

PRODUKSI SIKLODEKSTRIN DARI PATI GARUT MENGGUNAKAN BERBAGAI KOMBINASI ENZIM

[Production of Cyclodextrin from Arrowroot Starch by Using the Combination Enzymes]

Erliza Noor* dan Liesbetini Hartoto

Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor

Diterima 26 November 2009 / Disetujui 27 Oktober 2011

ABSTRACT

The research was aimed to produce cyclodextrin from arrowroot starch using a combination of starch hydrolysis enzymes (α -amylase, β -amylase, pullulanase and glucoamylase). Cyclization process to form cyclodextrin was obtained using Cyclodextrin-glycosyl-transferase (CGTase). α -amylase showed better performance and faster to hydrolyze arrowroot starch as compared to that of β -amylase. Glucoamylase also gave better result than pullulanase to break the α -1,6-glycosidic chain. Combination of α -amylase and glucoamylase were more efficient for hydrolysis process and cyclodextrin production.

Key words: arrowroot starch, cyclodextrin, cyclodextrin-glycosyl-transferase, α -amylase, β -amylase, pullulanase, glucoamylase

PENDAHULUAN

Siklodekstrin merupakan salah satu jenis pati termodifikasi yang dihasilkan secara biokimiawi oleh enzim siklodekstrin glikosiltransferase (CGTase). Siklodekstrin biasa juga disebut Schardingers dekstrin, sikloamilosa, siklomaltosa, atau sikloglukan, merupakan oligomer dari glukosa anhidrous yang terhubung oleh ikatan alpha 1,4 membentuk pola seperti cincin. Cincin siklodekstrin dengan : 6 monomer glukosa disebut alpha siklodekstrin atau siklomaltoheksosa, 7 monomer glukosa disebut beta siklodekstrin atau siklomaltoheptosa, dan 8 monomer glukosa disebut gamma siklodekstrin atau siklomaltooktaosa (Qi, 2005).

Jenis siklodekstrin yang dihasilkan tersebut dipengaruhi oleh enzim CGTase yang digunakan. Sebagai contoh α -siklodekstrin dihasilkan dengan penggunaan enzim sikloheksaamilase yang diproduksi oleh *Bacillus macerans*. β -siklodekstrin dengan penggunaan sikloheptaamilase yang diperoleh dari *B megaterium*. Sedangkan γ -siklodekstrin menggunakan siklooktaamilase dari *Bacillus* sp. A16. Siklodekstrin memiliki sifat dapat larut dalam air dan dapat membentuk kompleks dengan molekul lain baik dalam keadaan padat maupun dalam larutan (Diaz *et al.*, 2003).

Siklodekstrin mempunyai struktur unik dengan gugus CH hidrofobik pada bagian dalam cincin dan gugus hidroksil yang hidrofil pada bagian luar cincin. Siklodekstrin dapat diproduksi dengan reaksi kimia atau dengan reaktor enzimatik (Sakinah *et al.*, 2007). Dengan struktur molekul dalam bentuk torus siklik, siklodekstrin mempunyai keunggulan dibanding dekstrin dalam rantai molekul lurus. Keunggulan bentuk tersebut antara lain kemampuan untuk membentuk kompleks inklusi dengan ber-

bagai variasi molekul lain yang cocok seperti dengan asam, vitamin, komponen flavor dan lainnya.

Siklodekstrin diproduksi dari pati dengan menggunakan enzim siklodekstrin glikosiltransferase. Kebanyakan jenis CGTase seperti yang diproduksi oleh *Bacillus* memerlukan perlakuan pendahuluan terhadap pati seperti proses likuifikasi diantaranya dengan menggunakan enzim α -amilase (Slominska *et al.*, 2002). Umumnya produksi siklodekstrin dilakukan dengan terlebih dahulu melakukan likuifikasi pati dengan panas dengan enzim penghidrolisis, kemudian baru ditambahkan CGTase untuk sintesis siklodekstrin (Lee dan Kim, 1991). Selama ini proses likuifikasi yang dilakukan hanya menggunakan satu jenis enzim penghidrolisis saja. Berbagai jenis enzim hidrolase memutus molekul pati dengan cara dan kondisi proses yang berbeda-beda.

Proses pembentukan siklodekstrin oleh CGTase akan berjalan optimal apabila tersedia oligosakarida dengan jumlah monomer yang sesuai yaitu 6, 7, atau 8 monomer glukosa. Penggunaan beberapa kombinasi enzim hidrolase pada proses likuifikasi diharapkan akan membentuk sebanyak mungkin oligosakarida ini sehingga dapat memaksimalkan pembentukan siklodekstrin pada tahap berikutnya.

Pada penelitian ini diamati kemampuan beberapa kombinasi enzim hidrolase yaitu enzim α -amilase, β -amilase, pullulanase dan glucoamilase dalam memecah ikatan α -1,4-glukosidik dan α -1,6-glukosidik yang terdapat dalam struktur pati pada berbagai konsentrasi pati. Sehingga dihasilkan siklodekstrin dalam jumlah maksimal.

METODOLOGI

Bahan dan alat

Bahan-bahan yang digunakan antara lain pati garut dari umbi garut jenis *Creole* asal Sukabumi, HCl, NaOH, phenolptalein, sodium tiosulfat, KI, sulfuric acid, cooper sulfat,

*Korespondensi Penulis :
Email : erlizanoor@yahoo.com

sodium sulfat, amilosa standar, acetic acid, sodium karbonat, aceton, buffer fosfat, fenol, hidroklorik acid, K.Na.tartarat, D-glukosa, CGTase (NOVO, Denmark), dinitrosalisilic acid, α dan β -siklodekstrin standard (Sigma, USA), enzim α -amilase, gluukoamilase, β -amilase, dan pullulanase (Sigma, USA).

Alat-alat yang digunakan adalah pengaduk (*mixer*), erlenmeyer, inkubator goyang, spektrofotometer (Hach, USA), neraca sartorius, *refrigerator*, timbangan kasar, oven, pH meter, desikator, mikropipet, buret, tanur, cawan porselen, *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC) (Waters, USA).

Pembuatan pati garut dan siklodekstrin

Ekstraksi pati garut dari umbi garut dilakukan dengan metode ekstraksi semi basah. Pada tahap ini juga dilakukan analisis proksimat terhadap pati garut yang meliputi kadar air, serat dan abu (AOAC, 1995), kadar lemak, protein, pati (Metoda Luff School), kadar amilosa (Apriantono *et al.*, 1989) dan amilopektin (Banks dan Wood, 1985). Selain itu, pada tahapan ini juga dianalisa titik gelatinisasi awal dan gelatinisasi akhir (AOAC, 1995) serta viskositas pati. Selanjutnya pati dihidrolisis dengan kombinasi dua jenis enzim yaitu α -amilase dan pullulanase; β -amilase dan pullulanase; gluukoamilase dan pullulanase; gluukoamilase dan α -amilase; serta gluukoamilase dan β -amilase. Pembentukan siklodekstrin menggunakan enzim CGTase.

Pengujian aktivitas enzim CGTase (Lee dan Kim, 1992)

Satu mililiter campuran 0,2% (b/v) pati yang dilarutkan dengan buffer fosfat 0,2 M pada pH 6, diinkubasi dengan enzim sebanyak 50 μ L (1 mg enzim/ml) pada suhu 60°C selama 10 menit. Reaksi dihentikan dengan penambahan 4 ml HCl 0,2 M. Selanjutnya pada larutan ditambahkan pereaksi Iod (0,02% I₂, 0,2% KI) sebanyak 0,5 ml. Larutan diukur absorbansinya pada panjang gelombang 700 nm. Satu unit enzim merupakan jumlah enzim yang mereduksi 10% produk (substrat) per menit.

Perhitungan konsentrasi siklodekstrin (Kitahata, 1988)

Perhitungan siklodekstrin dilakukan dengan menghitung selisih total gula (Metode Fenol) dan kadar gula pereduksi (Metode DNS).

Identifikasi siklodekstrin (Lee dan Kim, 1992)

Identifikasi jenis siklodekstrin (α , β) dilakukan dengan menggunakan HPLC (Waters) dengan kolom C-18. Eluen terdiri dari campuran asetonitril dan air dengan perbandingan 65:35 (v/v) dan laju alir 1 mL per menit.

Proses hidrolisis menggunakan kombinasi enzim hidrolase

Proses hidrolisis menggunakan 5 (lima) kombinasi enzim yaitu : α -amilase dan pullulanase; β -amilase dan pullulanase; pullulanase dan gluukoamilase; gluukoamilase dan α -amilase; dan gluukoamilase dan β -amilase. Masing-masing kombinasi menggunakan aktivitas enzim dengan perbandingan yang berbeda-beda. Penentuan komposisi dan aktivitas enzim yang dilakukan pada proses ini diawali dengan *trial* dan *error*, dengan pengamatan terhadap kadar pati sisa substrat pada penambahan enzim dalam jumlah tertentu. Pencampuran enzim pada substrat dengan konsentrasi 5, 10 dan 15% (b/v) dilakukan

pada suhu dan pH optimum masing-masing enzim. Sebelum hidrolisis setiap larutan dilarutkan dalam buffer asetat pH 5,4 hingga mencapai suhu gelatinisasi pati garut yaitu 78°C kemudian dilakukan hidrolisis pada suhu optimum enzim. Pencampuran pada suhu optimum masing-masing kombinasi dilakukan selama 2 jam dan pengadukan 200 rpm. Kondisi untuk masing-masing kombinasi dapat dilihat pada Tabel 1. Kombinasi enzim terbaik dipilih pada perolehan kadar pati sisa terendah. Parameter yang diukur selama hidrolisis adalah gula pereduksi (Metode DNS) dan kadar pati sisa (Metode Iod). Pada akhir hidrolisis dilakukan inaktivasi enzim dengan memanaskan larutan hingga 100°C selama 15 menit.

Tabel 1. Kondisi hidrolisis

Kombinasi enzim	pH	Suhu optimum (°C)	Perbandingan enzim (U)
α -amilase dan pullulanase	5,40	90	37,5 : 3,7 93,7 : 9,4 150,0 : 15,0
β -amilase dan pullulanase	5,40	50	1553,0 : 59,6 2329,0 : 89,4 3106,0 : 119,2
pullulanase dan gluukoamilase	4,75	55	150 : 175 240 : 280 300 : 350
gluukoamilase dan α -amilase	4,50	55	32,5 : 4,5 56,5 : 8,0 48,5 : 6,8
gluukoamilase dan β -amilase	4,80	40	48,4 : 52,5 96,8 : 105,3 145,2 : 157,8

Penentuan konsentrasi CGTase dan perolehan siklodekstrin

Tahapan ini menentukan perolehan siklodekstrin terbesar dengan variasi konsentrasi CGTase. Hasil hidrolisis terbaik untuk setiap kombinasi enzim pada penelitian diatas dipilih pada penentuan konsentrasi CGTase untuk pembentukan siklodekstrin. Penambahan CGTase sebesar 50, 100, dan 150 unit/g substrat diberikan terhadap hasil terbaik masing-masing kombinasi enzim diatas. Reaksi pembentukan dilakukan dengan penambahan etanol 10% (v/v) pada suhu 60°C dengan pengadukan 150 rpm selama 240 menit. Pengamatan kadar total gula (metoda fenol) dan gula pereduksi dilakukan setiap 30 menit. Inaktivasi enzim dilakukan dengan pemanasan hingga suhu 100°C selama 5 menit.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik bahan baku

Proses ekstraksi umbi garut dilakukan dengan metode basah dan diperoleh rendemen sebesar 9,07%. Rendemen yang relatif kecil ini disebabkan oleh tingginya kadar air pada umbi garut segar yaitu sebesar 75,77%. Berdasarkan hasil analisa proksimat, pati garut memiliki kadar air 4,73 \pm 0,20%, kadar abu 0,46 \pm 0,02%, kadar lemak 0,77 \pm 0,11%, kadar serat 0,48 \pm 0,04%, kadar protein 0,15 \pm 0,02%, dan kadar pati sebesar 90,31% (bb) atau 85,82% (bk). Dari kadar pati sebesar 90,31% tersebut, sebesar 21,07 \pm 0,16% adalah kadar amilosa dan sisanya adalah amilopektin. Kandungan tersebut berada

pada kisaran yang sama dengan peneliti lain yaitu sebesar 20-21% untuk amilosa dan 79% untuk amilopektin (Satin, 2001). Kandungan amilosa ini yang akan mempengaruhi perolehan siklodekstrin karena amilosa memiliki rantai lurus dengan percabangan yang lebih sedikit. Suhu awal gelatinisasi diper-oleh pada 68°C dan suhu akhir gelatinisasi adalah 75°C.

Konsentrasi enzim dan waktu reaksi proses likuifikasi pati garut

Tahap reaksi pertama dalam proses produksi siklodekstrin adalah hidrolisis. Hidrolisis pati adalah proses perubahan suspensi granula pati menjadi larutan dekstrin yang larut dengan viskositas yang rendah, sehingga penanganannya menjadi lebih mudah pada saat siklisasi. Proses ini dilakukan setelah gelatinisasi dengan panas. Setelah granula pati pecah, fraksi amilosa dan amilopektin terpisah dan masuk ke dalam media, sehingga hidrolisis oleh enzim menjadi lebih mudah. Proses ini ditandai dengan terjadinya penurunan viskositas larutan pati dengan cepat, sehingga dari bentuk semula berupa gel berubah menjadi larutan yang encer.

Molekul granula pati berada dalam kondisi polikristalin bersusun dengan gaya inter dan intra molekul yang mengikatnya. Karena hal tersebut, pati tidak larut dalam air dingin dan seringkali tahan terhadap perlakuan kimia dan enzimatis. Pati dapat digelatinisasi dengan pemanasan dalam air, sehingga meningkatkan reaktivitasnya terhadap enzim amilolitik. Sebuah enzim yang dapat melarutkan granula pati, bermanfaat untuk mengurangi biaya gelatinisasi dan mempermudah proses perubahan pati (Mitsuiki *et al.*, 2005).

Kondisi optimal hidrolisis pati garut untuk menghasilkan dekstrin tertinggi dengan menggunakan berbagai kombinasi enzim penghidrolisis, yaitu α -amilase, β -amilase, pullulanase dan glukoamilase (Tabel 1) disajikan dalam Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Kondisi optimal proses hidrolisis dan perolehan dekstrin

Kombinasi enzim	Perbandingan Konsentrasi enzim (U)	Substrat (% b/v)	Waktu (menit)	Dekstrin (g/L)
α -amilase : pullulanase	150 : 15	10	105	85,33
pullulanase : β -amilase	119,2 : 3106,0	15	120	77,06
glukoamilase : pullulanase	350 : 300	15	120	85,44
glukoamilase : α -amilase	56,5 : 8,0	15	105	84,46
β -amilase : glukoamilase	145,2 : 157,8	7,5	45	42,96

Pada tahap hidrolisis ini gel pati dicairkan oleh enzim penghidrolisis menjadi molekul-molekul yang lebih kecil dari oligosakarida atau disebut dekstrin. Pemanasan larutan hingga titik gelatinisasi akan memudahkan enzim menyerang rantai pati yang sudah rentan karena pemanasan. Penurunan kadar pati sisa selama proses hidrolisis terjadi akibat hidrolisis enzim terhadap substrat dengan memotong rantai amilosa dan amilopektin menjadi lebih pendek. Proses hidrolisis pati dipengaruhi oleh konsentrasi dan jenis enzim, waktu dan konsentrasi substrat. Pada tahap ini diupayakan untuk mendapatkan dekstrin terbesar. Konsentrasi enzim tertinggi dari

setiap kombinasi enzim, menghasilkan perolehan dekstrin terbesar. Umumnya semakin besar konsentrasi enzim yang digunakan maka semakin besar pati terhidrolisis dan kadar pati sisa semakin sedikit. Ketersediaan pati pada konsentrasi substrat yang tinggi, juga berpengaruh untuk mendapatkan konsentrasi yang tinggi seperti hasil yang ditunjukkan pada Tabel 2. Namun untuk kombinasi β -amilase-glukoamilase dan α -amilase-pullulanase konsentrasi terbesar dekstrin didapat pada konsentrasi substrat 7,5 dan 10%. Pada konsentrasi pati yang semakin tinggi, viskositas juga meningkat. Hal ini menyebabkan enzim harus bekerja lebih keras untuk memutus rantai pati.

Menurut Tjokroadikoesoemo (1986) pati akan terpotong menjadi dekstrin dengan panjang rantai 6-10 unit glukosa. Perolehan dekstrin yang berbeda dipengaruhi oleh kombinasi enzim dimana setiap enzim hidrolase memiliki kemampuan yang spesifik dalam memotong rantai polimer pati. Alfa-amilase (α -amilase) merupakan endoenzim menghidrolisis ikatan ikatan α -1,4-glukosidik amilosa dan amilopektin (Fogarty, 1983; Winarno, 1995), namun alfa-amilase tidak dapat memotong rantai α -1,6- glukosidik. Beta-amilase (β -amilase) juga memotong ikatan alfa-1,4 namun secara bertahap dari arah luar sehingga disebut eksoamilase (Winarno, 1995). Glukoamilase selain dapat menghidrolisis ikatan α -1,4-glukosidik, juga ikatan α -1,6-glukosidik walaupun lebih lambat (Sauer *et al.*, 2000; Fogarty, 1983; Muchtadi, 1989). Sedangkan pullulanase dapat memotong ikatan α -1,6glukosidik secara acak pada bagian dalam dari amilopektin (Saha *et al.*, 1987), dan glukoamilase untuk memotong ikatan α -1,3-glukosidik, α -1,4-glukosidik dan α -1,6-glukosidik dari pati non pereduksi. Untuk itu penggunaan kombinasi enzim dapat mengoptimalkan pemutusan rantai pati dan meningkatkan jumlah dekstrin.

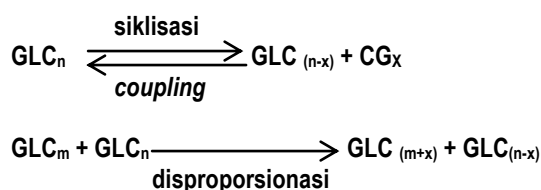
Jumlah dekstrin akan menentukan perolehan siklodekstrin. Dekstrin yang diperoleh dihitung dari pengurangan kadar pati awal dengan pati sisa dan gula pereduksi yang terbentuk. Semakin lama waktu hidrolisis maka dekstrin ini akan terpotong-potong lagi menjadi unit yang lebih kecil seperti glukosa dan maltosa. Oleh karena itu pada hidrolisis dioptimalkan pembentukan rantai glukosa yang sesuai untuk proses siklisasi menjadi siklodekstrin, yang diindikasikan dengan waktu hidrolisis dan jumlah dekstrin tertinggi untuk setiap kombinasi enzim.

Hasil hidrolisis pati garut menunjukkan bahwa berbagai kombinasi enzim α -amilase, β -amilase, pululanase dan glukoamilase mampu menghidrolisis pati dengan cara dan kecepatan yang berbeda-beda. Kebutuhan α -amilase untuk hidrolisis pati lebih sedikit dibanding β -amilase untuk memotong rantai α -1,4-glukosidik, reaksi juga lebih cepat (Tabel 2).

Kombinasi α - dan β -amilase dengan pullulanase sedang glukoamilase mampu meningkatkan derajat hidrolisispati. Pada kombinasi enzim hidrolase, untuk memperoleh derajat hidrolisis yang relatif sama maka kebutuhan konsentrasi α -amilase dengan pullulan sedang lukoamilase lebih kecil dibanding penggunaan β -amilase. Kondisi optimal untuk setiap kombinasi enzim hidrolase pada Tabel 2 selanjutnya digunakan pada proses siklisasi pembentukan siklodekstrin.

Penentuan konsentrasi CGTase dan waktu reaksi dalam proses pembentukan siklodekstrin

Proses siklisasi dengan menambahkan enzim CGTase sebesar 50-150 unit ke masing-masing larutan dengan kombinasi terbaik seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2. Umumnya semakin banyak enzim yang digunakan maka akan semakin banyak produk yang dihasilkan. Penggunaan enzim CGTase 100 unit, siklodekstrin yang dihasilkan akan lebih besar dibanding dengan penggunaan enzim CGTase 50 unit, gejala ini disebabkan karena pada penambahan enzim CGTase yang semakin tinggi akan terjadi reaksi *coupling* dan disproporsionasi (Dijkhuizen *et al.*, 2000). Proses siklisasi hidrolisat pati dalam pembentukan siklodekstrin, tidak dapat memanfaatkan senyawa rantai pendek (gula sederhana). Reaksi pembentukan siklodekstrin yang meliputi siklisasi, *coupling* dan disproporsionasi menurut Kitahata (1988) adalah sebagai berikut.



Keterangan:

- CG_x = Simbol siklodekstrin (x = 6,7 atau 8)
- GLC_n dan GLC_m = Rantai α-1,4-D-glukopiranosil, dengan n dan m
- = Residu glukosa

Reaksi *coupling* yaitu pemecahan cincin siklodekstrin sehingga terbentuk maltooligosakarida dan disproporsionasi yaitu pemecahan maltooligosakarida yang menghasilkan maltooligosakarida lain dan gula pereduksi. Kehadiran maltooligosakarida dan gula pereduksi dapat menyebabkan pembentukan siklodekstrin terhambat. Berdasarkan hal tersebut, proses hidrolisis harus dapat menghasilkan substrat dengan rantai glukosa yang sesuai untuk proses siklisasi dalam pembentukan siklodekstrin.

Substrat yang digunakan dalam siklisasi untuk pembentukan siklodekstrin adalah hidrolisat pati hasil hidrolisis oleh enzim penghidrolisis pati. Perolehan siklodekstrin dari berbagai kombinasi enzim hidrolase dan CGTase terbaik disajikan dalam Tabel 3.

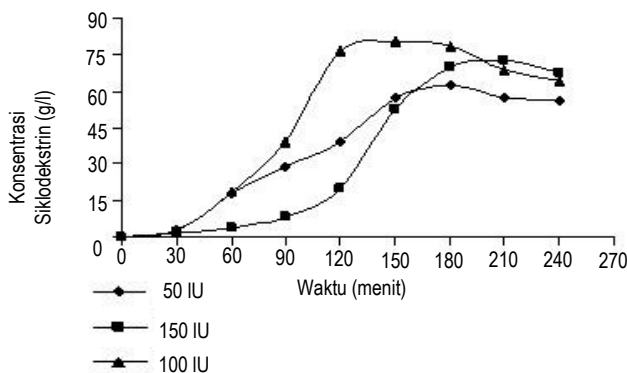
Tabel 3. Perolehan siklodekstrin dengan konsentrasi CGTase terbaik

Kombinasi enzim	Konsentrasi CGTase (U)	Waktu (menit)	Siklodekstrin (g/L)
α-amilase : pullulanase	100	210	77,58
pullulanase : β-amilase	100	240	70,63
glukoamilase : pullulanase	150	150	80,55
glukoamilase : α-amilase	100	60	77,88
β-amilase : glukoamilase	100	240	42,95

Terlihat bahwa kadar dekstrin yang tinggi pada larutan berkorelasi terhadap hasil siklodekstrin yang tinggi pula. Sebagai ilustrasi, pola pembentukan siklodekstrin selama proses siklisasi pada penggunaan kombinasi glukoamilase dan

pullulanase disajikan dalam Gambar 1. Waktu yang diperlukan untuk menghasilkan siklodekstrin secara maksimal dipengaruhi oleh jumlah enzim CGTase.

Pada penggunaan CGTase 100 IU maka diperoleh siklodekstrin terbesar yaitu 80,55 g/L dan waktu reaksi yang lebih cepat yaitu 150 menit, dibanding penggunaan CGTase 50 dan 150 IU. Waktu reaksi juga sangat dipengaruhi oleh jenis dan kondisi substrat. Terdapatnya gula sederhana dalam substrat hidrolisat seperti glukosa, maltosa dan maltotriosa, menyebabkan aktivitas CGTase tidak dapat mengkonversi substrat menjadi siklodekstrin secara optimal.



Gambar 1. Pola pembentukan siklodekstrin menggunakan kombinasi enzim glukoamilase dan pullulanase, pada penambahan berbagai konsentrasi CGTase.

Identifikasi siklodekstrin

Penentuan jenis siklodekstrin yang dihasilkan dapat memberikan gambaran pemanfaatan siklodekstrin yang dihasilkan, karena terdapatnya perbedaan karakteristik ketiga jenis siklodekstrin tersebut. Pada penelitian ini hanya diidentifikasi dua jenis siklodekstrin yaitu α- dan β-siklodekstrin, komposisi masing-masing yang dihasilkan dari berbagai kombinasi enzim penghidrolisis disajikan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Perolehan komposisi α dan β-siklodekstrin dari enzim kombinasi

Enzim Kombinasi	α-Siklodekstrin (%)	β-Siklodekstrin (%)
α-amilase dan glukoamilase	29,83	14,71
α-amilase dan pullulanase	28,60	3,77
β-amilase dan glukoamilase	25,79	17,16
β-amilase dan pullulanase	21,17	5,02
glukoamilase dan pullulanase	20,33	5,15

Secara umum semua kombinasi menghasilkan α-siklodekstrin dalam jumlah yang relatif sama, namun kombinasi α- dan β-amilase dengan glukoamilase pada hidrolisis dapat menghasilkan β-siklodekstrin lebih baik dibanding penggunaan dengan pullulanase.

KESIMPULAN

Kombinasi enzim hidrolase dapat meningkatkan derajat hidrolisis pati dengan kecepatan dan cara yang berbeda-beda tergantung dari jenis dan konsentrasi enzim yang digunakan. α-

amilase lebih cepat dan superior dalam memotong rantai α -1,4-glukosidik, dibandingkan dengan β -amilase. Konsentrasi enzim pada kombinasi α -amilase dan glucoamilase juga lebih kecil dibanding penggunaan α -amilase dan pullulanase untuk menghasilkan derajat hidrolisis yang relatif sama. Penggunaan kombinasi α -amilase dan glucoamilase diduga lebih efektif dalam pemutusan rantai α -1,4-glukosidik pati garut.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih disampaikan kepada Departemen Teknologi Industri Pertanian, FATETA IPB yang telah mendanai penelitian ini melalui Grant Project QUE DIKTI. .

DAFTAR PUSTAKA

- [AOAC] Assotiation of Official Analytical Chemist. 1995. Official Methods of Analysis of the Association of Official of Analytical Chemistry, Washington.
- Apriyantono A, Fardiaz D, Puspitasari IN, Sedarnawati S, Budiyanto. 1989. Analisis Pangan. PAU Pangan dan Gizi, Bogor.
- Banks W, Wood GTC. 1985. Starch and its component. Di dalam : G.M.A Van Beynumdan J.A. Roels (eds). Starch Conversion Technology. Halsted Press, New York.
- Diaz AB, Mohallem SDN, dan Sinisterra RD. 2003. Preparation of a ferrofluid using cyclodextrin and magnetite. J Braz Chem Soc 14(6): 936-941.
- Dijkhuizen L, Dijkstra WB, Van der Veen AB, Uitdehag CJ, Alebeek VMG, Smith ML. 2000. Rational design of cyclodextrin glucosyltransferase from *Bacillus circulans* strain 251 to increase α -cyclodextrin production. J Mol Biol 296: 1027-1038.
- Fogarty WM. 1983. Microbial Enzymes and Biotechnology. Applied Science Publisher, New York.
- Kitahata S. 1988. Cyclomaltodextrin Glucanotransferase. Di dalam : The Amylase Research Society of Japan (ed). Handbook of Amylase and Related Enzymes. Their Sources, Isolation, Methods, Properties and Applications. Pergamon Press, Tokyo.
- Lee YD, Kim SH. 1992. Effect of organic solvent on enzymatic production of cyclodextrin from unliquefied corn starch in attrition bioreactor. J Biotenol Bioeng 399: 977 – 983.
- Lee YD, Kim SH. 1991. Enhancement of enzymatic production of cyclodextrins by organik solvent. Enzyme Microb Technol 13: 499-503.
- Mitsuiki S, Mukaea K, Sakai M, Goto M, Hayashida S, Furukawa K. 2005. Comparative characterization of raw starch hydrolyzing α -amylases from various *Bacillus* strains. J Enzmic Tech 37: 410-416.
- Muchtadi TR. 1989. Pengetahuan Bahan Pangan. PAU Pangan dan Gizi. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Saha CS, Shen JG, Zeikus GJ. 1987. Behavior of a novel thermostable β -amilase on raw starch. Michigan Biotech Lansing 9(1): 1-64.
- Sakinah AMM, Ismail FA, Illias MR, Hassan O. 2007. Fouling characteristics and autopsy of a PES ultrafiltration membrane in cyclodextrin separation. J Desalination 207: 227-242.
- Sauer J, Sigurskjold WB, Christensen U, Frandsen PT, Mgorodskaya E, Harrison M, Roepstorff P, Svensson B. 2000. Glucoamylase : structure and function relationship, and protein engineering. Biochem Biophys Acta 1543: 275–293.
- Satin M. 2001. Functional Properties of Starches. AGSI homepage. <http://www.FAO.Org>. [20 Oktober 2009].
- Slominska L, Szostek A, Grzeskowiak A. 2002. Studies on enzymatic continous production of cyclodextrins in an ultrafiltration membrane bioreactor. Carbohydrate Pol 50: 423-428.
- Tjokroadikoesoemo PS. 1986. HFS dan Industri Ubi Kayu Lainnya. Gramedia, Jakarta.
- Qi H. 2005. Production of Cyclodextrin Complexes. US Patents 6: 884.885.
- Winarno FG. 1995. Enzim Pangan. Gramedia, Jakarta.