

PERUBAHAN SIFAT FISIKOKIMIA DAN FUNGSIONAL PATI MODIFIKASI OZON FASE CAIR

CHANGES IN PHYSICOCHEMICAL AND FUNCTIONAL PROPERTIES OF STARCH MODIFICATION WITH LIQUID PHASE OZONE

Oleh:
Kejora Handarini

E-mail:
yorasusena28@gmail.com

Program Studi Teknologi Pangan Fakultas Pertanian Universitas Dr. Soetomo

ABSTRAK

Review ini bertujuan untuk menjelaskan mengenai perubahan sifat fisikokimia dan fungsional dari berbagai sumber pati yang dimodifikasi menggunakan ozon fase cair. Penjelasan termasuk mengenai sumber pati yang digunakan, waktu kontak ozon, laju alir dan konsentrasi, serta sumber oksigen yang digunakan. Pati alami memiliki beberapa sifat yang terbatas seperti retrogradasi yang tinggi, membutuhkan energi pemasakan tinggi, pasta yang terbentuk keras dan tidak bening, sifatnya lengket, tidak tahan perlakuan asam, dan kekuatan pembengkakannya rendah. Modifikasi ozon fase cair, merupakan usaha untuk memperbaiki sifat alami pati. Metode ini menyebabkan perubahan gugus hidroksil menjadi gugus karbonil dan karboksil sehingga akan mempengaruhi sifat fisikokimia dan sifat fungsional lainnya. Ozon dipilih karena merupakan zat oksidator kuat yang tidak meninggalkan residu, dapat diproduksi langsung di tempat, tidak membutuhkan tempat untuk penyimpanan, tidak menghasilkan limbah kimia, dan status GRAS dari FDA USA. Perubahan sifat akibat modifikasi ozon dapat meningkatkan sifat fisikokimia, dan fungsionalnya, sehingga diharapkan aplikasi pati menjadi lebih luas.

Keyword: pati, ozon fase cair, modifikasi, sifat fisikokimia dan fungsional

ABSTRAC

This review aims to explain the changes in the physicochemical and functional properties of various starch sources modified using liquid phase ozone. Explanations include the starch source used, ozone contact time, flow rate and concentration, and oxygen source used. Native starch has some limited properties such as high of retrogradation, energy requirement, hard and opaque paste formed, sticky nature, not resistant to acid treatment, and low swelling strength. Modification of liquid phase ozone, is an attempt to improve the natural properties of starch. This method causes a change in the hydroxyl group to a carbonyl and carboxyl group, so that it will affect physicochemical and other functional properties. Ozone was chosen because it is a strong oxidizing agent, leaves no residue, can be produced directly on site, does not require storage space, does not produce chemical waste, and is GRAS status from the USA FDA. Changes in properties due to ozone modification can improve the physicochemical and functional properties, so it is expected that starch applications will be wider.

Keyword: starch, liquid phase ozone, modification, physicochemical, functional properties

PENDAHULUAN

Pati merupakan biopolimer yang bersifat biocompatible, biodegradable, polimer yang tidak beracun, serta jumlahnya sangat melimpah, dapat menjadi sumber daya alam yang dapat diperbaharui, dan sifat lain yang penting adalah sangat dibutuhkan baik oleh industri pangan maupun non pangan (Olasupo et al., 2013). Namun sayangnya pati alami memiliki beberapa kelemahan sehingga pemanfaatannya sangat terbatas. Beberapa sifat pati alami tersebut adalah sulit larut dalam air dingin, tingginya retrogradasi, pasta yang terbentuk juga cukup keras, memiliki sifat pengembangan yang rendah, dan pada proses pemasakannya membutuhkan waktu yang cukup lama. Untuk meningkatkan kegunaan pati alami secara luas banyak dilakukan tindakan memodifikasi pati.

Pati dalam kegunaannya memiliki peran yang penting, sebagai contoh pada bahan pangan, tekstil, farmasi, industri kertas dan juga bagi industri polimer sintetik (Lawal & Adebawale, 2005). Manfaat pati dalam industri pangan adalah untuk memperbaiki tekstur, viskositas, pembentukan gel, sifat adhesi, pengikatan, mencegah kelembaban, pembentukan film dan berperan dalam homogenitas produk pangan. Berbagai contoh penggunaan pati dalam produk pangan adalah pada pembuatan sup, saus, gravies (kuah daging), produk roti, permen, susu, makanan ringan, batters, coating dan produk daging. Pati dapat digunakan untuk mengontrol viskositas dari bubur bahan pangan dan meningkatkan stabilitas pangan selama pemrosesan dan penyimpanan (Kaur et al., 2012).

Untuk mendapatkan sifat pati sesuai dengan kebutuhan industri, maka perlu dilakukan tindakan modifikasi pati. Beberapa metode modifikasi pati antara lain adalah hidrolisis asam, hidrolisis enzim, modifikasi fisik, modifikasi ikatan silang (cross linking) dan modifikasi asetilasi, dan oksidasi (Olasupo et al., 2013). Metode oksidasi merupakan metode modifikasi pati yang paling banyak dilakukan karena mudah pelaksanaannya. Modifikasi pati secara oksidasi, akan meningkatkan gugus karbonil dan karboksil dalam pati (Wurzburg, 1986) serta terjadinya depolimerisasi pati menjadi fraksi yang lebih kecil,

Memodifikasi pati oksidasi banyak dilakukan dengan bahan kimia seperti H_2O_2 (Cahyana et al., 2019) dan Natrium Hipoklorit. Namun demikian metode tersebut memiliki kekurangan, seperti recoverynya rendah, karena kehilangan molekul-molekul kecil selama proses pemecahan patinya (Wing & Willett, 1997), air limbah yang

dihasilkan tinggi. Kekurangan lainnya adalah meninggalkan residu pada bahan pangan, yang sampai saat ini menjadi peringatan pada penggunaannya. Sehingga usaha mendapatkan bahan pengoksidasi yang aman gencar dilakukan. Oksidan lain yang mampu menjawab kekurangan dari agen oksidasi kimia adalah ozon, karena tidak memberikan residu pada bahan pangan, tidak menghasilkan limbah dan ozon merupakan bahan oksidan yang powerfull dan lebih disukai (Chan et al., 2009). Menurut (Vanier et al., 2017a) Ozon dinyatakan mampu memodifikasi pati dengan baik. Berdasarkan latar belakang ini, maka penulis ingin membuat review dengan tujuan untuk menjelaskan mengenai metode modifikasi ozon fase cair serta perubahan sifat fisik kimia dari berbagai sumber pati yang dimodifikasi.

METODOLOGI

Metode yang dilakukan dalam menyusun review ini adalah dengan melakukan telaahan serta kajian pustaka secara terstruktur menggunakan mesin pencari Google Scholar dan basis data Science Direct. Referensi yang dipilih adalah referensi yang relevan dengan modifikasi pati dengan menggunakan ozon fase cair, yang dipublikasikan pada jurnal ilmiah Internasional, dan prosiding terindeks. Informasi yang didapatkan dari berbagai sumber tersebut dikombinasikan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh penulis dan digunakan untuk menyusun argumentasi terkait aplikasi ozon dalam teknik modifikasi pati di Indonesia. Lingkup kajian adalah Metode Modifikasi Pati menggunakan Ozon Fase Cair, Perubahan Sifat Fisiko Kimia dan Fungsional, Terbentuknya Gugus Karbonil dan Karboksil, Perubahan sifat Fisik Morfologi Granula Pati, Perubahan Sifat Fungsional Pati, Aplikasi Pati Modifikasi ozon, Peluang dan Hambatan Penerapan Modifikasi Pati menggunakan ozon fase cair di Indonesia.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Metode Modifikasi Pati menggunakan Ozon Fase Cair

Ozon merupakan gas yang dihasilkan dari oksigen murni maupun udara bebas tergantung jenis ozonizer yang digunakan dan ozon tidak memiliki warna jika

dihasilkan dari oksigen murni. Gas ozon berwarna biru tua ketika ozon mengembun menjadi cair pada suhu $-112\text{ }^{\circ}\text{C}$, dan berwarna biru pada suhu kamar. Ozon adalah oksidator kuat dengan potensi oksidasi 2.07 eV. Titik didih ozon sekitar $-111,9 \pm 0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$; Titik leleh sekitar $-192 \pm 0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$; Temperatur kritis $-12,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan tekanan kritis 54,6 atm, ozon memiliki kerapatan yang lebih tinggi sekitar 2,14 g/L dibandingkan udara (1,28 g/L) pada $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Pandiselvam et al., 2016)

Secara alami, ozon diproduksi melalui radiasi ultraviolet dari sinar matahari. Emisi sinar UV dari sinar matahari dapat menguraikan oksigen (O_2) di udara bebas yang kemudian menghasilkan dua atom oksigen, proses ini disebut fotolisis. Atom oksigen hasil dekomposisi kemudian bertabrakan dengan atom oksigen lainnya membentuk ozon (O_3). Sinar UV pada panjang gelombang 240-320 nm dapat dengan mudah diserap oleh ozon. Proses pembentukan ozon dapat dilakukan dengan beberapa metode, antara lain pelepasan korona, radiasi ultraviolet, elektrolisis dan radiasi kimia untuk menghasilkan ozon, setiap metode yang dilakukan dipengaruhi oleh energi untuk memecah dan menahan ikatan. Atom oksigen molekuler dapat dipisahkan dan kemudian dibentuk kembali menjadi ozon. Salah satu metode yang digunakan adalah corona discharge, dimana proses ini dilakukan dengan memberikan tegangan tinggi antar celah udara, hal ini bertujuan untuk memecah molekul O_2 menjadi atom O dengan cara melewati udara atau oksigen diantara kutub elektroda. Proses ini dilakukan dengan melewati gas oksigen di daerah yang memiliki tekanan tinggi di antara kedua elektroda (Pandiselvam et al., 2018).

Ketika ozon fase cair digunakan untuk memodifikasi pati terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan yaitu:

- 1) Bahan baku pembuat ozon dapat digunakan oksigen atau gas lain yang mengandung oksigen, yang kemudian oksigen ini akan diubah menjadi sumber energi tinggi terlebih dahulu, dan akan mengubah oksigen menjadi ozon. Pada Tabel 1., dapat dilihat bahwa terdapat beberapa peneliti menggunakan sumber oksigen dari oksigen murni sementara ada beberapa peneliti yang menggunakan sumber oksigen dari unit produksi oksigen terintegrasi menggunakan udara atmosfer.
- 2) Laju alir ozon dan waktu kontak antara pati dan ozon yang digunakan dalam proses modifikasi pati juga penting, karena menentukan keberhasilan proses tersebut. Secara umum, dengan konsentrasi ozon dan bertambahnya waktu, pengaruh

perubahan modifikasi pati biasanya lebih tinggi dalam mempengaruhi sifat molekuler dan fungsional. Keadaan proses reaksi sangat mempengaruhi keberhasilan modifikasi ozon pati, terutama dengan mereaksikan ozon dengan pati secara homogen.

- 3) Peningkatan reaksi antara pati dan ozon digunakan sistem *bubbling* agar proses pencampuran ozon dan pati menjadi homogen, dan meningkatkan difusi ozon dalam pati
- 4) Suhu reaksi. Pengaturan suhu dalam aplikasi ozonasi fase cair merupakan hal penting yang menjamin tercapainya reaksi ozonasi yang optimal.
- 5) Penghilangan sisa ozon setelah reaksi oksidasi, seperti yang dilaporkan (Çatal & Ibanoğlu, 2012);(Çatal & Ibanoğlu, 2014) bahwa gas ozon yang tidak larut didorong ke atmosfer oleh tabung pengosongan. (Pekmez, 2018) juga melaporkan bahwa perlu *degasser* untuk menghilangkan ozon yang tidak larut dalam air dan (Castanha et al., 2017) menjelaskan bahwa perlu destruktur ozon, yang secara termal menghancurkan sisa ozon untuk melepaskan oksigen.
- 6) Penanganan sampel setelah reaksi ozonasi

Setelah proses modifikasi pati menggunakan ozon cair diperlukan penyaringan dan pengeringan menggunakan oven dengan suhu rendah sekitar 35–40 °C. Kemudian perlu tahap penggilingan dan pengayakan dengan ukuran mesh tertentu. (Çatal & Ibanoğlu, 2014) menjelaskan bahwa suspensi pati terozonasi disaring menggunakan kertas saring Whatman 4 dan dikeringkan pada suhu 35 °C di bawah vakum selama 2 jam. Sedangkan (Klein et al., 2014) melaporkan bahwa sampel ditarik dari reaktor dan dicuci dengan air destilasi, setelah 60 menit reaksi, setelah itu pati masih harus dikeringkan dalam oven pada suhu 40 °C sampai kadar air 11%.

Sumber Pati	Peneliti	Sumber Oksigen	Konsentrasi/Laju alir	Waktu Kontak
Beras	(An & King, 2009)	Oksigen murni	170 mL/menit	0,15, dan 30 menit
Ubi kayu	(Klein et al., 2014)	Oksigen murni	13 ppm, dengan pengontrolan pH 3,5; 6,5;9,5 pada suhu 25 °C.	60 menit
Ubi kayu	(Junior et al., 2019)	Oksigen	36 ppm dan laju alir 0.5 L/menit	60 menit

Kentang	(Castanha et al., 2019)	Oksigen menggunakan Corona Discharge	47 ppm, laju alir 0.5 L/menit	15,30,45 dan 60 menit
Gandum	(Çatal & Ibanoğlu, 2014)	Oksigen menggunakan Corona Discharge	Konsentrasi: 4.2 mg/L dan laju alir 0.103 L/min	15,30 dan 60 menit pada T 5°C
Beras	(Pekmez, 2018)	Oksigen menggunakan Corona Discharge	Kapasitas: 60 g/jam Konsentrasi: 4.2 mg/L	60 menit
Kentang dan Jagung	(Çatal & Ibanoğlu, 2012)	Atmospheric air-corona discharge	Konsentrasi: 4.2 mg/L	60 menit
Gandum dan Jagung	(Çatal, 2015)	Atmospheric air-corona discharge	Semikontinyu (4.2 mg/L Batch (laju: 60 g/jam selama 30 menit).	30 menit
Ubi kayu	(Lima et al., 2020)	Corona discharge, menggunakan oksigen dengan kemurnian 95%	Laju alir 1 L/menit dan inlet konsentrasi ozon 43.5 mg O ₃ /menit	15, 30 and 60 menit

B. Perubahan Sifat Fisiko Kimia dan Fungsional

B.1. Terbentuknya Gugus karbonil dan Karboksil

Ketika pati dimodifikasi dengan ozon, akan terjadi dua reaksi. Reaksi yang pertama adalah oksidasi gugus hidroksil pada molekul pati menjadi gugus karbonil yang terutama terdapat pada C-2, C-3, dan C-6 (Wang et al., 2007). Reaksi yang kedua adalah depolimerisasi molekul pati dengan memotong ikatan alfa 1-4 glikosidik, tingkat oksidasi pati dan tingkat degradasinya akan menghasilkan perubahan kandungan karbonil, kandungan karboksil (Vanier et al., 2012). Gugus karboksil dalam jumlah besar pada molekul pati menghasilkan pasta pati yang memiliki retrogradasi rendah, sedangkan gugus karbonil memiliki peran kecil dalam mencegah retrogradasi. Kandungan karbonil dan karboksil pati selama oksidasi menunjukkan seberapa jauh

pati teroksidasi. Kelimpahan karbonil dan karboksil pada pati oksidasi secara langsung mempengaruhi sifat fisikokimia pati yang berpotensi juga dalam mempengaruhi sifat fungsionalnya, dimana ini menyebabkan perluasan aplikasi pati oksidasi untuk di beberapa industri.

Pada modifikasi pati dengan ozon menunjukkan bervariasinya jumlah gugus karbonil dan karboksil yang dihasilkan. Pada modifikasi ozon fase cair pada pati ubi kayu dengan konsentrasi 13 ppm dan waktu 60 menit dengan pengontrolan pH, menunjukkan kandungan gugus karbonil adalah 0,11% dan gugus karboksil sebesar 0,028% (Klein et al., 2014). Sedangkan pada pati kentang (Castanha et al., 2017) menunjukkan jumlah gugus karbonil adalah 0,04% dan gugus karboksil sebesar 0,03%. Peneliti lain (Junior et al., 2019) melaporkan bahwa modifikasi pati ubi kayu memiliki kandungan gugus karbonil adalah 0,084% dan gugus karboksil sebesar 0,09%. Bervariasinya jumlah karbonil dan karboksil ini dipengaruhi beberapa hal seperti, jenis pati, struktur permukaan granula pati, ukuran granula pati, konsentrasi, waktu kontak ozon dengan pati.

Peningkatan jumlah karboksil dan karbonil berkorelasi positif dengan peningkatan waktu kontak ozon dengan pati, kondisi ini terjadi pada semua sumber pati yang diteliti. (Castanha et al., 2017) melaporkan bahwa selain meningkatkan waktu kontak pati dan ozon, hasil pati termodifikasi juga diperoleh dengan adanya penurunan kadar gula, penurunan pH dan amilosa sedangkan kondisi reaksi yang sesuai dengan pH 9,5 dalam pati singkong dipelajari oleh (Klein et al., 2014).

Demikian juga seperti yang dilaporkan oleh (Lima et al., 2020) yang meneliti pati ubi kayu dengan dimodifikasi ozon fase cair dimana jumlah ozon yang bereaksi adalah 0 menit = 0 mg O₃ /g pati; 15 menit = 78,9 mg O₃ /g pati ; 30 menit = 145,3 mg O₃/g pati serta 60 menit = 270,7 mg O₃ /g, menunjukkan bahwa kandungan gugus karbonil dan karboksil meningkat dengan peningkatan jumlah O₃ yang bereaksi. Dalam penelitian ini juga ditunjukkan keberadaan gugus karboksil menyebabkan keasaman pati meningkat dan menurunkan nilai pH. Biasanya, secara konvensional dalam proses oksidasi, diasumsikan bahwa kandungan gugus karboksil akan lebih tinggi dari gugus karbonil, karena karbonil adalah senyawa antara dalam reaksi hidroksil menjadi karboksil. Namun demikian pada penelitian ini, ditunjukkan bahwa kandungan karbonil lebih tinggi dari kandungan karboksil, yang menunjukkan ozonasi merupakan hal yang istimewa dalam proses oksidasi. Penting untuk digarisbawahi juga bahwa ozon

bereaksi tidak hanya dengan gugus hidroksil pati, tetapi juga ozon terurai dalam air, membentuk sekunder oksidan, seperti radikal hidroksil. Setiap jenis pati memiliki reaktivitasnya yang berbeda, untuk menjadi kompleks reaksi. Selain itu, reaktivitas ozon cukup tinggi untuk melakukan kedua reaksi oksidasi secara bersamaan, tidak seperti agensia oksidatif lainnya, dimana pembentukan karbonil diamati terlebih dahulu dan kemudian terjadi pembentukan karboksil.

B.2. Perubahan sifat Fisik Morfologi Granula Pati

Untuk melihat perubahan struktur granula pati akibat modifikasi ozon fase cair digunakan mikroskop. Untuk memvisualisasikan struktur granula pati memerlukan resolusi tinggi antara lain (*Scanning Electron Microscopy*) SEM yang digunakan untuk membuktikan bentuk dan ukuran granula pati, *Transmission Electro Microscopy* (TEM).), Mikroskop Polaris, Mikroskop Cahaya, Mikroskop Laser Pemindaian Confocal, dan Mikroskop Gaya Atom (AFM) yang berguna untuk mengkarakterisasi butiran pati ultrastruktur kristal permukaan dan internal (Vanier et al., 2017b). Perubahan sifat morfologi pati termodifikasi ozon dapat ditunjukkan melalui perubahan permukaan, bentuk, dan ukuran granular. Pati ozon yang dimodifikasi memiliki efek yang berbeda tergantung pada jenis pati, waktu kontak serta konsentrasi ozon yang digunakan.. Jumlah karboksil dan karbonil menunjukkan tingginya tingkat oksidasi pati yang seharusnya mempengaruhi perubahan morfologi granula pati.

Pati ubi kayu termodifikasi dengan ozon cair yang menghasilkan karbonil = 0,11% dan karboksil :0,028%, dapat dikatakan bahwa laju oksidasi relatif kecil sehingga hasil morfologi tidak ada perubahan baik pada permukaan, bentuk, dan ukuran granula pati (Klein et al., 2014) serta jenis kristalinitasnya tetap sama dengan pati alaminya dan derajat kristalinitasnya mengalami penurunan, yang menunjukkan adanya reaksi oksidasi pada daerah amorf. Demikian juga dilaporkan (Çatal & Ibanoglu, 2012) pati jagung dan kentang yang diozonasi dengan fase cair juga tidak mengubah *maltese cross*. Dengan perlakuan ozonasi cair pati kentang menghasilkan bentuk yang tidak beraturan, celah dan pori-pori pada permukaan granula, kekasaran dan menjadi lebih heterogen setelah 30 menit (Castanha et al., 2017).

Pati ubi kayu dengan modifikasi ozon cair dengan konsentrasi 43.5 mg O₃ /menit, pada waktu kontak yang berbeda, 15, 30 dan 60 menit menunjukkan jumlah O₃ yang

bereaksi dengan suspensi pati adalah: 0 menit = 0 mg O₃ /g pati; 15 menit = 78,9 mg O₃ /g pati ; 30 menit = 145,3 mg O₃/g pati serta 60 menit = 270,7 mg O₃ /g pati dilaporkan oleh (Lima et al., 2020). Pada permukaan granula menunjukkan hasil baik granula pati ubi kayu alami dan ozonasi menunjukkan permukaan halus dan bentuk bulat dengan ujung yang terpotong di satu sisi. Pati ubi kayu ozonasi, tidak mengalami perubahan pada permukaan granula pati, meskipun jumlah ozon yang bereaksi cukup tinggi.

B.3. Perubahan Sifat Fungsional Pati

Modifikasi pati dengan ozon cair mempengaruhi sifat fungsional pati seperti *swelling power*, indeks kelarutan, kapasitas penyerapan air dan kekuatan gel. *Swelling power* adalah kemampuan pati untuk menghidrasi pada kondisi tertentu. Kelarutan adalah persentase molekul yang tercuci dari granula pati setelah mengalami pembengkakan pada kondisi tertentu. Kapasitas penyerapan air berkaitan dengan komposisi granula dan sifat fisik pati setelah ditambahkan air dalam jumlah tertentu. Penyerapan air disebabkan oleh penyerapan granula yang secara fisik dan intramolekul terkait dengan bagian amorf. (Castanha et al., 2019) melaporkan bahwa pati kentang yang dimodifikasi ozon cair memiliki nilai *swelling power*, indeks kelarutan, kapasitas penyerapan air dan kekuatan gel yang lebih tinggi dibandingkan kontrolnya.

Ozonasi fase cair pada pati ubi kayu, yang dilaporkan oleh (Lima et al., 2020), menunjukkan hasil bahwa indeks kelarutan air pada pati meningkat dengan meningkatnya waktu dan suhu ozonasi. Indeks kelarutan sampel yang diozonasi meningkat secara nyata pada suhu di atas 70°C. Selama proses gelatinisasi, granula pati menyerap air dan mengembang, dan beberapa komponen pati (kebanyakan amilosa) larut. Oleh karena itu, peningkatan kelarutan diamati untuk suhu yang lebih tinggi dan konsumsi O₃ mungkin terkait dengan diproduksinya potongan rantai amilosa dan amilopektin yang timbul dari depolimerisasi selama proses ozonasi. Peningkatan indeks kelarutan dapat dianggap sebagai keuntungan bagi aplikasi industri, karena, menurut (Castanha et al., 2019), produk seperti sup instan dan coklat bubuk memerlukan pelarutan yang mudah. Dilaporkan bahwa pati singkong sangat terganggu oleh kondisi asam, dan biasanya diamati dalam produk makanan, sehingga sangat membatasi aplikasi. Namun demikian, hidrogel pati ubi kayu yang diozonasi ini mampu mempertahankan konsistensinya dalam kondisi asam. Ini adalah karakteristik yang

nyata untuk industri aplikasi, yang ditunjukkan di sini untuk pertama kalinya, dan mendemonstrasikan pemrosesan ozon dapat menjadi alternatif untuk menghasilkan pati termodifikasi yang dapat digunakan dalam makanan asam (Lima et al., 2020).

Sifat kejernihan pasta juga merupakan sifat fungsional yang diperlukan dalam aplikasi pati, berdasarkan laporan (Lima et al., 2020), diperoleh bahwa pati ubi kayu yang diozonasi fase cair menunjukkan kejernihan pasta jauh lebih tinggi daripada pati ubi kayu alami, dimana hal ini sangat dibutuhkan oleh industri pangan. Selain itu, semua pati ubi kayu yang ozonasi menunjukkan sedikit penurunan setelah satu hari penyimpanan, tetapi setelah dua puluh hari penyimpanan, sampel menunjukkan kecenderungan untuk mempertahankan kejernihan pasta. Sehingga dapat dikatakan, kejernihan pasta selama waktu penyimpanan dapat dianggap sangat stabil dan jauh lebih tinggi dari pada pati ubi kayu alami.

Sifat fungsional pati yang lain juga dapat dilihat dari uji Rapid Visco Amilograph, yang sering disebut juga sebagai sifat *pasting* yang mengukur karakteristik pati berdasarkan perubahan viskositas selama pemanasan dan pendinginan. Apabila pemanasan dilanjutkan dalam jangka waktu tertentu kemudian dilakukan pendinginan maka perubahan viskositas pati akan membentuk profil yang berbeda-beda tergantung kepada jenis patinya. Parameter *pasting* meliputi suhu awal gelatinisasi, viskositas puncak (viskositas pada pemanasan 50°C hingga 95°C), viskositas *breakdown* (viskositas saat pemanasan konstan pada 95°C), dan viskositas *setback* (viskositas saat konstan pada 50°C). Dilaporkan oleh (Castanha et al., 2019) bahwa ozonasi cair pada pati kentang menunjukkan tidak ada peningkatan viskositas yang terlihat pada suhu 55 dan 60 °C untuk semua sampel. dan ketika digelatinisasi pada suhu 65 dan 70 °C menunjukkan viskositas kekuatan gel yang meningkat dibandingkan dengan pati kentang alami. Sedangkan (Çatal & Ibanoğlu, 2012) yang memodifikasi pati jagung dan kentang dengan ozon cair, melaporkan bahwa suhu *pasting* meningkat, setelah diozon, viskositas puncak mengalami penurunan, dan viskositas *breakdown* pada pati yang diozonasi menunjukkan nilai yang lebih rendah dibandingkan kontrol. Semua sampel pati menunjukkan viskositas final yang menurun setelah ozonasi. Sifat *pasting* dari pati ubi kayu yang dimodifikasi ozon fase cair yang dilaporkan (Lima et al., 2020), bahwa Viskositas puncak pada 145.3 mg/ O₃ g pati, menunjukkan nilai yang tidak berbeda nyata, namun dengan meningkatnya konsentrasi ozon 270.7 mg/ O₃ g pati yang

digunakan menunjukkan penurunan viskositas puncak yang nyata. Kondisi ini dikaitkan dengan "pelemahan" granular karena adanya pembelahan parsial ikatan glikosidik (menurunnya panjang rantai molekul pati). Selanjutnya menurut (Castanha et al., 2017) ini juga terkait dengan penggantian gugus hidroksil oleh gugus karbonil dan karboksil, menyebabkan menurunnya ikatan hidrogen yang menarik antar molekul pati termodifikasi.

Sementara itu, (Klein et al., 2014) mempelajari proses ozonasi pada pati singkong di pH yang berbeda, diamati bahwa nilai viskositas puncak yang lebih tinggi terjadi pada pH 6,5 dan 9,5. Para penulis menghubungkan hasil mereka dengan proses terjadinya ikatan silang antara beberapa molekul pati yang sebelumnya didepolimerisasi, dan meningkatkan ukuran molekulnya.

Berdasarkan hasil penelitian ini menunjukkan bahwa, sifat fungsional pati dapat berubah dengan ozonasi, dan dapat disesuaikan dengan peruntukannya dalam aplikasi pati lebih luas.

C. Aplikasi Pati Modifikasi Ozon

Pati alami dengan berbagai kelemahan yang dimiliki, seperti mudah terretrogradasi, memerlukan energi tinggi untuk memasak, pasta yang terbentuk tidak jernih dan keras, daya pengembangan yang rendah, serta terlalu lengket dan tidak tahan perlakuan asam menyebabkan penggunaannya dalam produk pangan dan industri menjadi terbatas. Sehingga usaha untuk melakukan penelitian modifikasi pati sangat banyak dilaporkan, dan salah satu usaha modifikasi pati ini dilakukan dengan menggunakan ozon sebagai oksidator kuat, yang terbukti mampu memodifikasi pati, seperti yang dijelaskan dibagian Sub A dan B. Penelitian yang khusus memanfaatkan aplikasi hasil ozonasi pati, pada produk pangan tertentu masih jarang dilaporkan, berikut ini penulis berhasil merangkum beberapa hasil penelitian yang melaporkan potensi penggunaan pati modifikasi ozon pada produk pangan yang ditunjukan pada tabel 2. Demikian juga mengenai aplikasi produk pangan menggunakan hasil pati ozonasi cair juga jarang dilaporkan, sehingga dalam tabel 2 ini dilaporkan baik ozonasi fase gas maupun fase cair, untuk memperjelas pembahasan.

No.	Penulis	Jenis Bahan yang diozonasi	Jenis Produk
-----	---------	-------------------------------	--------------

1.	(Marston et al., 2015)	Tepung Sorgum	Roti dan Cake Bebas gluten
2.	(Oladebeye et al., 2018)	Pati Pigeon pea, lima bean and jack bean	Pati untuk membuat mie, makanan ringan dan produk permen
3	(Sandhu et al., 2011)	Tepung gandum	Roti
4	(Junior et al., 2019)	Pati kentang	Sup instant Hidrokoloid untuk untuk makanan <i>nurse care</i> , terutama <i>disfagia</i>
5	(Handarini et al., 2020)	Pati garut	Frozen food dan pudding Roti, cake dan mie

Potensi untuk mengembangkan penelitian pati modifikasi menggunakan ozon, tergantung dari sumber pati yang digunakan. Pada beberapa pati menunjukkan peningkatan swelling volume/swelling power, dibandingkan pati alaminya, seperti pada pati garut yang dimodifikasi ozon (Handarini et al., 2020). Pati dengan sifat seperti ini sangat sesuai diaplikasikan untuk membuat roti, karena memiliki sifat pengembangan yang tinggi dibandingkan pati alaminya yaitu: 12.87 ml/g dibandingkan pati alaminya: 7.058 ml/g. Selain itu juga cocok untuk membuat produk mie, dikarenakan elastis adonan akan meningkat dengan nilai swelling volume yang tinggi pula. Berkaitan dengan penurunan sifat retrogradasi yang luar biasa, maka pati garut modifikasi ozon sangat cocok untuk produk seperti bubur, pudding, serta frozen food (Handarini et al., 2020).

Penelitian lain (Marston et al., 2015), produk tepung sorgum modifikasi ozon cocok untuk membuat cake, dengan ozonasi meningkatkan volume, kecerahan, dan tekstur cake, tetapi tidak memberikan efek positif pada roti. Jika dibuat roti akan menyebabkan struktur yang *open ragged* dengan volume pengembangan roti yang sama dengan kontrol.

Demikian juga (Oladebeye et al., 2018) melaporkan dengan oksidasi ozon pada pati jack bean, lima bean, pigeon, cenderung menurunkan retrogradasi, tetapi dengan meningkatkan kemampuan *swelling volume* dan kelarutan.. Untuk aplikasi produk pangan adalah pati ini dapat digunakan pada produk pangan seperti pati mie, makanan ringan dan produk permen.

D. Potensi dan Kendala Pemanfaatan Modifikasi Ozon Fase cair

Potensi pemanfaatan modifikasi ozon fase cair, terus diteliti sampai saat ini, hal ini menunjukkan bahwa potensi penggunaannya cukup besar. Pada pati ubi kayu (Lima et al., 2020) dapat untuk aplikasi industri pangan, karena dihasilkan beberapa sifat unggul seperti yang dibutuhkan dalam industri pangan. Sifat tersebut beberapa di antaranya adalah: pengurangan viskositas, pengurangan retrogradasi pati, hidrogel yang lebih kuat—khusus pada kondisi asam, peningkatan indeks kelarutan, dan kejernihan pasta yang lebih tinggi yang dikemukakan dibagian Sub Bab B. Namun demikian terdapat fakta bahwa dalam fase cair, efektivitas ozonasi, sangat ditentukan oleh faktor-faktor seperti suhu, tekanan, pH, ukuran gelembung, laju aliran, kemurnian air, dan waktu kontak, seperti yang dikemukakan di dalam sub bab A. Pati yang diozonisasi dalam suspensi juga perlu dikeringkan sebelum analisis lebih lanjut. Faktor-faktor ini membuat ozonasi dalam fase cair lebih rumit untuk diaplikasikan (Handarini et al., 2020).

Meskipun penelitian telah menunjukkan jalan ke depan dalam memanfaatkan ozon untuk modifikasi pati, industri penerapan ozon untuk mempersiapkan modifikasi pati belum dieksplorasi. Oleh karena itu, penelitian masa depan harus difokuskan pada reproduktifitas penelitian hasil pada skala industri. Hal ini juga berkaitan dengan mempelajari efek ozonasi pada karakteristik pati selama penyimpanan. Juga, peningkatan penelitian berbasis modifikasi pati ozon dan biaya pembuatan ozon dan pemeliharaan unit perawatan ozon yang mungkin mahal dibandingkan dengan yang tersedia secara komersial teknologi.

PENUTUP

Kesimpulan

Proses ozonasi fase cair dapat berhasil digunakan untuk memodifikasi pati pada berbagai sumber seperti kentang, ubi kayu, jagung, beras maupun gandum. Modifikasi pada berbagai sumber pati menunjukkan hasil yang bervariasi tergantung pada banyak faktor seperti jenis sumber pati, suhu, tekanan, pH, ukuran *bubble*, *flow rate*, kemurnian air. Proses ozonasi dapat membentuk gugus karbonil dan karboksil, serta menyebabkan depolimerisasi molekuler, sehingga menghasilkan perubahan pada sifat

pati. Modifikasi ozon fase cair memberikan hasil bervariasi dari tidak mengubah permukaan dan bentuk granula pada sampai terjadi sedikit perubahan. Penting untuk menyoroti perubahan pada pati ubi kayu yang dimodifikasi cair dapat digunakan dalam industri, karena mengalami pengurangan viskositas, retrogradasi pati, hidrogel yang lebih kuat—khusus pada kondisi asam, peningkatan indeks kelarutan, dan kejernihan pasta yang lebih tinggi. Namun demikian hal yang perlu menjadikan perhatian adalah bahwa pati yang dimodifikasi ozon fase cair kurang praktis dalam aplikasinya serta memerlukan proses pengeringan sebelum melanjutkan analisis atau pemanfaatan produk lebih lanjut.

Saran

Perlu dilakukan review artikel jurnal mengenai modifikasi pati dari berbagai sumber menggunakan ozonasi fase gas, mengingat pemanfaatan dari modifikasi ozonasi fase cair cukup rumit, dimana banyak faktor yang harus dikendalikan. Serta review mengenai aplikasi dalam penggunaan untuk produk pangan dari hasil modifikasi pati ozon dengan fase gas

DAFTAR PUSTAKA

- An, H. J., & King, J. M. (2009). Using ozonation and amino acids to change pasting properties of rice starch. *Journal of Food Science*, 74(3), 278–283. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01109>.
- Cahyana, Y., Wijaya, E., Halimah, T. S., Marta, H., Suryadi, E., & Kurniati, D. (2019). The effect of different thermal modifications on slowly digestible starch and physicochemical properties of green banana flour (*Musa acuminata* colla). *Food Chemistry*, 274(July 2018), 274–280. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.004>
- Castanha, N., Matta Junior, M. D. da, & Augusto, P. E. D. (2017). Potato starch modification using the ozone technology. *Food Hydrocolloids*, 66, 343–356. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.12.001>
- Castanha, N., Nascimento, D., Cunha, R. L., Esteves, P., & Augusto, D. (2019). Properties and possible applications of ozone-modified potato starch. *Food Research International*, 116(October 2018), 1192–1201. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.09.064>

- Çatal, H. (2015). Effects of Semicontinuous and Batch System Ozonation on Wheat and Corn Starches. *Ozone: Science and Engineering*, 37(1), 71–77. <https://doi.org/10.1080/01919512.2014.913472>
- Çatal, H., & Ibanoglu, S. (2012). Ozonation of corn and potato starch in aqueous solution: Effects on the thermal, pasting and structural properties. *International Journal of Food Science and Technology*, 47(9), 1958–1963. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.03056.x>
- Çatal, H., & Ibanoglu, S. (2014). Effect of aqueous ozonation on the pasting, flow and gelatinization properties of wheat starch. *LWT - Food Science and Technology*, 59(1), 577–582. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.04.025>
- Chan, H. T., Bhat, R., & Karim, A. A. (2009). Physicochemical and functional properties of ozone-oxidized starch. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(13), 5965–5970. <https://doi.org/10.1021/jf9008789>
- Handarini, K., Hamdani, J. S., Cahyana, Y., & Setiasih, I. S. (2020). Gaseous Ozonation at Low Concentration Modifies Functional, Pasting, and Thermal Properties of Arrowroot Starch (*Maranta arundinaceae*). *Starch/Staerke*, 72(5–6), 1–7. <https://doi.org/10.1002/star.201900106>
- Junior, M. D. M., Castanha, N., Boralli, C., Esteves, P., Augusto, D., Bruder, S., & Sarmiento, S. (2019). Ozone technology as an alternative to fermentative processes to improve the oven-expansion properties of cassava starch. *Food Research International*, 123(April), 56–63. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.04.050>
- Kaur, B., Ariffin, F., Bhat, R., & Karim, A. A. (2012). Progress in starch modification in the last decade. *Food Hydrocolloids*, 26(2), 398–404. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.02.016>
- Klein, B., Vanier, N. L., Moomand, K., Pinto, V. Z., Colussi, R., Da Rosa Zavareze, E., & Dias, A. R. G. (2014). Ozone oxidation of cassava starch in aqueous solution at different pH. *Food Chemistry*, 155, 167–173. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.01.058>
- Lawal, O. S., & Adebawale, K. O. (2005). Physicochemical characteristics and thermal properties of chemically modified jack bean (*Canavalia ensiformis*) starch. *Carbohydrate Polymers*, 60(3), 331–341. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2005.01.011>
- Lima, D. C., Castanha, N., Maniglia, B. C., Divino, M., Junior, M., Ivonne, C., La, A., & Esteves, P. (2020). Ozone Processing of Cassava Starch. *Ozone: Science & Engineering*, 00(00), 1–18. <https://doi.org/10.1080/01919512.2020.1756218>
- Marston, K., Khouryieh, H., & Aramouni, F. (2015). Evaluation of sorghum flour functionality and quality characteristics of gluten-free bread and cake as

- influenced by ozone treatment. *Food Science and Technology International*, 21(8), 631–640. <https://doi.org/10.1177/1082013214559311>
- Oladebeye, A. O., Oshodi, A. A., & Amoo, I. A. (2018). Gaseous Ozonation of Pigeon Pea, Lima Bean, and Jack Bean Starches: Functional, Thermal, and Molecular Properties. 1700367, 1–11. <https://doi.org/10.1002/star.201700367>
- Olasupo, A., Augustine, A., Adekunle, I., & Abd, A. (2013). Functional, thermal and molecular behaviours of ozone-oxidised cocoyam and yam starches. 141, 1416–1423. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.04.080>
- Pandiselvam, R., Subhashini, S., Priya, E. P. B., Kothakota, A., Shahir, S., Subhashini, S., Priya, E. P. B., & Kothakota, A. (2018). Ozone based food preservation: a promising green technology for enhanced food safety. *Ozone: Science & Engineering*, 00(00), 1–18. <https://doi.org/10.1080/01919512.2018.1490636>
- Pandiselvam, R., Sunoj, S., Manikantan, M. R., & Kothakota, A. (2016). Application and Kinetics of Ozone in Food Preservation. *Ozone: Science & Engineering*, 00(00), 1–12. <https://doi.org/10.1080/01919512.2016.1268947>
- Pekmez, H. (2018). Effects of Ozonation on Thermal, Structure and Rheological Properties of Rice Starch in Aqueous Solution EFFECTS OF OZONATION ON THERMAL, STRUCTURE AND RHEOLOGICAL PROPERTIES OF RICE. January 2013.
- Sandhu, H. P. S., Manthey, F. A., & Simsek, S. (2011). Quality of bread made from ozonated wheat (*Triticum aestivum* L.) flour. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(9), 1576–1584. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4350>
- Vanier, N. L., El Halal, S. L. M., Dias, A. R. G., & da Rosa Zavareze, E. (2017a). Molecular structure, functionality and applications of oxidized starches: A review. *Food Chemistry*, 221, 1546–1559. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.138>
- Vanier, N. L., El Halal, S. L. M., Dias, A. R. G., & da Rosa Zavareze, E. (2017b). Molecular structure, functionality and applications of oxidized starches: A review. *Food Chemistry*, 221, 1546–1559. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.138>
- Vanier, N. L., Zavareze, R., Pinto, V. Z., Klein, B., Botelho, F. T., Renato, A., Dias, G., & Elias, M. C. (2012). Physicochemical, crystallinity, pasting and morphological properties of bean starch oxidised by different concentrations of sodium hypochlorite. *Food Chemistry*, 131(4), 1255–1262. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.09.114>
- Wang, X., Yang, K., & Wang, Y. (2007). Properties of Starch Blends with Biodegradable Polymers. 1797. <https://doi.org/10.1081/MC-120023911>

- Wing, R. E., & Willett, J. L. (1997). Water soluble oxidized starches by peroxide reactive extrusion. *Industrial Crops and Products*, 7(1), 45–52. [https://doi.org/10.1016/S0926-6690\(97\)00069-1](https://doi.org/10.1016/S0926-6690(97)00069-1)
- Wurzburg, O. B. (1986). Nutritional Aspects and Safety of Modified Food Starches. *Nutrition Reviews*, 44(2), 74–79. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.1986.tb07590.x>