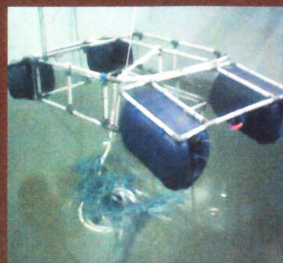




ISBN 978-602-8853-19-4
978-602-8853-20-0

PROSIDING SEMINAR HASIL-HASIL PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT INSTITUT PERTANIAN BOGOR 2013

Volume I
Bidang Pangan
Bidang Energi
Bidang Teknologi dan Rekayasa



KARAKTERISISASI STRUKTUR NANO-TAPIOKA DAN APLIKASINYA DALAM BERAS ARTIFISIAL

(Characterization of Nano-Tapioca Structure and its Application
In Artificial Rice)

Feri Kusnandar¹⁾, Elvira Syamsir¹⁾, Heni Herawati²⁾

¹⁾Dep. Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB

²⁾Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian,
Kementerian Pertanian

ABSTRAK

Salah satu modifikasi tapioka adalah pengecilan struktur granula hingga ukuran nano. Nano-tapioka diharapkan memperbaiki karakteristik fisiko-kimia pati, salah satunya untuk memperbaiki sifat beras artifisial. Pengecilan ukuran dilakukan dengan hidrolisis enzimatis, perlakuan asam (*lintnerization*) atau secara fisik dengan penggilingan berenergi tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh teknik modifikasi tapioka (perlakuan asam, enzimatis dan fisik) terhadap pengecilan struktur granula; dan pengaruh aplikasi nano-tapioka pada karakteristik fisik beras artifisial jagung. Penelitian dilakukan dua tahap: pembuatan nano-tapioka dengan tiga metode; dan uji coba tapioka modifikasi pada beras artifisial jagung. Tapioka modifikasi dianalisis dengan difraksi sinar X, ukuran partikel PSA, dan SEM. Bahan baku dan produk dianalisis karakteristik proksimat, profil pasting, kadar pati, kadar amilosa dan tekstur. Hidrolisis dengan pengasaman menggunakan HCl 5% selama 5 jam menghasilkan granula yang umumnya masih utuh dengan ukuran relatif besar (belum mencapai nano). Walaupun demikian, terdapat granula berukuran kecil (diameter 781,8 nm). Pengecilan ukuran secara fisik menggunakan Ball Mill tiga siklus pada 1400 rpm menghasilkan partikel berukuran 871,1 nm. Perlakuan enzimatis menggunakan isoamilase selama 24 jam, menurunkan ukuran granula dengan distribusi 40,75–407,49 nm dan rata-rata 125,91 nm. Penambahan 5% tapioka modifikasi dalam beras artifisial jagung, menghasilkan butiran yang kompak, tidak lengket dan tidak mengembang (*puffing*) secara berlebihan.

Kata kunci: Teknologi nano, tapioka, beras artifisial.

ABSTRACT

One of the modification method of tapioca is the size reduction of the starch granular to nano particle. Nano-tapioca is expected to improve physicochemical characteristics of tapioca, which is expected to improve the qualities of artificial rice. Size reduction can be done by an enzymatic hydrolysis, acid treatment (*lintnerization*) or by physical treatment using a high-energy milling. This study aimed to determine the effect of acid, enzymatic and physical treatments against the size reduction of starch granular structure; and its effect on the physical characteristics of the artificial corn rice. The study was conducted two phases, ie the production of nano-tapioca with the above methods; and its application on artificial rice made from corn. The modified tapioca was analyzed by X-ray diffraction, particle size analyzer (PSA), and Scanning Electron Microscop (SEM). Raw materials and of artificial with addition of size reduced tapioca was analyzed in terms of proximate characteristics, pasting profile, starch content, amylose content and texture. Acidification applying 5% HCl for 5 hours resulted in starch granules that were generally still intact with relatively large size (not yet reached the nano size). Nevertheless, there were some small sized granules (diameter 781.8 nm). Physical size reduction using a Ball

Mill three cycles at 1400 rpm produced particle size of 871.1 nm. Enzymatic treatment using isoamilase for 24 hours produced granule size distribution from 40.75 to 407.49 nm with average of 125.91 nm. The addition of 5% in modified tapioca in artificial rice yielded compact, not sticky and did not puff excessively.

Keywords: Nano technology, tapioca, artificial rice.

PENDAHULUAN

Tapioka merupakan salah satu bahan pangan sumber karbohidrat yang dapat dikembangkan lebih lanjut menjadi produk lain yang mempunyai nilai tambah. Salah satu pengembangan tapioka yang dapat dilakukan adalah dengan memperkecil ukuran struktur granula pati tapioka hingga ukuran nano. Perubahan struktur granula pati ke tingkat nano diharapkan dapat diaplikasikan dalam memperbaiki karakteristik fisiko-kimia pati, terutama yang terkait dengan struktur kristal dan pola kristalinitas pati yang dihasilkan, diantara aplikasinya adalah memperbaiki kristalinitas beras artifisial.

Pembentukan struktur nano dapat dilakukan dengan cara pengecilan ukuran granula pati dengan hidrolisis parsial menggunakan enzim yang sesuai, perlakuan asam (*lintnerization*) atau secara fisik dengan penggilingan menggunakan energi tinggi. Modifikasi pati maizena, kentang dan gandum dengan teknik hidrolisis parsial menggunakan asam pada suhu 50 °C dan dikeringbekukan telah dilakukan oleh Cai *et al.* 2012. Teknik ini mengubah ukuran dari bagian kristalin pati gandum menjadi 11,5 nm, maizena menjadi 10,9 nm dan kentang menjadi 10,4 nm. Proses juga menyebabkan perubahan pola kristalinitas dari tipe B menjadi tipe A. Penelitian yang dilakukan oleh Cai dan Shi 2010 juga menunjukkan bahwa proses hidrolisis pati dapat meningkatkan kadar RS. Kadar RS meningkat dengan pengecilan ukuran pati hingga mencapai ukuran kristal nano meter.

Beberapa peneliti terdahulu (Herawati *et al.* (2011); Widowati *et al.* (2008), Herawati dan Widowati (2009) telah mengembangkan teknologi pembuatan beras artifisial dari ubi kayu dan ubi jalar dengan menggunakan teknologi proses ekstrusi. Akan tetapi, kualitas tekstur dan kekompakan beras artifisial yang dihasilkan masih belum dapat menyerupai beras. Pengecilan ukuran hingga ke struktur nano diharapkan dapat meningkatkan daya ikat pati. Dengan demikian,

aplikasi pati nano sebagai pengikat pada beras artifisial diharapkan dapat mengatasi keterbatasan dari proses strukturisasi beras artifisial.

Penelitian ini bertujuan untuk (1) mengetahui pengaruh beberapa teknik modifikasi pati tapioka (perlakuan asam, enzimatik dan fisik) terhadap pengecilan struktur granula pati hingga ukuran nano; dan (2) mengetahui pengaruh aplikasi nano-tapioka dalam memperbaiki karakteristik fisik beras artifisial berbasis tepung jagung.

METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan meliputi: tepung jagung, tapioka, HCl, asam asetat, KOH, enzim isoamilase, enzim alfa amilase, NaOH, etanol, fehling A dan B, amilosa murni, dan bahan untuk analisa proksimat. Produksi beras artifisial dilakukan dengan proses ekstrusi menggunakan twin ekstruder. Instrumen analisis yang digunakan adalah Rapid Visco Analyzer (RVA), X-Ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscope (SEM) dan Particle Size Analyzer (PSA).

Penelitian mencakup dua hal, yaitu (1) proses modifikasi untuk menghasilkan struktur granula pati tapioka ke ukuran nano dengan beberapa teknik (perlakuan asam, enzimatik dan fisik); dan (2) uji coba aplikasi nano-tapioka dalam formulasi beras artifisial berbasis jagung dan mengetahui pengaruhnya, terutama terhadap stabilitas fisik dari beras artifisial yang dihasilkan. Tahapan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- **Perlakuan Hidrolisis Parsial dengan Asam**

Teknologi hidrolisis parsial tapioka mengacu pada metode Erungan (1991). Dalam penelitian ini dilakukan proses modifikasi hidrolisis parsial menggunakan asam klorida (HCl) pada suhu 50 °C dengan menggunakan kombinasi perlakuan konsentrasi asam yang digunakan (1, 2, 5 dan 7%) dan perlakuan waktu hidrolisis (1, 3, 5 dan 6 jam). Tapioka ditambahkan ke dalam larutan asam klorida dengan konsentrasi sesuai perlakuan, lalu dilakukan proses hidrolisis pada suhu 50 °C dengan waktu proses sesuai perlakuan. Selama proses hidrolisis dilakukan proses pengadukan. Pati lalu disaring dengan penyaringan vakum dan menggunakan kertas saring whatman. Pati yang diperoleh kemudian dikeringkan di dalam oven

pada suhu 50 °C. Pemilihan pati untuk analisis lebih lanjut didasarkan pada warna pati yang dihasilkan. Pati yang diinginkan adalah yang berwarna putih (tidak mengalami reaksi pencokelatan).

Analisis yang dilakukan terhadap hasil dari perlakuan terpilih adalah pengamatan distribusi ukuran partikel dengan PSA, penampakan struktur granula dengan SEM dan pola kristalinitas dengan XRD.

- **Perlakuan Hidrolisis Enzimatis**

Teknik hidrolisis secara enzimatis dilakukan dengan menggunakan enzim isoamilase, mengacu pada Cai dan Shi 2010. Tapioka (150 gram) dicampur dengan aquades 600ml. Larutan kemudian diturunkan pH-nya menjadi 4 dengan menambahkan 0,5 N HCl serta pemanasan pada suhu 115–120 °C selama 10 menit dan pendinginan pada suhu 50 °C. Reaksi enzimatis dilakukan dengan menggunakan 0,5% isoamilase basis tapioka. Larutan kemudian diaduk pada suhu 50 °C, dengan perlakuan lama waktu proses 3, 6, 12 dan 24 jam. Sampel yang telah diperoleh, kemudian dikeringkan dengan oven 50 °C selama 24 jam. Berdasarkan hasil penelitian, dipilih pati yang memiliki karakteristik fisik yang baik dengan lama waktu hidrolisis yang paling lama. Analisis yang dilakukan terhadap perlakuan terpilih adalah pengamatan distribusi ukuran partikel dengan PSA, penampakan struktur granula dengan SEM dan pola kristalinitas dengan XRD.

- **Perlakuan Fisik (Penggilingan)**

Reduksi ukuran tapioka secara fisik dilakukan dengan Ball Mill HEM-E3D High Energy Milling Ellipse 3D Motion 220 V, 1 KVA. Pada tahap ini dilakukan perlakuan yang meliputi 3 siklus proses, masing-masing dengan kecepatan 1400 rpm. Waktu proses untuk siklus pertama, kedua dan ketiga berturut-turut adalah 2 jam, 3 jam dan 4 jam. Analisis yang dilakukan adalah distribusi ukuran partikel dengan PSA, penampakan struktur granula dengan SEM dan pola kristalinitas dengan XRD.

- **Aplikasi Nano-tapioka Dalam Beras Artifisial Berbasis Jagung**

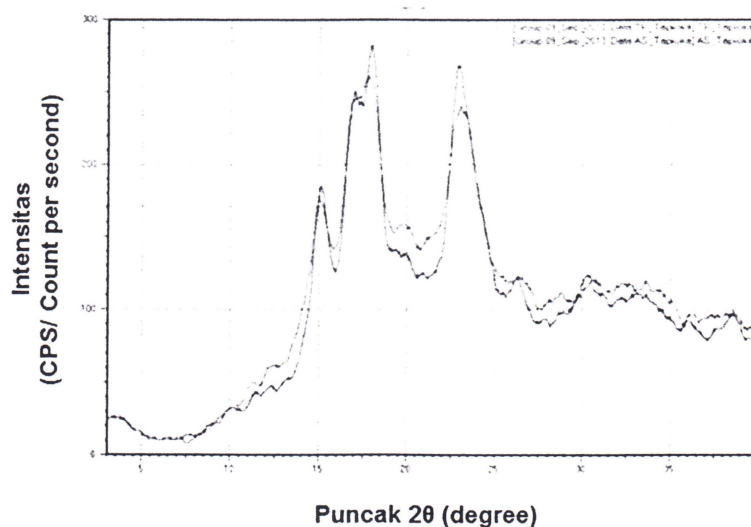
Pembuatan beras artifisial menggunakan bahan baku utama tepung jagung putih. Ke dalam formulasi beras artifisial ditambahkan tepung jagung putih 76%,

tapioka 10%, nano tapioka 10%, GMS 2%, dan Na alginat 1%. Proses ekstrusi dilakukan pada suhu 95 °C; kecepatan putaran screw auger 50 Hz, screw 50 Hz, dan cutter 24 Hz. Nano-tapioka yang digunakan adalah hasil dari hidrolisis asam 5% selama 5 jam, hidrolisis enzimatis selama 24 jam dan destruksi fisik. Analisis yang dilakukan meliputi tekstur dan karakteristik pemasakan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hidrolisis Parsial dengan Asam

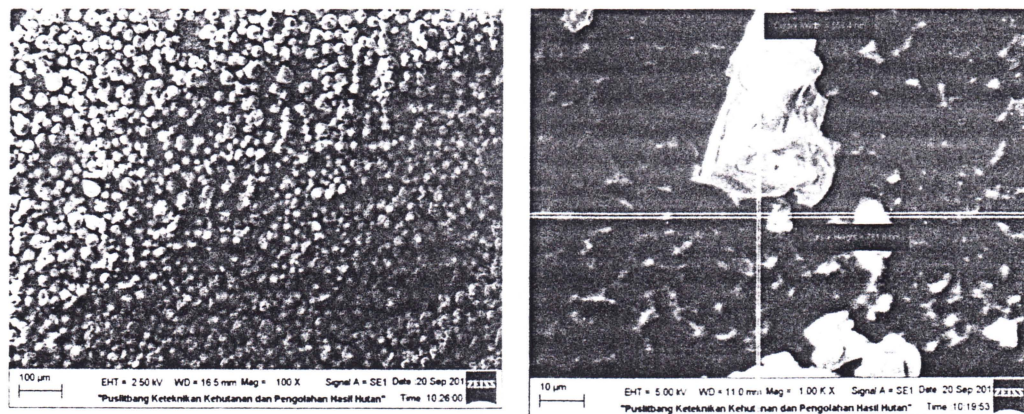
Analisis difraksi sinar X (Gambar 1) menunjukkan bahwa proses hidrolisis dengan HCl 5% selama 5 jam tidak menyebabkan perubahan struktur kristalin tapioka, walaupun intensitas difraksinya berubah. Tapioka alami dan hasil hidrolisis asam menunjukkan struktur kristalin tipe A. Puncak 20 dari tapioka hasil hidrolisis HCl lebih runcing dibandingkan dengan tapioka alaminya. Kristalinitas pati meningkat dengan proses hidrolisis, dari 32,13% (tapioka alami) menjadi 41,48%. Perubahan intensitas difraksi dan kristalinitas ini mengindikasikan terjadinya pengaturan ulang dari daerah kristalin pati. Kim *et al.* (2012) juga telah melaporkan bahwa proses hidrolisis asam dengan menggunakan H₂SO₄ tidak mengubah kristalin pati tipe A (maizena normal dan maizena waxy) dan sedikit meningkatkan kristalinitas maizena waxy.



Gambar 1 Difraksi sinar X tapioka hasil hidrolisis asam 5% selama 5 jam (biru) dibandingkan dengan tapioka alami (merah).

Profil SEM dari tapioka hasil hidrolisis HCl 5% selama 5 jam dibandingkan dengan tapioka alami ditampilkan pada Gambar 2. Tapioka alami memiliki granula yang utuh dengan ukuran granula terkecil sekitar 6 mikro meter. Sebagian kecil dari pati hasil hidrolisis HCl 5% selama 5 jam berbentuk serpihan dengan diameter 781,8 nano meter dan sebagian besar masih berbentuk granula utuh.

Analisa PSA (particle size analyzer) tidak dapat dilakukan untuk sampel tapioka hasil hidrolisis asam. Hal ini diduga karena alat tidak sensitif untuk partikel berukuran lebih dari 1 mikrometer. Dari sini dapat disimpulkan bahwa serpihan sangat kecil dengan ukuran diameter sampai dengan 781,8 nm yang terlihat pada saat analisis SEM jumlahnya relatif sedikit. Secara keseluruhan ukuran masih cukup besar sehingga tidak dapat dibaca oleh PSA dalam rentang ukuran nano meter.

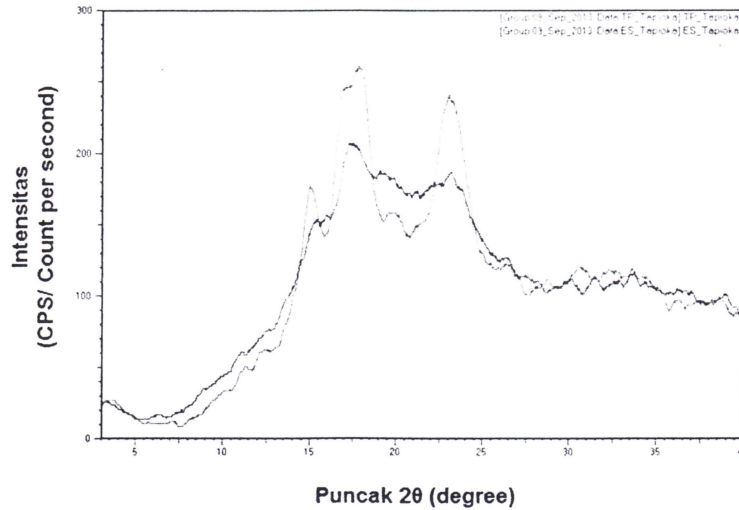


Gambar 2 Hasil Analisis SEM untuk (a) Granula pati tapioka alami (tanpa modifikasi); (b) Granula pati tapioka dengan perlakuan asam 5% selama 5 jam.

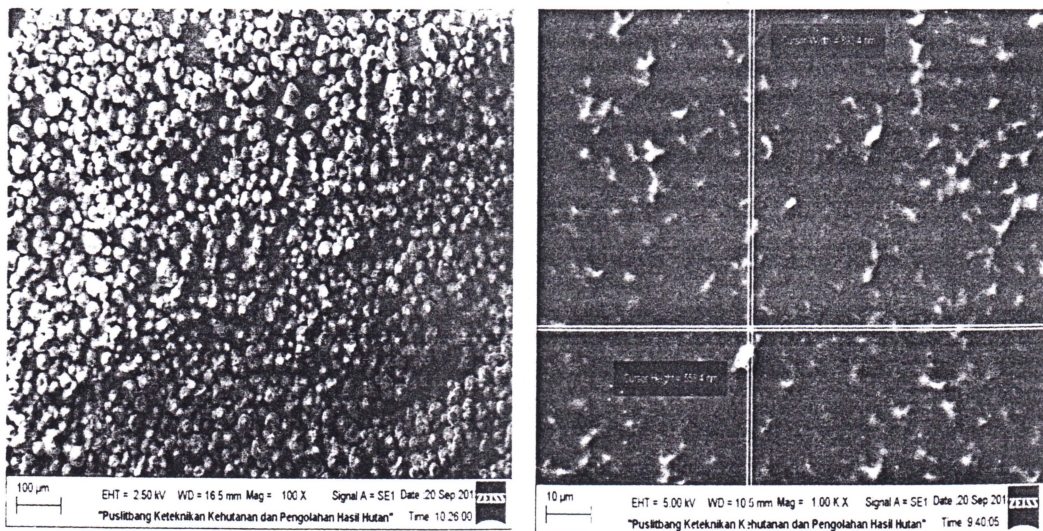
Hidrolisis Secara Enzimatis

Analisis difraksi sinar X menunjukkan bahwa tapioka hasil hidrolisis enzimatis selama 24 jam memiliki puncak 2θ yang berbeda dengan tapioka alaminya. Perubahan pola kristalinitas ini mengindikasikan terjadinya pengaturan ulang daerah kristalin pati (Gambar 3). Kristalinitas tapioka menurun dari 32,13% (tapioka alami) menjadi 27,10% (tapioka hasil hidrolisis enzim 24 jam). Penelitian Kim *et al.* (2008) melaporkan terjadinya penurunan intensitas difraksi pada pati beras waxy yang dihidrolisis dengan α -amilase selama 24 jam yang mengindikasikan terjadinya erosi daerah kristalin.

Seperti halnya hidrolisis asam, maka proses hidrolisis enzim juga akan menghasilkan kristal pati nano (Le Corre *et al.* 2010). Analisis SEM (Gambar 4) menunjukkan bahwa dari hidrolisis enzimatis selama 24 jam diperoleh serpihan pati dengan diameter 558,4 nano meter. Ukuran ini lebih kecil dari yang diperoleh melalui hidrolisis asam.



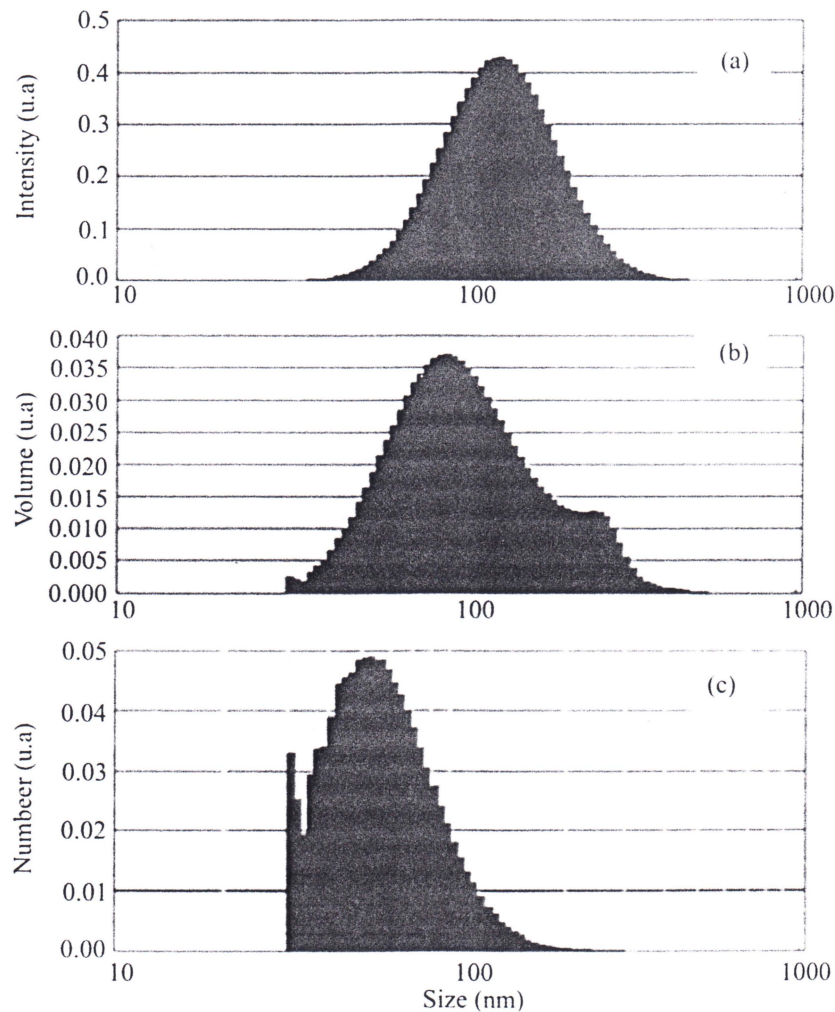
Gambar 3 Difraksi sinar X tapioka hasil hidrolisis isoamilase 0,5% selama 24 jam dibandingkan dengan tapioka alami.



Gambar 4 Hasil Analisa SEM untuk (a) Granula pati tapioka alami (tanpa modifikasi); (b) Granula tapioka modifikasi dengan enzim isoamilase 0,5% selama 24 jam.

Dilihat dari distribusi ukuran partikelnya (Gambar 5), sebaran ukuran partikel tapioka hasil analisis enzimatis selama 24 jam adalah 40,75–407,49 nm dengan ukuran rata-rata 125,91 nm. Waktu hidrolisis enzimatis mempengaruhi

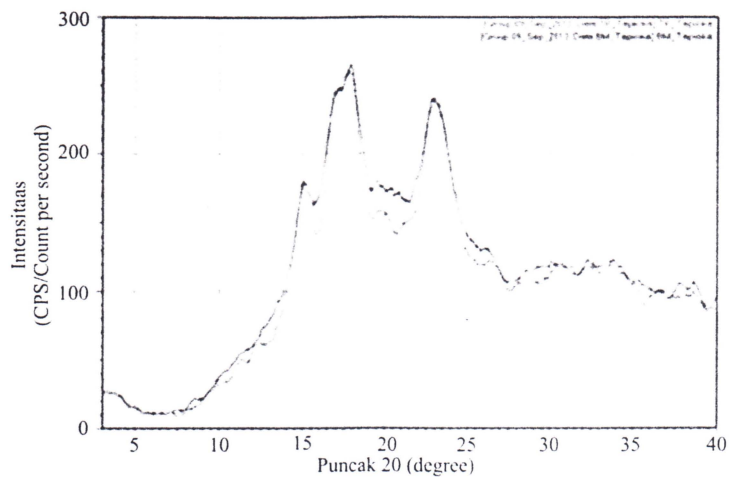
distribusi ukuran partikel. Pada pati beras waxy, partikel pati nano (500 nm) terutama diperoleh pada lama waktu hidrolisis kurang dari 24 jam. Proses hidrolisis 24 jam menyebabkan partikel berukuran besar lebih banyak dijumpai. Hal ini diduga karena terjadinya agregasi fragmen pati (Kim et al, 2008).



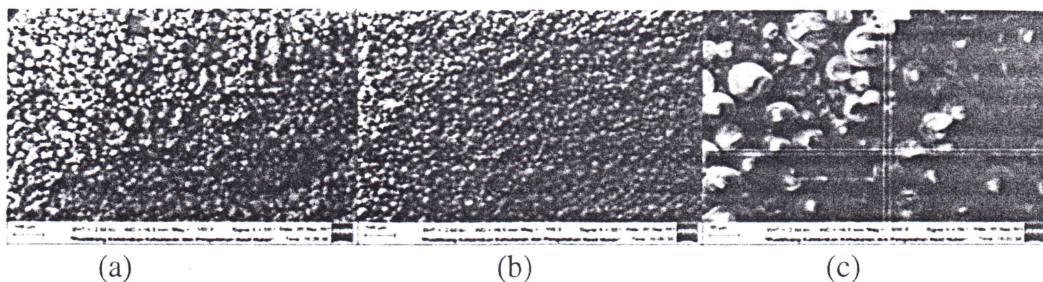
Gambar 5 Hasil analisa Size dengan Particle Size Analyzer: Berdasarkan intensitas (a); berdasarkan volume (b) dan berdasarkan nomor (c).

Hidrolisis Secara Fisik

Analisis difraksi sinar X (Gambar 6) menunjukkan bahwa pola kristalinitas tapioka hasil destruksi fisik mirip dengan tapioka alami. Akan tetapi, destruksi fisik menurunkan kristalinitas 32,13% (pati alami) menjadi 25,88% (pati modifikasi). Proses mekanis menyebabkan sebagian granula pecah membentuk serpihan-serpihan kecil, seperti ditunjukkan oleh analisis SEM (Gambar 7). Sementara itu, sebagian yang lain masih utuh dengan ukuran sekitar 3,127 mikron.



Gambar 6 Difraksi sinar X tapioka hasil destruksi fisik menggunakan ball mill dibandingkan dengan tapioka alami.



Gambar 7 Hasil Analisa SEM Granula Pati Tapioka (a) Alami (tanpa modifikasi perbesaran 100 x; (b) Hasil modifikasi fisik dengan alat Ball Mill perbesaran 100x (c) Hasil modifikasi fisik dengan Ball Mill pada perbesaran 500 x.

Intensitas perlakuan mekanis yang diberikan berpengaruh terhadap ukuran rata-rata dan distribusi ukuran pati yang dihasilkan. Proses mekanis 3 siklus dengan waktu proses 4 jam menghasilkan ukuran rata-rata terkecil (871,1 nm) dengan distribusi ukuran yang luas, yaitu $871,1 \pm 535,1$ nm (Tabel 1). Chen *et al.* (2010) melaporkan bahwa proses penggilingan selama 30 menit mengecilkan ukuran pati jagung dari 9610 nm menjadi 260 nm dan diperoleh pula partikel pati berukuran kurang dari 100 nm.

Tabel 1 Hasil analisa PSA untuk Tapioka dengan perlakuan penggunaan Ball Mill

Perlakuan	Polidispersity Index	Ukuran (nm)
Siklus 1, 1400 rpm, selama 2 jam	0,152	$2114,3 \pm 223,9$
Siklus 2, 1400 rpm, selama 3 jam	0,347	$1582,0 \pm 164,4$
Siklus 3, 1400 rpm, selama 4 jam	0,532	$871,1 \pm 535,1$

Aplikasi Nano-tapioka dalam Beras Artifisial

Uji coba pembuatan beras jagung artifisial dilakukan dengan menggunakan tepung jagung dan tapioka yang belum dimodifikasi dengan beberapa kombinasi komposisi bahan untuk memperoleh butiran beras dengan mutu yang baik. Kriterianya adalah: terbentuk butiran yang terpisah satu sama lain, tidak saling lengket, dan tidak mengalami puffing yang berlebihan.

Dari proses uji coba diketahui bahwa komposisi bahan akan mempengaruhi proses pembentukan butiran beras. Penggunaan tapioka lebih dari 10% menyebabkan kelengketan adonan meningkat sehingga butiran beras tidak dapat dibentuk. Kondisi formula optimal yang diperoleh yaitu penggunaan 10% tapioka, 2% GMS, 1% Na alginat dan sisanya tepung jagung. Proses ekstrusi maksimal dilakukan pada suhu 95 °C; kecepatan putaran screw auger 50 Hz, screw 50 Hz, dan cutter 24 Hz.

Uji coba lebih lanjut dilakukan untuk melihat pengaruh dari teknik penepungan terhadap karakteristik beras artifisial yang dihasilkan. Parameter produk yang diamati adalah keseragaman ukuran, rasio pengembangan, derajat putih, waktu hidrasi, rasio hidrasi dan tekstur.

Ukuran beras artifisial yang dibuat dengan tepung jagung dry mill (DM) sedikit lebih besar dari beras yang dibuat dengan tepung jagung alkali cooked mill (ACM). Tepung jagung DM juga menghasilkan beras artifisial dengan derajat putih dan kecerahan (nilai L) yang sedikit lebih tinggi dibandingkan tepung jagung ACM (Tabel 2).

Tabel 2 Ukuran dan warna beras artifisial instan

Jenis Sampel	Ukuran (mg/butir)	Warna			
		L	a	b	Derajat putih
DM 1	20,06	70,22	-0,70	19,36	64,46
DM 2	21,22	69,67	-0,45	19,95	63,69
ACM 1	19,55	64,32	0,26	20,37	58,91
ACM 2	20,88	69,94	-0,46	18,89	64,49

Selama pemasakan, beras artifisial menggunakan tepung DM memiliki rasio pengembangan yang sedikit lebih tinggi, waktu rehidrasi yang sedikit lebih pendek dan rasio hidrasi yang lebih tinggi dibandingkan beras artifisial tepung ACM (Tabel 3). Perbedaan ini diduga disebabkan oleh terjadinya modifikasi pati karena kondisi alkali (perendaman dalam larutan Ca(OH)_2) pada penepungan

dengan teknik ACM. Analisis tekstur menunjukkan bahwa nasi dari beras jagung artifisial memiliki karakter lengket yang lebih rendah dari nasi beras. Tepung DM menghasilkan nasi jagung artifisial yang lebih tidak lengket (lebih pera) dibandingkan tepung ACM. Kekerasan nasi dari beras artifisial menggunakan tepung DM lebih rendah dibandingkan nasi dari beras, sementara kekerasan nasi dari beras artifisial tepung ACM mendekati nasi dari beras (Tabel 4).

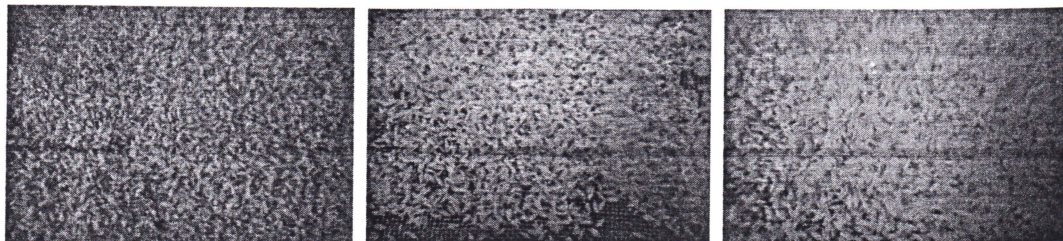
Tabel 3 Karakteristik pemasakan beras jagung artifisial

Sampel	Rasio pengembangan	Waktu hidrasi (menit)	Rasio hidrasi (%)
DM1	158,33	16	189,11
DM 2	150,00	14	205,88
ACM 1	150,00	18	141,00
ACM 2	150,00	19	139,48

Tabel 4 Karakteristik tekstur (hardness dan stickness) beras artifisial

Sampel	Hardness (g)	Stickiness (g)
Beras Biasa	386,1	41,8
DM1	256,9	9,7
DM 2	347,4	11,7
ACM 1	369,5	18,3
ACM 2	409,5	11,3

Berdasarkan hasil penelitian di atas, maka untuk implementasi lebih lanjut, dilakukan pembuatan beras artifisial dengan tepung jagung dan nano tapioka. Total tapioka yang digunakan 10% dari adonan dengan rasio tapioka alami dan tapioka nano 1:1. Dari hasil penelitian, penggunaan ketiga jenis tapioka pada tingkat substitusi masing-masing 5% dapat diperoleh butiran beras dengan kualitas mutu yang sangat baik, terlihat dari penampakan butiran beras yang kokoh, tidak lengket satu sama lain, serta tidak mengalami puffing yang berlebihan (Gambar 8).



Gambar 8 Beras yang disubstitusi 5% (1) Tapioka enzimatis 24 jam; (2) tapioka perlakuan Ball Mill; (3) Tapioka hidrolisis HCl 5% selama 5 jam.

KESIMPULAN

Teknik penepungan jagung secara dry mill maupun cooked mill relatif menghasilk-an karakteristik yang tepung yang sama. Dengan demikian, metode penepungan dengan metode dry mill sudah memadai untuk menghasilkan tepung jagung yang diinginkan. Metode pengecilan ukuran granula pati tapioka hingga ke tingkat nano memberikan respon yang berbeda-beda pada ketiga teknik yang diujikan. Metode hidrolisis pati tapioka dengan pengasaman secara parsial dengan menggunakan HCl 5% selama 5 jam menghasilkan granula pati yang pada umumnya masih utuh dan berukuran masih cukup besar (belum mencapai ukuran nano). Namun demikian, di antara granula pati yang diproses dengan perlakuan tersebut ditemukan yang memperlihatkan granula berukuran kecil dengan diameter 781,8 nm. Pengecilan ukuran secara fisik dengan menggunakan Ball Mill dengan 3 siklus proses pada kecepatan 1400 rpm menghasilkan partikel berukuran 871,1 nm. Perlakuan secara enzimatik dengan menggunakan enzim isoamilase selama 24 jam, menurunkan ukuran granula dengan distribusi ukuran berkisar 40,75–407,49 nm dan rata-rata 125,91 nm.

Penambahan tapioka yang sudah mengalami pengecilan ukuran hingga ke struktur nano sebanyak 5% memberikan pengaruh terhadap mutu beras artifisial jagung, terutama menghasilkan granula butiran beras yang kompak, tidak lengket dan tidak mengembang (puffing) secara berlebihan.

DAFTAR PUSTAKA

- Cai L, Cheng SY, Rong L, Hsiao BS. 2010. Debranching and crystallization of waxy maize starch in relation to enzyme digestibility. *Carbohydrate Polymers*. 81: 385–393.
- Cai L, Shi YC. 2010. Structure and digestibility of crystalline short-chain amylose from debranched waxy wheat, waxy maize and waxy potato starches. *Carbohydrate Polymers* 79, 1117e1123.
- Cai L, Yanjie B, Shi YC. 2012. Study on melting and crystallization of short-linear chains from debranched waxy starches by in situ synchrotron wide-angle X-ray diffraction. *Journal of Cereal Science xxx*. (2012) 1–7.
- Chen CJ, Shen YC, Yeh AI. 2010. Physico-chemical characteristics of media-milled corn starch. *J. Agric. Food Chem.* 58(16): 9083–9091.

- Herawati H, Widowati S. 2009. Karakteristik Beras Mutiara dari Ubi Jalar (*Ipomea batatas*). *Buletin Teknologi Pascapanen Pertanian*. 5(1):39–48.
- Herawati H, Arif A, Oktaviani K, Widowati S. 2011. Karakteristik beras artifisial berbasis ubikayu dan kedelai. Disampaikan pada Seminar Nasional Teknologi Pascapanen 2011, Bogor.
- Kim HY, Lee JH, Kim JY, Lim WJ, Lim ST. 2012. Characterization of nanoparticles prepared by acid hydrolysis of various starches. *Starch/Stärke* 64: 367–373.
- Kim JY, Park DJ, Lim ST. 2008. Fragmentation of waxy rice starch granules by enzymatic hydrolysis. *Cereal Chem*. 85(2): 182–187
- Le Corre D, Bras J, Dufresne A. 2010. Starch nanoparticles: a review. *Biomacromolecules*, 11(5): 1139–1153
- Widowati S, Richana N, Suismono, Herawati H. 2008. Pengembangan Pangan Pokok Berbasis Pangan Lokal. Laporan Akhir Tahun Rencana Penelitian Tim Peneliti T.A. 2008. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian.