 103-108
- Karunaratne, R dan F. Zhu. 2016. Physicochemical Interactions of Maize Starch with Ferulic Acid. *Food Chemistry* 199: 372-379
- Koswara, S. 2009. Teknologi Modifikasi Pati. Available online at www.ebookpangan.com (Diakses pada tanggal 7 Januari 2017).
- Kumar, N., dan V. Pruthi. 2014. Potential applications of ferulic acid from natural sources. *Biotechnology Reports* 4:86-93
- Liu, Q. 2005. Understanding Starches and Their Role in Foods. Di dalam Cui, S. W. *Food Carbohydrates Chemistry, Physical, Properties, and Applications*. CRC Press, Boca Raton.
- Musita, N. 2009. Kajian Kandungan dan Karakteristik Pati Resisten dari Berbagai Varietas Pisang. *Jurnal Teknologi Industri dan Hasil Pertanian* 14(1):68-79
- Rahman, A. M. 2007. Mempelajari Karakteristik Kimia dan Fisik Tepung Tapioka dan Mocaf (Modified Cassava Flour) Sebagai Penyalur Kacang pada Produk Kacang Salut. Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor, Bogor
- Shan, B., Y. Z. Cai, M. Sun dan H. Corke. 2007. The in vitro Antibacterial Activity of Dietary Spice and Characterization of Their Phenolic Constituents. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53: 7749-7759
- Sharma, P., V. Velu, D. Indrani dan R. P. Singh. 2013. Effect of Dried Guduchi (*Tinospora cordifolia*) Leaf Powder on Rheological, Organoleptic and Nutritional Characteristics of Cookies. *Food Research International* 50: 704-709
- Singh, U., W. Voraputhaporn, P.V. Rao dan R. Jambunathan. 2003. Physicochemical Characteristics of Pigeonpea and Mung Bean Starches and Their Noodle Quality. *Journal of Food Science* 54(5)
- Sugiyama, H., Y. Akazome, T. Shoji, A. Yamaguchi, M. Yasue, T. Kanda, dan Y. Ohtake. 2007. Oligomeric Procyanidins in Apple Polyphenol are Main Active Components for Inhibition of Pancreatic Lipase and Tryglyceride Absorption. *Journal Agricultural Food Chemistry* 55: 4604-4609
- Wu, Y., H. Xu, Q. Lin dan Y. Liu. 2015. Pasting, Thermal and Rheological Properties of Rice Starch in Aqueous Solutions with Different Catechins. *Journal of Food Processing and Preservation* 39: 2074-2080
- Xu, Y. M. Fan, S. Zhou, L. Wang, H. Qian, H. Zhang, X. Qi. 2017. Effect of *Vaccinium bracteatum* Thunb. Leaf Pigment on the Thermal, Pasting, and Textural Properties and Microstructure Characterization of Rice Starch. *Food Chemistry* 228: 435-440
- Zhu, F. 2010. Interactions of Carbohydrates with Phenolic Compounds. Thesis, University of Hongkong, Pokfulam
- Zhu, F. 2015. Interaction Between Starch and Phenolic Compound. *Trends in Food Science and Technology* 43: 129-143
- Zhu, F., dan Y. J. Wang. 2012. Rheological and thermal properties of rice starch and rutin mixtures. *Food Research International* 49: 757-762
- Zhu, F., Y. Z. Cai, M. Sun dan H. Corke. 2008. Effect of Phenolic Compound on the Pasting and Textural Properties of Wheat Starch. *Starch* 60: 609-616
- Zhu, F., Y. Z. Cai, M. Sun dan H. Corke. 2009. Effect of Phytochemical Extracts on the Pasting, Thermal, and Gelling Properties of Wheat Starch. *Food Chemistry* 112: 919-923