

KARAKTERISASI SERTA STUDI PENGARUH PERLAKUAN PANAS ANNEALING DAN HEAT MOISTURE TREATMENT (HMT) TERHADAP SIFAT FISIKOKIMIA PATI JAGUNG

Widaningrum dan Endang Yuli Purwani

Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian

Penelitian pengaruh perlakuan panas *annealing* dan *heat moisture treatment* terhadap sifat fisikokimia pati jagung telah dilakukan. Tujuan penelitian yaitu melakukan karakterisasi dan menerapkan dua perlakuan panas (*annealing* dan *heat moisture treatment*/HMT) untuk memodifikasi sifat fisikokimia pati jagung dari beberapa varietas. Perlakuan panas dipilih dengan pertimbangan cara fisik dianggap lebih aman dibanding dengan cara kimiawi. Beberapa varietas jagung (jagung Ketan, Antasena, Bisma, Kalingga dan C7) difraksinasi untuk mendapatkan serat, *germ*, gluten, dan pati. Selanjutnya pati diisolasi dari tiga varietas jagung terpilih, dan diberi perlakuan *annealing* serta HMT. Sebagai kontrol digunakan pati jagung komersial. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi varietas dan jenis perlakuan panas berpengaruh nyata terhadap komponen kimia (air, amilosa dan lemak) dan sifat fisik pati (daya serap air). Kadar air, amilosa, dan lemak pati jagung bervariasi antara 2-10%, 17-46%, dan 1-2%, sedangkan daya serap air sekitar 0,4-3%. Sifat-sifat pati jagung yang diteliti setara dengan pati jagung komersial. Perlakuan panas mengubah sifat pasta pati jagung yang dievaluasi dengan alat Brabender Amilograph. Berdasarkan kurva Brabender, pasta pati jagung *native* dari jenis Ketan dan Bisma yang semula termasuk dalam tipe A berubah menjadi tipe C setelah perlakuan panas.

Kata kunci: Perlakuan panas, sifat fisiko kimia, pati jagung, *annealing treatment*, *heat moisture treatment* (HMT)

ABSTRACT. Widaningrum and Endang Yuli Purwani. 2006. **Characterization and study of the effect of annealing and heat moisture treatment on corn starch physicochemical properties.** Research about the effect of annealing and heat moisture treatment on corn starch physicochemical properties had been done. The aim of the research was to characterize and to apply two heating treatment (annealing and heat moisture treatment) to modify corn starch physicochemical properties from some varieties. There is considerable interest in physical modification such as heat treatment, as it is considered to be safer compared to those of chemical modification. To some corn varieties (Waxy corn, Antasena, Bisma, Kalingga and C7) fractionated until fiber, germ, gluten and starch were obtained. Starch isolation were done to three selected varieties, then they were given annealing and heat moisture treatments. Corn starch was then analyzed for its physicochemical properties and compared to commercial corn starch. It was observed that physicochemical properties of corn starch was significantly affected by the combination of both corn varieties and heat treatment methods. Moisture content, amylose, and fat were varied from 2-10%, 17-46% and 1-2%, respectively whereas water absorption capacity of starch was 0.4-3%. Physicochemical properties of the starch was equal to commercial starch. Heat treatment changed the starch pasting properties. It was shown that native starch from waxy corn and Bisma which had A type changed into C type after heating treatment.

Keywords : Heat treatment, physicochemical properties, corn starch, annealing treatment, heat moisture treatment

PENDAHULUAN

Di Indonesia, jagung merupakan bahan pangan pokok kedua setelah beras serta sebagai pakan dan bahan baku industri. Berbagai usaha telah dan sedang dilakukan untuk meningkatkan produksi jagung nasional, diantaranya perakitan berbagai varietas unggul baru oleh lembaga penelitian, baik di lingkup Departemen Pertanian maupun Perguruan Tinggi. Varietas jagung yang dilepas oleh Departemen Pertanian dan perusahaan benih swasta selama kurun waktu 84 tahun terakhir mencapai 34 jenis jagung bersari bebas dan 36 jenis jagung hibrida (Adil *et al.*, 2002). Selain itu produksi jagung di Indonesia mengalami peningkatan dari tahun 2001 (9,25 juta ton) menjadi 12 juta ton pada tahun 2005 (Anonymous, 2005).

Jagung Ketan, Antasena, Bisma dan Kalingga merupakan jenis jagung bersari bebas, sedangkan varietas

C7 merupakan jenis jagung hibrida. Biji jagung varietas Bisma, Antasena dan Kalingga berwarna kuning tua, sedangkan jagung Ketan berwarna putih, dan C7 berwarna jingga. Varietas jagung tersebut telah banyak beredar dan dikenal di kalangan petani jagung, serta memiliki produktivitas tinggi (Muhammad, 2002).

Menurut Thahir *et al.* (1986), terdapat kecenderungan permintaan yang sangat besar terhadap palawija umumnya dan jagung khususnya dari sektor industri, akibat adanya kenaikan permintaan terhadap daging dan telur. Sektor ini membutuhkan jagung sebagai makanan ternak dan permintaan langsung untuk konsumsi manusia (*industrial food*). Sebagai bahan industri, jagung mempunyai kegunaan mulai dari batang, daun dan tongkolnya. Pati merupakan komponen terbesar pada biji jagung dan telah dimanfaatkan di berbagai bidang. Sebagai contoh, pada industri pangan, pati jagung dapat digunakan sebagai

dekstrin, sirup gula, dan bahan cat (Loenard dan Martin, 1953 dalam Thahir *et al.*, 1986). Pati jagung berperan sebagai bahan pokok pembuatan makanan maupun sebagai bahan campuran. Pati jagung juga digunakan dalam bidang farmasi (bahan pengisi tablet), kosmetika (pembentuk gel), dan industri kimia (bahan pembuat asam organik) (Fardiaz, 1993; Winarno, 1997). Aplikasi pati jagung pada setiap sektor industri ditentukan oleh karakteristik pati yang bersangkutan. Hingga saat ini informasi mengenai karakteristik pati dari berbagai varietas jagung di Indonesia masih sangat terbatas.

Kesulitan dalam penggunaan pati jagung selain pemasakannya memakan waktu lama, pasta yang terbentuk juga keras dan buram (Readley, 1976 dalam Fardiaz *et al.*, 1993). Pati mentah yang secara alamiah tidak memiliki sifat yang sesuai untuk tujuan tertentu dapat dimodifikasi untuk mendapatkan kombinasi sifat-sifat yang sesuai untuk penerapannya tersebut. Berbagai cara modifikasi dapat dilakukan misalnya modifikasi secara fisik maupun kimiawi. Modifikasi pati secara kimiawi dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu hidrolisa asam, oksidasi, substitusi dan ikatan silang (Luallen, 1985 dalam Afdi, 1989).

Pada proses modifikasi pati dengan cara hidrolisa asam terjadi pemecahan ikatan α -D-glukosa dari molekul pati (Rogol, 1986). Di samping itu pada pati yang dimodifikasi dengan cara ini juga terjadi pelemahan struktur sehingga dapat merubah kekentalannya. Pati yang dimodifikasi dengan metode ini mempunyai kekentalan dalam keadaan panas yang rendah dan daya lekatnya tinggi, banyak digunakan dalam industri kertas, tekstil dan perekat serta sebagai bahan pembuatan "gum-candy" pada industri pangan (Smith, 1985 dalam Afdi, 1989). Apabila hidrolisa asam dilakukan terhadap pati dengan kandungan air terbatas, maka akan diperoleh fraksi yang lebih kecil lagi yang disebut dekstrin. Dekstrin ini mempunyai daya lekat yang lebih kuat daripada pati yang dihasilkan dari hidrolisa terhadap suspensinya dalam air. Oleh karena itu penggunaan pati ini terbatas sekali (Luallen, 1985 dalam Afdi, 1989).

Pada proses modifikasi pati dengan cara oksidasi, terjadi pemecahan rantai molekul pati secara acak. Salah satu bentuk oksidasi pati adalah pemucatan (*bleaching*) dengan menggunakan pereaksi Natrium hipoklorit (Luallen, 1985 dalam Afdi, 1989). Proses oksidasi adalah memasukkan gugus karboksil dan atau gugus karbonil ke dalam rantai lurus maupun rantai cabang dari molekul pati, sehingga membuka struktur cincin glukosa dan menekuknya melalui pengguntungan rantai molekul. Proses ini tergantung kepada kondisi reaksi seperti suhu dan pH (Rogol, 1986). Metode oksidasi ini menyebabkan sifat pati akan berubah, antara lain kekentalannya menurun dan hilangnya sebagian sifat gel (Luallen, 1985 dalam Afdi,

1989). Menurut Rogol (1986), oksidasi pati dapat menyebabkan rendahnya retrogradasi dan tingginya daya dispersi. Selain itu Natrium hipoklorit dapat menekan jumlah bakteri selama proses produksi dan menyebabkan pati menjadi putih. Pati semacam ini terbatas penggunaannya untuk permen dan jelly.

Cara modifikasi pati yang ketiga adalah dengan substitusi. Cara ini dilakukan dengan mensubstitusikan gugus anion ke seluruh granula di dalam pati sehingga menghalangi penggabungan granula-granula pati. Hal ini dimaksudkan untuk mengubah struktur amilosa yang semula cenderung sejajar menjadi berbentuk kristal agregat (karena gugus hidroksilnya berikatan dalam posisi yang lurus). Akibatnya pati menjadi lebih sukar larut dalam air serta sukar mengalami gelatinisasi. Dengan demikian pati yang dimodifikasi memiliki sifat mudah untuk tergelatinisasi (Afdi, 1989). Salah satu cara substitusi adalah dengan mengalkilasi pati. Modifikasi pati dengan metode ini menyebabkan sifat kepolarannya berubah dan kejernihan pastinya meningkat, serta menjadi lebih stabil dalam pembekuan (Rogol, 1986).

Ikatan silang merupakan cara keempat dalam proses modifikasi pati dengan menggunakan pereaksi kimia. Granula pati yang telah membengkak akan mudah pecah bila lama dipanaskan (Afdi, 1989). Hal tersebut dapat diatasi dengan membentuk ikatan silang di antara molekul-molekul pati dengan menggunakan pereaksi yang bersifat polifungsional (Rogol, 1986). Pemilihan pereaksi untuk pembentukan ikatan silang agak terbatas. Selain harus bersifat nukleofilik yang kuat, pereaksi tersebut juga harus bebas dari pengaruh toksik atau mempunyai ketidakstabilan yang tinggi sehingga kelebihannya dapat dirubah menjadi produk yang tidak merusak. Menurut O'Dell (1981) dalam Rogol (1986), pereaksi yang dapat dipakai adalah Natrium trimetafosfat, Epiklorohidrin dan Asam adipat. Sedangkan pereaksi yang paling sering digunakan adalah Fosfor oksiklorida dan Natrium trimetafosfat.

Keempat cara tersebut merupakan cara kimia yang menyebabkan terjadinya perubahan secara kimiawi di dalam struktur molekul pati. Selain cara kimia, ada cara lain yang dapat dilakukan untuk memodifikasi sifat fungsional pati. Cara tersebut misalnya dengan perlakuan pemanasan, yang menyebabkan terjadinya perubahan di dalam struktur molekul pati secara fisik, tanpa terjadi perubahan kimiawi. Cara modifikasi secara fisik dengan perlakuan panas telah menjadi perhatian berbagai kalangan karena bersifat alami dan relatif aman.

Stute (1992) menggunakan istilah hidrotermal untuk menggambarkan perlakuan panas pada pati dalam kondisi air dan suhu yang bervariasi. Studi pada pati jagung menunjukkan bahwa perlakuan panas dapat dilakukan

pada keadaan kadar air berlebih di bawah temperatur gelatinisasi atau dikenal dengan istilah *annealing treatment* (Krueger *et al.*, 1987). Perlakuan panas dapat pula dilakukan pada keadaan kadar air terbatas di atas temperatur gelatinisasi atau dikenal dengan istilah *heat moisture treatment* (Pilosof *et al.*, 1986). Studi yang sama terhadap jagung yang beredar di Indonesia masih sangat terbatas. Informasi sifat pati jagung dari beberapa varietas juga sangat diperlukan oleh para pemulia tanaman untuk merakit varietas baru atau mempertahankan varietas yang telah ada sesuai dengan kebutuhan. Sedangkan informasi mengenai sifat pati jagung yang mengalami perlakuan panas sangat menentukan aplikasi pati lebih lanjut.

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari (1) keragaman karakteristik pati dari beberapa varietas jagung di Indonesia dan (2) pengaruh perlakuan panas terhadap karakteristik pati jagung yang bersangkutan. Informasi yang diperoleh dapat dimanfaatkan untuk mengembangkan produk olahan jagung. Bagi pemulia tanaman, informasi tersebut berguna untuk merakit varietas baru sesuai dengan kebutuhan. Ruang lingkup penelitian meliputi: fraksinasi biji jagung dari lima varietas jagung (jagung Ketan, Antasena, Bisma, Kalingga dan C7), evaluasi sifat fisik, komposisi kimia pati jagung, dan analisis sifat gelatinisasinya. Sebagai hipotesis, diduga bahwa karakteristik pati jagung bervariasi tergantung pada varietasnya dan perlakuan panas berpengaruh terhadap sifat fisiko kimia pati.

BAHAPAN METODE

Bahan yang digunakan adalah biji jagung pipil kering yang telah diteliti meliputi jagung ketan dan jagung non ketan (varietas Antasena, Bisma, Kalingga, dan C7) yang diperoleh dari kebun percobaan Cikeumeuh-Balai Besar Bioteknologi dan Sumberdaya Genetika (BB-Biogen Bogor). Jagung dipetik pada keadaan umur panen yang optimal dan seragam, tergantung varietasnya. Bahan-bahan lain yang dibutuhkan yaitu bahan kimia proanalisis dan teknis serta alat percobaan dan alat analisis.

Penelitian dilaksanakan di laboratorium Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian Bogor. Penelitian berlangsung selama enam bulan yaitu dari bulan April 2003 hingga Oktober 2003.

Penelitian dilakukan secara bertahap. Tahap pertama berupa pemisahan komponen biji jagung berdasarkan bobot fraksinya, yaitu pati, gluten, serat dan lembaga dari jagung Ketan, Antasena, Bisma, Kalingga serta C7. Selanjutnya dipilih tiga jenis jagung yang memiliki kandungan pati tinggi. Pati diisolasi dan diberi perlakuan *annealing* serta HMT. Sebagai kontrol digunakan pati

jagung komersial, yaitu pati jagung yang dibeli dari pasar dengan merek Maizena®.

Fraksinasi (Diadopsi dari *Corn Wet Milling Lab; Olson, 2002*)

Biji jagung sebanyak ± 11 g ditambah 250 ml larutan perendam berupa campuran 0,2% NaHSO₃ dan 2% (v/v) asam laktat pekat dalam 1 l aquades. Biji jagung diinkubasi dalam inkubator bergoyang (200-250 rpm) pada suhu 54°C selama 45-48 jam. Kemudian biji jagung dibilas dengan aquades, ditiriskan dan dihancurkan dengan *blender* sampai halus. Selanjutnya disaring dengan kain saring lalu filtrat dari bubur jagung yang mengandung suspensi pati dan gluten ditampung dan dibiarkan mengendap (didekantasi). Ampas jagung (mengandung *germ* dan serat) dimasukkan dalam 300 ml larutan NaCl 2 M. *Germ* yang mengapung dikumpulkan, dikeringkan, dan ditentukan beratnya. Larutan NaCl 2 M disaring dan dapat didaur ulang, sedangkan ampasnya dimasukkan kembali ke dalam *blender* dan dihancurkan. Pengumpulan *germ* dan ekstraksi diulangi tiga kali. Serat yang terkandung dalam ampas jagung dikumpulkan dalam cawan yang telah diketahui berat kosongnya, dikeringkan dan ditimbang beratnya.

Suspensi pati dan gluten dicuci, didekantasi dan ditambahkan isoamil alkohol sebanyak dua kali volume suspensi pati dan gluten, kemudian didiamkan semalam. Pati mengendap di dasar, kemudian lapisan air, gluten dan paling atas lapisan isoamil alkohol. Gluten diambil/dipisahkan secara manual dengan bantuan pipet. Pati dan gluten dikeringkan dan ditentukan beratnya. Fraksi pati, gluten, *germ* dan serat dinyatakan sebagai persentase terhadap berat biji jagung awal.

Isolasi Pati Jagung

Biji jagung dari (± 1000 g) ditambah dengan 2000 ml larutan perendam. Biji jagung diinkubasi pada suhu 54°C selama 45-48 jam. Pati diisolasi dengan cara yang diuraikan pada sub-bab fraksinasi.

Perlakuan Panas Pati Jagung

Annealing Treatment (Jacobs *et al.*, 1995, Vermeulen dan Delcour, 2001)

Pati jagung sebanyak 80 g dari masing-masing varietas ditempatkan dalam erlenmeyer 250 ml, kemudian ditambahkan aquades 160 ml (1:2 b/v). Pati jagung dan aquades diaduk hingga merata, kemudian diinkubasi pada suhu 50°C selama 48 jam. Setelah selesai, air yang berlebih dibuang menggunakan pipet. Pati ditempatkan pada cawan dan dikeringkan dalam oven pada suhu 45°C.

Heat Moisture Treatment/HMT (Vermeylen dan Delcour, 2001)

Pati jagung 80 g ditempatkan dalam cawan petri, kemudian ditambahkan air hingga memiliki kelembaban 20%. Kelembaban diciptakan dengan cara menambahkan aquades secara langsung setelah diketahui kadar air masing-masing pati jagung. Pati jagung diaduk dengan aquades hingga homogen, kemudian ditempatkan dalam plastik dan diikat/disegel rapat. Pati disimpan dalam pendingin selama 4 hari agar kelembaban merata dan seimbang. Pati yang telah seimbang kelembabannya dipindahkan pada cawan petri, kemudian dipanaskan pada suhu 100°C dalam oven selama 24 jam.

Analisis Sifat Kimia dan Fisik Pati Jagung

Komposisi kimia pati jagung yang dianalisis yaitu kadar amilosa (AOAC, 2000), kadar protein (Metode Kjeldahl; Lisle *et al.*, 1990), kadar lemak (Metode Soxhlet; Anonymous, 1995) dan kadar air (AOAC, 2000). Sedangkan sifat fisik pati jagung yang dianalisis yaitu kelarutan pati jagung (Leach *et al.*, 1959 dalam Fardiaz *et al.*, 1993), daya serap air dan minyak, serta derajat putih.

Daya serap air dan minyak pati jagung dianalisis dengan prosedur sebagai berikut: 1 g sampel dimasukkan dalam tabung sentrifugasi, kemudian ditambahkan 10 ml air atau minyak. Sampel diaduk 30 detik kemudian didiamkan selama 30 menit pada suhu kamar lalu disentrifugasi pada 3000 rpm selama 30 menit. Supernatan (air atau minyak) didekantasi dan ditimbang beratnya. Daya serap air atau minyak (g/g) adalah hasil pengurangan berat supernatan dari berat air/minyak mula-mula dibagi dengan berat sampel.

Derajat putih pati jagung dianalisis menggunakan alat Chromameter Minolta. Dari hasil pengukuran akan diperoleh nilai L, a dan b, kemudian dihitung derajat putihnya sebagai berikut: $W = 100 - [(100-L)^2 + (a^2 + b^2)]^{0.5}$ dimana W = derajat putih, 100 = nilai derajat putih paling sempurna, L = kecerahan, a = warna merah jika bertanda (+) dan warna hijau jika bertanda (-), b = warna kuning jika bertanda (+) dan warna biru jika bertanda (-).

Analisis Sifat Pasta Pati Jagung

Analisis sifat gelatinisasi/pasta pati jagung dilakukan dengan menggunakan alat *Brabender Amylograph* mengikuti metode ISI (Anonymous, 1997). Suspensi pati dalam aquades (8%) dimasukkan ke dalam mangkuk yang tersedia. Contoh dipanaskan hingga suhu 90°C dengan kelajuan peningkatan suhu 1,5°C/menit. Panas dipertahankan pada suhu tersebut selama 20 menit dan didinginkan pada suhu 50°C dengan kecepatan pengadukan yang sama serta dipertahankan selama 20 menit pada suhu dingin tersebut. Perubahan kekentalan (dinyatakan dalam BU (*Brabender Unit*)) dicatat secara

otomatis sehingga diperoleh suatu kurva *Brabender* yang menyatakan nilai-nilai berikut: Suhu gelatinisasi (T.Gel), suhu saat kekentalan maksimum (T.Puncak), kekentalan maksimum (V.Puncak), kekentalan pada suhu 93°C (V₉₃), kekentalan selama pemanasan (V_{93/20}), kekentalan pada suhu 50°C (V₅₀) dan kekentalan akhir (V_{50/20}).

Analisis Statistik

Data fraksi biji jagung dan sifat pasta pati dianalisis secara deskriptif. Rancangan Acak Kelompok Lengkap digunakan untuk mempelajari sifat fisik dan kimia pati jagung dari 5 varietas akibat perlakuan panas. Data sifat fisik dan kimia pati jagung dianalisis menggunakan uji sidik ragam (ANOVA). Apabila perlakuan memberikan perbedaan nyata maka dilanjutkan dengan uji beda rata-rata dengan menggunakan LSD (*Least Significance Difference*) pada taraf 5%. Analisis statistik dilaksanakan dengan menggunakan software SPSS 11.5.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Fraksinasi

Pati, gluten, serat dan lembaga merupakan komponen-komponen yang terdapat di dalam biji jagung. Hasil fraksinasi menunjukkan bahwa distribusi pati, gluten, serat dan lembaga bervariasi antar varietas (Tabel 1). Data pada Tabel 1 menunjukkan bahwa fraksi pati yang terbanyak terdapat pada jagung varietas C7 (53,27%) diikuti dengan varietas Bisma (46,17%), Kalingga (40,06%), Antasena (38,63%) dan paling kecil yaitu pada jagung Ketan (32,10%). Jagung varietas C7 memiliki peluang untuk dikembangkan sebagai bahan baku makanan bayi dan manula karena kandungan patinya yang cukup tinggi. Pada fraksi gluten terjadi hal yang sebaliknya, dimana jagung ketan justru memiliki kandungan gluten paling tinggi (35,12%) diikuti oleh varietas Kalingga (30,96%), Bisma (25,71%), Antasena (24,84%) dan paling kecil

Tabel 1. Distribusi fraksi dari varietas jagung ketan dan jagung non ketan

Table 1. Distribution of components from waxy corn and non-waxy corn

Varietas Variety	Pati Starch (%)	Gluten Gluten (%)	Serat Fiber (%)	Lembaga Germ (%)
1. Jagung Ketan <i>Waxy corn</i>	32,10	35,12	24,65	8,12
2. Jagung non ketan <i>non waxy corn</i>				
a. Antasena	38,63	24,84	28,73	7,80
b. Bisma	46,17	25,71	22,41	5,70
c. Kalingga	40,06	30,96	22,21	6,77
d. C7	53,27	18,61	19,45	8,66

Tabel 2. Komposisi kimia dan sifat fisik pati pada jagung dari dua varietas bersari bebas (Ketan dan Bisma) dan satu varietas hibrida (C7)
 Table 2. Chemical composition and physical properties of corn starch from two free-pollen varieties (Ketan and Bisma) and one hybrid variety (C7)

Varietas dan perlakuan panas Varieties and heating treatment	Kadar air Moisture content (%)	Kadar Amilosa Amylose content (%)	Kadar Protein Protein content (%)	Kadar Lemak Fat content (%)
Pati jagung komersial Commercially corn starch	13,22	45,89	1,54	1,52
Pati jagung Ketan: Waxy corn starch				
Tanpa perlakuan Native starch	10,97 ^a	17,69 ^a	5,77 ^a	2,10 ^a
Perlakuan panas annealing Annealing treatment	5,74 ^b	18,16 ^a	5,23 ^a	1,88 ^a
Perlakuan panas dengan pengaturan kelembaban Heat moisture treatment	2,32 ^c	17,70 ^a	5,17 ^a	2,05 ^a
Pati jagung Bisma: Bisma corn starch				
Tanpa perlakuan Native starch	8,57 ^b	46,15 ^a	3,42 ^b	2,22 ^a
Perlakuan panas annealing Annealing treatment	5,65 ^c	44,22 ^a	3,71 ^b	1,66 ^a
Perlakuan panas dengan pengaturan kelembaban Heat moisture treatment	2,06 ^c	44,32 ^a	3,34 ^b	2,12 ^a
Pati jagung C7: C7 corn starch				
Tanpa perlakuan Native starch	10,96 ^a	43,43 ^a	2,88 ^b	1,98 ^a
Perlakuan panas annealing Annealing treatment	6,46 ^b	42,52 ^b	2,28 ^c	1,38 ^a
Perlakuan panas dengan pengaturan kelembaban Heat moisture treatment	2,27 ^c	46,63 ^a	3,18 ^b	1,59 ^a

Keterangan/Remarks:

Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada satu kolom yang sama tidak berbeda nyata pada taraf 5%
 Mean values in each column with the same letters were not significantly different ($p=5\%$)

DSA = Daya Serap Air/Water Absorption Capacity DSM = Daya Serap Minyak/Oil Absorption Capacity

terdapat pada jagung varietas C7 (18,61%). Hal serupa terjadi pada fraksi serat, dimana jagung varietas C7 memiliki kandungan serat paling rendah (19,45%) sedangkan jagung varietas Antasena memiliki kandungan serat paling tinggi (28,73%). Adapun jagung ketan kandungan seratnya 24,65%, sebanding dengan varietas Bisma dan Kalingga (22,41% dan 22,21%).

Jagung dengan kandungan gluten yang tinggi sangat potensial untuk digunakan dalam formulasi produk makanan kaya protein dan membutuhkan pengembangan adonan yang baik. Contohnya adalah untuk membuat kue-kue, biskuit, *crackers*, campuran adonan mi, *snack* bergizi untuk anak-anak, dan sebagainya. Sedangkan serat yang tinggi pada biji jagung dalam penggunaannya kemungkinan dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku produk makanan yang bermanfaat untuk kesehatan pencernaan. Namun demikian masih perlu dilakukan analisis lebih lanjut mengenai jenis serat yang terdapat pada biji jagung, apakah merupakan serat makanan (*dietary*

fiber) yang langsung dapat digunakan atau baru merupakan serat total yang harus melalui proses lanjutan untuk memperoleh serat makanannya. Pada fraksi lembaga, kelima varietas jagung mengandung fraksi lembaga dengan komposisi yang hampir sebanding. Varietas jagung C7 mengandung fraksi lembaga terbanyak (8,66%) diikuti oleh jagung Ketan (8,12%), Antasena (7,80%), Kalingga (6,77%) dan terakhir paling sedikit terdapat pada varietas Bisma (5,70%). Namun demikian diamati, antar kelima varietas tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada fraksi lembaga yang diteliti. Faktor genetik tampaknya sangat dominan dalam menentukan distribusi masing-masing fraksi di dalam biji jagung.

Isolasi dan Karakterisasi Pati Jagung

Rendemen pati yang didapat dari proses ekstraksi 1000 g biji jagung Ketan, Bisma dan C7 masing-masing sebesar 30,0%, 40,1% dan 45,0%. Nilai ini lebih rendah daripada hasil percobaan fraksinasi (Tabel 1). Perbedaan

rendemen pati selain disebabkan oleh perbedaan varietas juga oleh proses ekstraksinya. Selama proses ekstraksi ada sebagian pati yang ikut terbuang bersama komponen lain.

Sifat Kimia Pati Jagung

Komposisi kimia pati jagung dicantumkan pada Tabel 2. Perlakuan *annealing* maupun HMT sangat berpengaruh terhadap penurunan kadar air pada pati jagung. Perlakuan panas *annealing* dan HMT menyebabkan kadar air pati lebih rendah dibanding dengan kadar air pada pati tanpa perlakuan atau dalam keadaan "native". Penurunan kadar air setelah HMT lebih besar dibandingkan setelah perlakuan *annealing*, karena suhu pemanasan HMT lebih tinggi sehingga air lebih banyak yang menguap. Perlakuan panas menurunkan kadar air pati dari sekitar 8-10% menjadi 5-6% (perlakuan *annealing*) atau sekitar 2% (HMT).

Perlakuan panas tidak berpengaruh terhadap kadar amilosa pada pati jagung ketan ($P < 0,05$), namun perlakuan serupa justru mengubah kadar amilosa pada pati jagung non ketan (Bisma dan C7). Pati tersusun atas fraksi amilosa dan amilopektin. Kadar amilosa pati jagung Ketan, Bisma dan C7 masing-masing adalah $\pm 17-18\%$, $\pm 44-46\%$ dan $42-46\%$ (Tabel 2). Nilai tersebut berada dalam kisaran kadar amilosa pati jagung yang dilaporkan oleh peneliti lain. Krueger *et al.* (1987) melaporkan kisaran kadar amilosa pati jagung adalah antara 0-60%. Pada jagung beramilosa tinggi bisa mencapai 70% (Satin, 2004). Pada varietas Bisma, kadar amilosanya sebanding dengan kadar amilosa pati jagung komersial (Maizena[®]) yaitu antara 44-45%.

Pada pati jagung Ketan, perlakuan panas tidak mempengaruhi kadar amilosa. Pati jagung ketan memiliki kadar amilosa yang sangat rendah ($\pm 17,69\%$) dan tentu saja sebagai kebalikannya, pati jagung Ketan memiliki kandungan amilopektin yang sangat tinggi. Perlakuan panas diduga tidak mengubah struktur amilopektin pada pati jagung Ketan. Hal ini dapat dipahami, karena amilopektin merupakan rantai karbon dengan ikatan α -(1,4)-D-glukosa yang memiliki cabang dengan jumlah cabang sekitar 4-5% dari berat total (Winarno, 1997). Struktur yang bercabang ini menyebabkan panas yang diaplikasikan tidak begitu mempengaruhi struktur amilopektin secara keseluruhan, sehingga jumlahnya dapat dikatakan tetap.

Berkurangnya amilosa pada pati yang mengalami *annealing* kemungkinan disebabkan oleh hilangnya sebagian pati (*leach out*) pada saat pembuangan air setelah perendaman. Panas tinggi (100°C) pada proses HMT diduga menyebabkan ikatan α -(1,4)-D-glukosa pada rantai amilosa sebagian putus (terdekrinasi). Akibatnya senyawa Iod yang digunakan untuk analisis pati tidak terperangkap sehingga tidak terbentuk warna pada waktu analisis. Rogol (1986) menyatakan bahwa ikatan α -(1,4)-D-glukosa pada pati dapat putus oleh panas maupun asam.

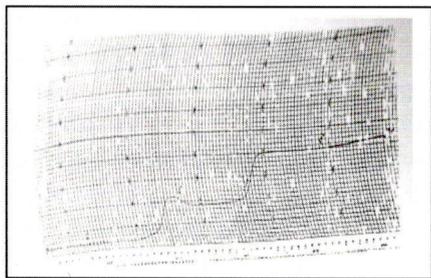
Kadar protein dievaluasi untuk mengetahui tingkat kemurnian pati dan kesempurnaan proses pemisahan antara pati dengan gluten. Tingginya kadar protein pada pati mengindikasikan bahwa pati yang diisolasi kurang murni. Ketidakmurnian ini disebabkan oleh pemisahan gluten yang tidak sempurna. Pada penelitian ini gluten dipisahkan secara manual dengan bantuan pipet. Kadar protein setiap varietas jagung relatif stabil meskipun pati mengalami perlakuan *annealing* maupun HMT.

Analisis kadar lemak dilakukan untuk melihat seberapa besar jumlah lemak yang terbawa pada pati jagung, karena kadar lemak yang cukup tinggi dapat mempengaruhi sifat fungsional dari pati yang bersangkutan (Karkalas *et al.*, 1995). Lemak dapat membentuk kompleks amilosa-lemak yang dapat meningkatkan ketahanan amilosa terhadap proses amilolisis/degradasi amilosa, dan menghalangi pengembangan granula pati ketika dipanaskan dalam air (Eliasson dan Krog, 1985). Kadar lemak pati jagung harus cukup rendah (kurang dari 3,8%) agar tidak mengganggu proses karakterisasi pati (Singh dan Eckhoff, 1996). Kadar lemak pada pati jagung semua varietas jagung yang diuji sudah cukup baik yaitu berada di bawah 3,8% (Tabel 2) dan hal tersebut setara dengan kadar lemak pati jagung komersial.

Sifat Fisik Pati Jagung

Hasil analisis sifat fisik pati jagung dicantumkan dalam Tabel 3. Sifat-sifat tersebut erat kaitannya dengan fungsi pati sebagai bahan ingredien pangan. Uji kelarutan pati digunakan untuk mengetahui kemampuan amilosa untuk larut. Amilosa merupakan komponen yang dapat larut dalam air pada suhu di atas suhu ruang (Belitz dan Grosch, 1987). Dari data pada Tabel 3 tersebut dapat dilihat bahwa setelah perlakuan *annealing*, kelarutan pati jagung ketiga varietas meningkat. Pati jagung varietas C7 berkadar amilosa lebih kecil dibanding pati jagung varietas Bisma (kadar amilosa C7 43,43% dan Bisma 46,15%), sehingga kelarutan pati jagung Bisma setelah *annealing* dan HMT lebih baik daripada pati jagung C7. Proses kelarutan didahului oleh pengembangan granula, sehingga apabila pati jagung varietas Bisma memiliki sifat kelarutan lebih baik, maka amilosa yang keluar dari granula pati (*leach out*) akan lebih banyak.

Analisis daya serap air (DSA) dan daya serap minyak (DSM) dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan pati jagung dalam menyerap air dan minyak. Jumlah air maupun minyak yang diserap sedikit karena pengujian DSA dan DSM dilakukan pada kondisi suhu ruangan. Dengan demikian perlakuan panas tidak menyebabkan perbedaan nyata pada nilai DSA.



Gambar 1. Kurva *brabender* amilogram pati jagung komersial (merek maizena[®])

Figure 1. Commercially corn starch's *Brabender* amylogram curve (maizena[®] brand)

Perlakuan panas tidak mengakibatkan perubahan daya aerap minyak (DSM) pati jagung. Keadaan ini konsisten terjadi pada pati jagung ketan maupun pati jagung C7 dan Bisma. Nilai DSM tersebut antara 0,98-1,50 g minyak/g pati, tidak terlalu berbeda jauh dengan DSM pati jagung komersial (1,25 g minyak/g pati).

Derajat putih merupakan salah satu sifat fisik pati yang memiliki nilai ekonomi tinggi. Pati dengan derajat putih tinggi diperlukan oleh industri pangan. Pati jagung ketan lebih putih dibanding pati jagung varietas Bisma dan C7 yang memiliki derajat putih relatif sama. Hal tersebut disebabkan biji jagung varietas Bisma dan C7 mengandung pigmen jingga atau kuning sehingga pada waktu isolasi pati sebagian kecil pigmen terbawa. Jagung varietas ketan memiliki derajat putih yang tinggi, karena biji jagung ketan memang tidak memiliki pigmen jingga maupun kuning. Pada pati jagung varietas ketan, derajat putih setelah *annealing* maupun HMT tidak berubah, kemungkinan tidak terdapat pigmen dari biji jagung varietas ketan sejak awal. Derajat putih dari pati jagung varietas Bisma dan C7 setelah *annealing* tidak mengalami perubahan, tetapi setelah HMT derajat putih dari kedua varietas tersebut meningkat. Hal tersebut kemungkinan terjadi karena pigmen yang menempel pada pati terdegradasi akibat perlakuan suhu tinggi. Nilai derajat putih pati jagung dicantumkan pada Tabel 3.

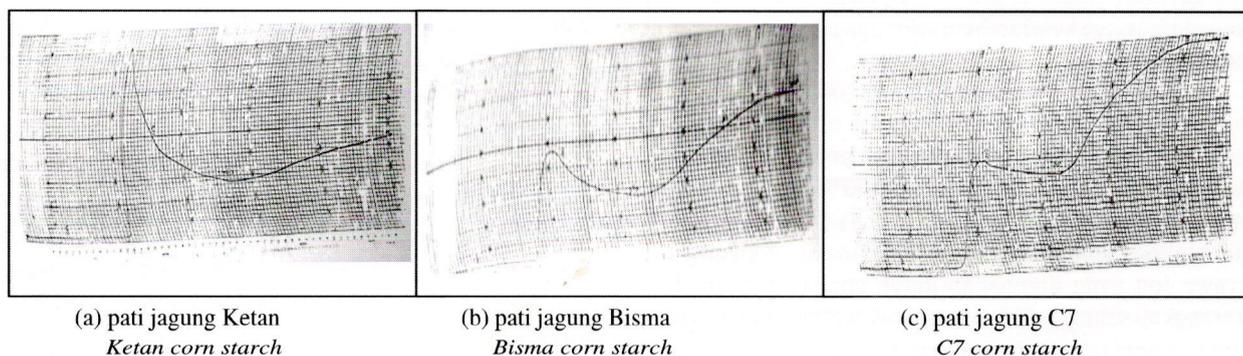
Sifat Pasta Pati Jagung

Amilogram pati jagung dicantumkan pada Gambar 1 sampai 4. Schoch dan Maywald (1968) dalam Chen (2003) mengklasifikasikan pati menjadi empat (4) kelompok berdasarkan pola kekentalannya saat dipanaskan. Tipe A bila pati memberi kekentalan puncak dan kekentalan tersebut cepat turun selama pemasakan. Tipe B dengan kekentalan relatif rendah dan berkurang pelan-pelan selama pemanasan. Tipe C jika pati tidak menunjukkan kekentalan puncak namun kekentalannya konstan selama pemanasan atau bahkan meningkat sedangkan tipe D terjadi bila kekentalan meningkat dua atau tiga kali dibanding saat pemasakan. Sifat pasta pati jagung bervariasi antar varietas. Tipe A dimiliki oleh pati jagung Ketan dan Bisma sedangkan tipe C dimiliki oleh pati jagung C7. Dalam keadaan *native*, pati jagung C7 lebih stabil terhadap panas dibandingkan jagung Ketan maupun Bisma. Pati jagung komersial juga stabil selama proses pemanasan meskipun kekentalannya lebih rendah dibanding pati jagung lain yang diteliti.

Pengaruh perlakuan panas terhadap sifat pasta pati tampaknya bersifat spesifik. *Annealing* relatif tidak mengubah sifat pasta pati jagung Ketan, Bisma maupun C7. Perubahan sangat signifikan terjadi bila pati jagung ketan dan Bisma diberi perlakuan HMT. Perlakuan tersebut mengubah tipe pasta kedua pati jagung dari tipe A menjadi tipe C. Namun Perlakuan HMT pada pati jagung C7 tidak mengubah tipe pastanya.

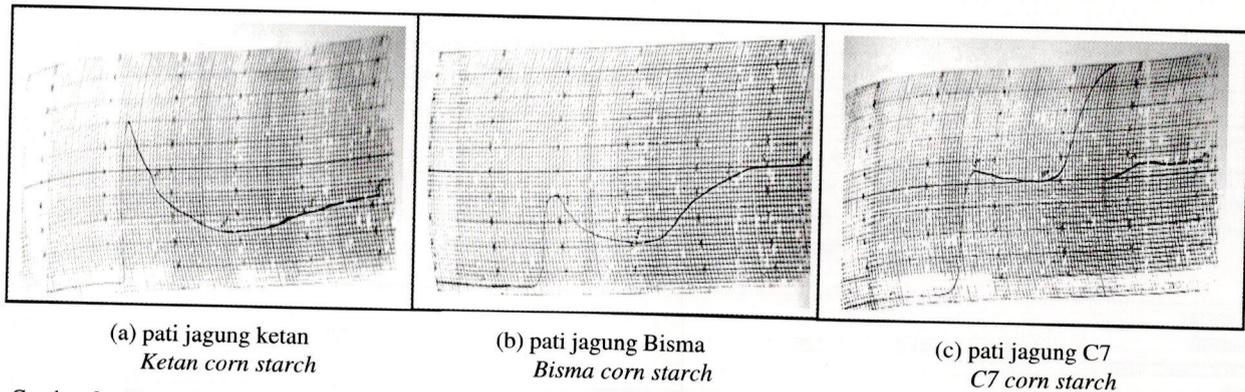
Rendahnya kekentalan pati jagung Ketan dan Bisma yang diberi perlakuan HMT memiliki keuntungan. Pati tersebut dapat ditambahkan dalam jumlah cukup banyak pada suatu formulasi adonan tanpa meningkatkan viskositas berlebihan. Sifat pasta pati jagung yang tergambar dari kurva *brabender* amilogram pada Gambar 1 sampai Gambar 4 secara lengkap datanya disajikan dalam Tabel 4.

Gelatinisasi adalah temperatur pada saat granula pati mulai tergelatinisasi atau mulai pecah. Sebelum tergelatinisasi, granula pati akan menyerap air, kemudian



Gambar 2. Kurva *brabender* amilogram pati jagung tanpa perlakuan pemanasan (*native*)

Figure 2. Corn starch *brabender* amylogram curves (without heating treatment/*native*)



Gambar 3. Kurva *brabender* amilogram pati jagung dengan perlakuan pemanasan *annealing*
 Figure 3. Corn starch *brabender* amylogram curves with *annealing* treatment

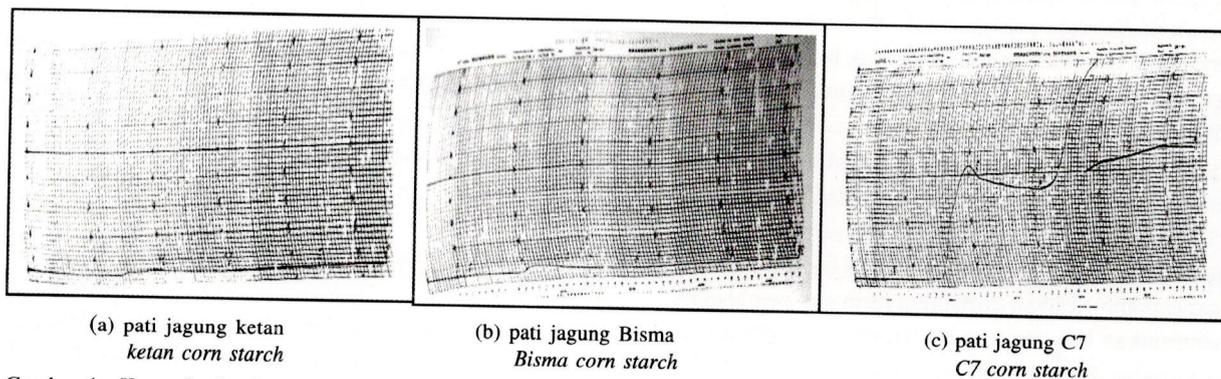
mengembang. Bila pengembangan granula telah mencapai keadaan maksimum, maka granula akan pecah/tergelatinisasi, kemudian larut dalam air membentuk larutan pati yang kental. Pati jagung varietas C7 mulai tergelatinisasi pada suhu yang lebih tinggi dari pati jagung varietas Bisma dan Ketan. Krueger *et al.*, (1987) mengamati bahwa temperatur gelatinisasi pati setelah perlakuan *annealing* lebih tinggi dibandingkan pati jagung sebelum perlakuan (*native*). Stute (1992) pun mengamati bahwa temperatur gelatinisasi setelah *annealing* lebih tinggi karena terjadinya perubahan kekuatan ikatan antara daerah kristalin dan daerah amorf.

Pati jagung varietas Ketan dan C7 mengalami kenaikan temperatur gelatinisasi setelah perlakuan *annealing*. Pada pati jagung varietas Bisma, temperatur gelatinisasi sebelum dan setelah perlakuan *annealing* tidak berubah. Setelah HMT, temperatur gelatinisasi pati jagung Ketan meningkat, tetapi pada pati jagung varietas C7 menurun, sedangkan pada pati jagung varietas Bisma tetap. Apabila dibandingkan dengan temperatur gelatinisasi pati jagung komersial, pati jagung Ketan setelah perlakuan *annealing* maupun HMT memiliki temperatur gelatinisasi yang sama dengan pati jagung komersial. Begitu pula pada pati jagung varietas C7 sebelum perlakuan memiliki temperatur gelatinisasi yang sama dengan pati jagung komersial.

Temperatur puncak mencerminkan bahwa pada temperatur tersebut granula pati telah tergelatinisasi sempurna. Temperatur puncak berhubungan dengan temperatur gelatinisasi. Pati jagung varietas C7 dan Bisma tergelatinisasi sempurna pada suhu relatif tinggi (sekitar 90°C) dibanding jagung Ketan (81°C). Jika dibandingkan dengan temperatur puncak pati jagung komersial, temperatur puncak pati jagung Ketan setelah HMT dan pati jagung varietas C7 tanpa perlakuan memiliki nilai yang sama.

Viskositas puncak tertinggi terdapat pada pati jagung varietas Ketan (880 BU), sedangkan viskositas puncak terendah terdapat pada pati jagung varietas Bisma (420 BU). Amilopektin mengendalikan viskositas pada pati (Belitz dan Grosch, 1987), seperti terjadi pada pati jagung Ketan. Stute (1992) mengamati bahwa perlakuan *annealing* dan HMT dapat menurunkan viskositas puncak pati, tetapi viskositas puncak setelah *annealing* lebih tinggi daripada viskositas puncak setelah HMT.

Viskositas 93 diamati untuk melihat perubahan sifat pasta selama pemanasan, sedangkan viskositas 93/20 diamati untuk melihat kestabilan sifat pasta selama pemanasan. Selain viskositas 93 dan 93/20 diamati pula viskositas 50 dan 50/20. Viskositas 50 diamati untuk melihat perubahan sifat pasta pati pada saat pendinginan, sedangkan viskositas 50/20 untuk melihat kestabilan pati selama pendinginan.



Gambar 4. Kurva *brabender* amilogram pati jagung dengan perlakuan pemanasan HMT
 Figure 4. Corn starch *brabender* amylogram curves of heat moisture treatment/HMT

Tabel 4. Sifat pasta pati jagung dari dua varietas bersari bebas (Ketan dan Bisma) dan satu varietas hibrida (C7)
 Table 4. Paste properties of corn starch from two free-pollen varieties (Ketan and Bisma) and from one hybrid variety (C7)

Varietas dan perlakuan panas <i>Varieties and heating treatment</i>	T.Gel. (°C) <i>T.Gelatini-zation</i>	T. Puncak (°C) <i>Max. Temp</i>	V. Puncak (BU) <i>Max. Viscosity</i>	V. 93 (BU) <i>V. at 93°C</i>	V. 93/20 (BU) <i>V. at 93°C/20min</i>	V. 50 (BU) <i>V. at 50°C</i>	V. 50/20 (BU) <i>V. at 50°C/20min</i>	<i>Breakdown</i> (BU)	<i>Setback</i> (BU)
<u>Pati jagung komersial</u> <i>Commercially corn starch</i>	79,5	91,5	180	175	180	360	380	0	180
<u>Pati jagung Ketan:</u> <i>Waxy corn starch</i>									
Tanpa perlakuan <i>native starch</i>	76,5	79,5	880	460	240	330	400	640	90
Perlakuan panas <i>Annealing treatment</i>	79,5	81,0	660	420	200	260	300	460	60
Perlakuan panas dengan pengaturan kelembaban <i>Heat moisture treatment</i>	79,5	91,5	20	10	0	10	20	20	10
<u>Pati jagung Bisma:</u> <i>Bisma corn starch</i>									
Tanpa perlakuan <i>(native starch)</i>	78,0	90,0	420	400	240	460	560	180	220
<i>Annealing treatment</i>	78,0	88,5	360	300	170	420	460	190	250
<i>Heat moisture treatment</i>	78,0	84,0	30	10	0	0	0	30	0
<u>Pati jagung C7:</u> <i>C7 corn starch</i>									
Tanpa perlakuan <i>native starch</i>	79,5	91,5	460	460	400	860	940	60	460
Perlakuan panas <i>Annealing treatment</i>	87,0	100,5	520	520	460	1000	1000	60	540
Perlakuan panas dengan pengaturan kelembaban <i>Heat moisture treatment</i>	73,5	90,0	500	460	385	1020	1040	115	635

Breakdown dihitung dari selisih viskositas puncak dengan viskositas 93/20, sedangkan *setback* diperoleh dari selisih viskositas 50 dengan viskositas 93/20. Dengan demikian nilai *breakdown* mencerminkan stabilitas pasta pati selama proses pemanasan. Makin besar nilai *breakdown* maka makin tidak stabil. Sedangkan *setback* mencerminkan kecenderungan pati untuk beretrogradasi, yaitu proses pengendapan atau pembentukan gel yang tidak dapat kembali seperti semula pada saat didinginkan. Pasta pati jagung ketan tidak stabil selama pemanasan (*breakdown* cukup tinggi yaitu 640 BU), dan kemampuan untuk beretrogradasi pun cukup besar (*setback* 90 BU). Perlakuan *annealing* dan HMT pada pati jagung varietas ketan dapat meningkatkan kestabilan pada saat pemanasan dan menurunkan kemampuan beretrogradasi. Pasta pati jagung varietas Bisma tidak stabil selama pemanasan (*breakdown* cukup tinggi yaitu 180 BU) dan kemampuan

beretrogradasi pun lebih besar, tetapi dengan perlakuan HMT, pasta pati varietas Bisma cukup stabil dan retrogradasi tidak terjadi. Pasta pati jagung varietas C7 mendekati stabil selama pemanasan (*breakdown* 60 BU), tetapi kemampuan beretrogradasi sangat besar (*setback* 460 BU). Dengan perlakuan *annealing* pasta pati jagung varietas C7 tetap stabil selama pemanasan, tetapi kemampuan untuk beretrogradasi meningkat. Dengan perlakuan HMT kestabilan pasta pati jagung varietas C7 menurun dan kemampuan beretrogradasi sangat besar.

KESIMPULAN

1. Gluten merupakan komponen utama (35,12%) pada jagung Ketan diikuti oleh pati 32,10%; serat 24,65% dan lembaga 8,12%. Pada jagung non ketan

- (Antasena, Bisma, Kalingga dan C7) komponen utamanya adalah pati. Kadar pati tertinggi terdapat pada jagung varietas C7 (53,27%).
2. Perlakuan panas *annealing* dan HMT menurunkan kadar amilosa pada pati jagung. Pengaruh perlakuan panas terhadap sifat pasta pati tampaknya bersifat spesifik. *Annealing* relatif tidak mengubah sifat pasta pati jagung Ketan, Bisma maupun C7, namun perubahan sangat signifikan terjadi bila pati jagung Ketan dan Bisma diberi perlakuan HMT. Perlakuan tersebut mengubah tipe pasta pati jagung dari tipe A menjadi tipe C, sedangkan perlakuan HMT pada pati jagung C7 tidak mengubah tipe pastanya.
 3. Rendahnya kekentalan pati jagung Ketan dan Bisma yang diberi perlakuan HMT memiliki keuntungan. Pati tersebut dapat ditambahkan dalam jumlah cukup banyak tanpa meningkatkan viskositas berlebihan. Sebagai peluang penggunaan hasil penelitian, informasi sifat dan karakteristik pati jagung yang diperoleh dari hasil penelitian ini maupun sifat dan karakteristik dari pati-patian yang dieksplor dari komoditi umbi-umbian lain dapat digunakan sebagai masukan yang sangat berharga bagi industri (pangan dan non-pangan) untuk menentukan aplikasi penggunaannya lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

- Adil, W. H., Hermanto, D. Sadikin, dan E. Hikmat. 2002. *Deskripsi Varietas Unggul Palawija 2001 – 2002*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Bogor.
- Afdi. 1989. Modifikasi Pati Jagung (*Zea mays* L.). Tesis. Fakultas Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Perpustakaan PDII LIPI – Jakarta.
- Anonymous. 2005. Statistik Pertanian. 2005. Pusat Data dan Informasi Pertanian – Departemen Pertanian.
- Anonymous. 1997. ISI 19-6e Determination of Viscosity of Starch by Brabender. International Starch Institute. Science Park Aarhus, Denmark.
- Anonymous. 1995. *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemist*. 9th Edition, USA.
- Association of official Analytical Chemists. 2000. *Official Methods of Analysis. The Association*. Washington D.C.
- Belitz, H. D., and W. Grosch. 1987. *Food Chemistry*. Springer – Verlag Berlin Heidelberg.
- BPS. 2002. *Statistik Indonesia*. Badan Pusat Statistik, Indonesia.
- Chen. 2003. Physicochemical Properties of Sweet Potato Starches and The Application in Noodle Product. PhD Thesis. Wageningen University. The Netherlands.
- Eliasson, A.C., and N. Krog. 1985. Physical properties of amylase-mono-glyceride complexes. *Journal of Cereal Science*, 3: 239-246.
- Fardiaz, D. 1993. Modifikasi struktur pati untuk perlakuan penggunaannya dalam industri. *Agrotek*, 1(1): 16-19.
- Fardiaz, N. Andarwulan dan P. Suriadi. 1993. Modifikasi pati dari beberapa varietas jagung (*Zea mays* L.) dengan cara oksidasi. *Buletin Ilmu dan Teknologi Pangan IV* (1) 1993: 9-19.
- Jacobs, H, R.C. Eerlingen, W. Clauwaert, and J.A. Delcour. 1995. Influence of annealing on the pasting properties of starches from varying botanical sources. *Cereal Chem.* 72(5): 480-487
- Karkalas, J., S. Ma., and W.R. Morrison. 1995. Some factors determining the thermal properties of amylase inclusion complexes with fatty acids. *Carbohydrate Research*, 268: 233-247.
- Krueger, B.R., C.E. Walker, C.A. Knutson, and G.E. Inglett. 1987. Differential scanning calorimetry of raw and annealed starch isolated from normal and mutant maize genotypes. *Cereal Chem.* 64(3): 187-190.
- Lisle, L., J. Faudron, and R. Lefroy. 1990. *Laboratory Techniques for Plant and Soil Analysis*. The Crawford Fund for International Agricultural Research. Australian Academy of Technological Science and Engineering.
- Muhammad, F. 2002. Hibrida dan Lokal Bersaing di Gorontalo. *Trubus* edisi Oktober 2002 XXXIII No. 395.p.102-102.
- Olson, E. 2002. Indian Hills Community College. Ottumwa, IA., modified by Noreen Warren, Madison Area Technical College. Corn Wet Milling Lab. <http://www.bio-link.org/pdf/corn7/pdf>. Diakses tgl 6 September 2002.
- Pilosof, A.M.R., R. Boquet, and G.B. Bartholomai. 1986. Effect of heat moisture treatment of field bean (*Phaseolus vulgaris*) flour and protein isolate on water uptake. *Cereal Chem.* 63 (5): 456-458.
- Rogol, S. 1986. Starch modification: A view into the future. *Cereal Foods World* 31 (12): 869-874.
- Satin. 2004. Functional properties of starches. *J. Of The Science of Food and Agriculture* 96(3): 111-122.
- Singh, N. And S.R. Eckhoff. 1996. Wet milling of corn – a review of laboratory – scale and pilot plant – scale procedures. *Cereal Chem* 73(6) : 659-667.
- Stute, R. 1992. Hydrothermal modification of starches : the difference between annealing and heat/moisture-treatment. *Starch/Starke* 44: 205-214.
- Tester, R.F. and W.R. Morrison. 1990. Swelling and gelatinization of cereal starches. Effect of amylopectin, amylase, and lipids. *Cereal Chem.* 67: 551-557.
- Thahir, R., Sudaryono, Soemardi dan Soeharmadi. 1986. *Teknologi Pasca Panen Jagung*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan – Departemen Pertanian. Bogor.
- Vermeylan, R. and J.A. Delcour. 2001. Hydrothermal treatment of alkaline steeped rice starch. *The American Association of Cereal Chemists*.
- Winarno, F.G. *Kimia Pangan dan Gizi*. 1997. PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.