

KINETIKA PENYERAPAN AIR PADA BERAS

Kinetics of Water Absorption in Rice

Chatarina Wariyah ¹⁾, Chairil Anwar ²⁾, Mary Astuti ¹⁾, dan Supriyadi¹⁾

ABSTRAK

Kecepatan absorpsi air dari beras amilosa rendah, sedang dan tinggi, dievaluasi berdasarkan kinetika reaksinya. Kinetika absorpsi air ditentukan pada suhu di bawah gelatinisasi (28, 50, 60 dan 70 °C) dan pada suhu di atas gelatinisasi (80, 90, 100 °C). Konstanta kecepatan reaksi ditentukan dengan mengevaluasi grafik hubungan antara kadar air dan lama perendaman, dan energi aktivasi dihitung dengan persamaan Arrhenius. Hasil penelitian menunjukkan absorpsi air di bawah suhu gelatinisasi mengikuti reaksi orde satu, sedangkan pada suhu gelatinisasi mengikuti reaksi orde nol. Beras dengan amilosa tinggi relatif lebih mudah menyerap air dibandingkan beras amilosa rendah pada suhu kurang dari 70 °C, namun pada suhu lebih dari 70 °C absorpsi air menjadi lebih kecil. Energi aktivasi absorpsi air pada suhu di bawah gelatinisasi lebih rendah dibandingkan pada suhu gelatinisasi.

Kata kunci: varietas beras, kadar amilosa, gelatinisasi, absorpsi air, kinetika reaksi

ABSTRACT

Water absorption rate of three different rice, i.e. low, medium and high amylose content rice, were evaluated based on their kinetic reactions. Water absorption kinetics were determined at below (28, 50, 60 and 70 °C) and above (80, 90 and 100 °C) gelatinization temperatures. Reaction rate constant was evaluated from the curve of relation between moisture content and soaking time, and activation energy was calculated with Arrhenius equation. The results showed that water absorption at below gelatinization temperature followed first order reaction, while at above gelatinization temperature reaction followed with zero order. Rice with high amylose content tended to absorb water easier than low amylose one at temperature less than 70 °C, however, it was vice versa at temperature above 70 °C. Activation energy of water absorption below the gelatinization temperature was lower than above gelatinization temperature.

Keywords: rice varieties, amylose content, gelatinization, water absorption, reaction kinetics

PENDAHULUAN

Beras (*Oryza sativa*, L.) adalah pangan pokok hampir sebagian besar penduduk Asia termasuk Indonesia. Sebagai pangan sumber utama karbohidrat, beras mengandung 90 % padatan berupa pati. Salah satu karakteristik khas pati adalah kemampuannya menyerap air dan selanjutnya apabila dipanaskan akan mengalami gelatinisasi (Whistler dan Daniel, 1985), demikian pula pati dalam biji beras ketika direndam dalam air, dan dipanaskan. Absorpsi air ke dalam biji beras selama proses pemasakan merupakan fenomena penting untuk memprediksi kondisi pemasakan yang optimum (Kasai dkk.,

2005 dalam Yadav dan Jindal, 2007). Menurut Hettiarachchy dkk. (1996), absorpsi air ke dalam biji beras berperan sebagai media difusi kalsium pada proses fortifikasi. Selanjutnya Lim dkk. (1995), menyatakan bahwa kinetika penyerapan air dapat membantu mengevaluasi penyerapan air selama penyimpanan pada suhu yang berbeda.

Absorpsi air ke dalam biji beras antara lain dipengaruhi oleh kadar amilosa dan suhu perendaman (Lee dkk., 1996). Berdasarkan kandungan amilosanya, beras (*non waxy rice*) dapat dikelompokkan menjadi tiga yaitu beras dengan amilosa rendah (< 20%), amilosa sedang (20-25%) dan amilosa tinggi (> 25%) (Arraullo dkk., 1976). Pada suhu lebih dari 65 °C

- 1) Progam Studi Ilmu Pangan, Jurusan Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Jl. Sosio Yustisia, Yogyakarta 55281
- 2) Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Gadjah Mada, Sekip Utara, Yogyakarta 55281

absorpsi air dan *swelling* akan meningkat apabila kadar amilosa rendah (Lii dkk., 1996). Hal ini disebabkan karena rigiditas granula pati pada beras ditentukan oleh banyaknya amilosa. Sedangkan Yadav dan Jindal (2007), menyatakan bahwa meskipun kecepatan absorpsi air pada beras amilosa rendah lebih kecil daripada beras amilosa tinggi, namun kadar air jenuhnya lebih besar pada beras dengan amilosa rendah. Mobilitas air juga ditentukan oleh aktivitas air atau a_w dalam bahan makanan (Rockland dan Beuchat, 1987). Pada bahan makanan yang banyak mengandung pati, amilosa lebih mudah mengikat air daripada amilopektin, sehingga mobilitasnya lebih rendah.

Kinetika penyerapan air dapat digunakan untuk memilih kondisi penyimpanan dan mengevaluasi penyerapan air selama penyimpanan. Kinetika penyerapan air dan besarnya energi aktivasi (E_a) dapat dievaluasi menggunakan persamaan Arrhenius (Labuza dan Riboh, 1982). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kinetika penyerapan air beras amilosa rendah, sedang dan tinggi yang diproduksi di Indonesia pada suhu di bawah maupun di atas suhu gelatinisasinya.

METODE PENELITIAN

Bahan

Gabah amilosa rendah (AR), sedang (AS), dan tinggi (AT) masing-masing diwakili oleh Memberamo, Ciherang dan IR-42 diperoleh dari Balai Besar Penelitian Padi, Sukamandi, Subang. Gabah digiling dan disosoh dua kali dengan penggiling padi Da ichi *blower rice polisher* (tipe N50 dari Da ichi Engineering Co, Ltd).

Kinetika absorpsi air pada beras

Penentuan pola absorpsi air mengacu pada Morales dkk. (1996). Beras sebanyak satu bagian direndam dalam empat bagian air, pada suhu kamar (28 °C), 50, 60, 70, 80, 90, 100 °C selama kurun waktu 0-30 menit (pada suhu di bawah gelatinisasi) dan 0-40 menit (pada suhu di atas gelatinisasi). Sampling dilakukan setiap 5 menit untuk menentukan jumlah air yang diserap. Konstanta kecepatan reaksi ditentukan berdasarkan grafik hubungan antara lama perendaman dan kadar air, sedangkan pengaruh suhu ditentukan dengan persamaan Arrhenius (Labuza dan Riboh, 1982).

Analisis

Terhadap ketiga jenis beras dilakukan analisis: kadar air dengan metode gravimetri (AOAC, 1990), kadar pati dengan *Direct Acid Hydrolysis* (AOAC, 1990), lemak dengan destilasi menggunakan Soxhlet (AOAC, 1990), amilosa dengan metode pengikatan Iod (Juliano, 1971), densitas (Bhattacharya dkk., 1972 dalam Sidhu dkk., 1975), Ca dengan metode presipitasi

(Watson, 1996), gula reduksi dengan spektrofotometri (AOAC, 1990), nitrogen terlarut dengan spektrofotometri (AOAC, 1990) dan suhu gelatinisasi dengan Brabender Amilography (*Visco amilograph* model RV, Wingather V2.5, Brookfield Engineering Laboratories, Inc.).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat beras

Kandungan amilosa beras Memberamo, Ciherang, dan IR-42 masing-masing 18,30, 25,96, dan 29,63 % bk (Tabel 1). Menurut Arraullo dkk. (1976) ketiga beras tersebut termasuk dalam kategori beras dengan kandungan amilosa rendah, sedang, dan tinggi, sehingga pemilihan sampel sudah sesuai dengan klasifikasi yang ada.

Perbedaan kandungan amilosa akan membedakan mutu tanak (*cooking quality*)nya. Beras dengan amilosa rendah mempunyai tekstur lunak dan lengket (*soft and sticky*), sedang beras dengan amilosa tinggi teksturnya keras (*firm and fluffy*) (Perdon dkk., 1999).

TABEL 1. KARAKTERISTIK BERAS

Parameter	Beras		
	Amilosa rendah	Amilosa sedang (Ciherang)	Amilosa tinggi (IR-42)
Air (% bk)	12,65	12,88	12,87
a_w	0,51	0,57	0,57
Pati (% bk)	86,13	88,00	84,05
Amilosa (% bk)	18,30	25,96	29,63
Densitas (g/ml)	1,41	1,41	1,41
Ca (mg/100g bk)	4,92	4,36	5,02
Gula reduksi (% bk)	0,82	0,18	0,34
N terlarut (% bk)	0,25	0,16	0,24
Lemak (% bk)	0,38	0,37	0,35
Ukuran panjang (mm)	9-10	8,5-10	7-8

Baik kadar air maupun nilai a_w sampel hampir sama, kecuali nilai a_w beras AR (Memberamo) paling kecil. Nilai a_w rendah menunjukkan potensi kimia relatif kecil dari beras AR, sehingga relatif lebih tahan disimpan (Labuza, 1982). Bahan dengan nilai a_w rendah tahan terhadap serangan jamur, laju reaksi enzimatik maupun non enzimatik rendah (Fennema, 1985). Beras dengan kandungan amilosa sedang (AS) dan tinggi (AT) jumlah gugus reduktif relatif lebih banyak dibanding beras amilosa rendah (AR), sehingga mestinya intensitas interaksi dengan air semakin tinggi atau a_w semakin rendah. Namun Tabel 1 menunjukkan a_w beras AR justru paling rendah di antara tiga jenis beras. Fenomena tersebut dapat dipahami mengingat nilai a_w suatu bahan selain ditentukan oleh gugus reduktif dari amilosa, ditentukan pula oleh kandungan zat terlarut, interaksi antar permukaan dan

efek kapiler (Labuza,1984). Zat padat terlarut dalam beras (Tabel 1) menunjukkan kadar gula reduksi dan N terlarut beras AR (Memberamo) paling tinggi (mencapai 0,82 % bk dan 0,25 % bk), sehingga kemampuan berinteraksi dengan molekul air melalui ikatan dipole semakin besar. Akibatnya nilai a_w beras tersebut rendah. Pada kadar air yang sama apabila air yang berikatan dengan komponen bahan makanan lebih banyak, maka nilai a_w akan lebih kecil (Labuza, 1984), sehingga pengeringannya lebih cepat, karena kadar air *monolayer*-nya lebih tinggi.

Kandungan pati pada beras dengan amilosa sedang (Ciherang) paling tinggi, yakni mencapai 88,0 % (bk). Menurut Lii dkk. (1996), kandungan pati yang tinggi menyebabkan struktur granula lebih rapat dan rigid, sehingga kemampuan *swelling* rendah dan suhu gelatinisasi meningkat. Hal ini selaras dengan sifat gelatinisasi beras amilosa sedang yang mempunyai suhu gelatinisasi paling tinggi yaitu 72,5 °C .

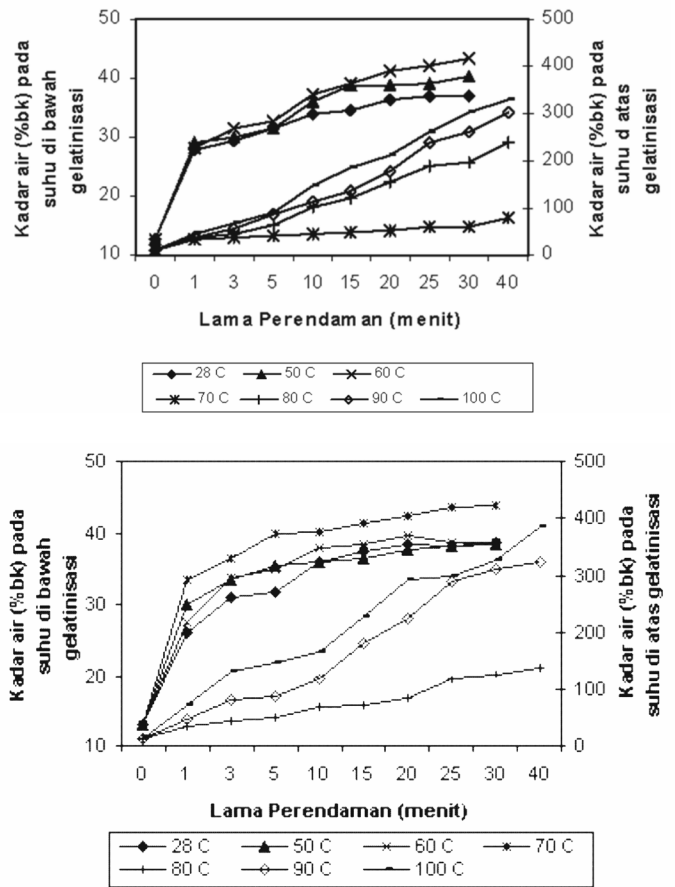
Berdasarkan pengujian sifat fisik, ketiga sampel beras mempunyai densitas sama (1,41 g/ml), dan termasuk dalam kategori *extra long grain*, ukuran lebih dari 7 mm. Kandungan kalsium sampel beras (AR) sekitar 4,92 mg/100 g beras, bahkan beras AS hanya mencapai 4,32 mg/100g beras. Data ini sejalan dengan penelitian terdahulu, bahwa beras mengandung kalsium (Ca) relatif rendah, yakni $\leq 5,00$ mg/100 g (Anonim, 1981).

Kinetika Absorpsi Air pada Beras

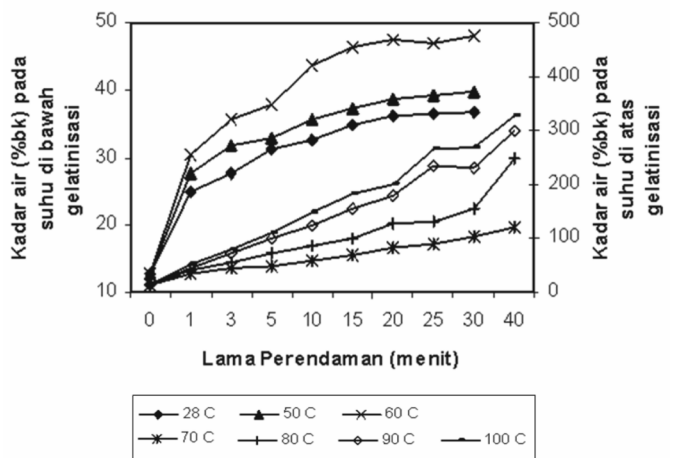
Gambar 1 - 3 menunjukkan pola absorpsi air pada beras AR, AS dan AT pada suhu di bawah gelatinisasi maupun suhu gelatinisasi pati beras. Hasil penelitian menunjukkan suhu gelatinisasi beras AR, AS dan AT masing-masing adalah 63, 72,5, dan 63,4 °C, sehingga kinetika absorpsi beras AR dan AT pada suhu di bawah gelatinisasi disajikan pada kisaran suhu 28°C - 60 °C, sedangkan beras AS pada suhu antara 28 - 70 °C. Kinetika absorpsi air pada suhu gelatinisasi pada beras AR dan AT dilaksanakan pada suhu antara 70 - 100 °C dan beras AS antara 80 - 100 °C.

Absorpsi air pada suhu di bawah gelatinisasi

Pola absorpsi air pada beras AR, AS dan AT pada suhu dibawah gelatinisasi pati beras ditunjukkan pada Gambar 1 - 3. Berdasarkan pola absorpsi serta nilai koefisien korelasi ($r \geq 0,80$) dapat dikatakan bahwa absorpsi air pada suhu di bawah gelatinisasi berlangsung dengan kecepatan tidak tetap atau orde reaksinya 1. Absorpsi air meningkat pada perendaman selama 0 - 20 menit atau setelah mencapai kadar air sekitar 36 % (bk), selanjutnya konstan. Analog dengan hal tersebut adalah hasil penelitian Bakshi dan Singh (1980) tentang kinetika difusi air.



Gambar 2. Pola absorpsi air beras AS (Ciherang) pada suhu di bawah (28, 50, 60 dan 70°C) dan di atas gelatinisasi (80, 90 dan 100°C)



Gambar 3. Pola absorpsi air beras AT (IR-42) pada suhu di bawah (28, 50 dan 60 °C) dan di atas gelatinisasi (70, 80, 90 dan 100 °C)

dan gelatinisasi selama *rice parboiling*. Penelitian dilakukan pada beras *short grain* varietas SG yang direndam pada suhu antara 50 - 70 °C, menunjukkan bahwa difusi air dan tingkat gelatinisasi berlangsung non linear.

Menurut Lan dan Kunze (1996) dan Horigane dkk. (1999), pada biji beras terdapat *cracks* atau *fissure* yang terbentuk selama pengeringan, penggilingan, kenaikan kelembaban atau perendaman. Pada saat perendaman pada suhu di bawah gelatinisasi (45 - 65 °C) air akan masuk ke dalam biji beras dan menempati bagian *cracks*. Pada tahap ini air yang terserap mencapai 36 %, selanjutnya berubah lambat (Horigane dkk., 1999).

Konstanta kecepatan absorpsi air (k) pada beras menunjukkan beras AR kecepatan absorpsinya lebih kecil dibandingkan beras AT, sedang beras AS kecepatan absorpsinya paling kecil (Tabel 2). Pada suhu 28, 50 dan 60 °C konstanta kecepatan reaksi (k) pada beras AR masing-masing 1,02; 1,03 dan 1,03 g/100g bk/menit, sedangkan pada beras dengan AT nilai k pada suhu yang sama masing-masing 1,02; 1,02 dan 1,03 g/100g bk/menit. Yadav dan Jindal (2007) menyatakan kecepatan absorpsi air pada beras giling meningkat sejalan dengan peningkatan kadar amilosa. Kecepatan absorpsi air berkisar antara 0,026 - 0,028 % bk/menit pada beras amilosa rendah; 0,027 - 0,037 % bk/menit pada beras amilosa sedang dan 0,027 - 0,039 % bk/menit pada beras dengan amilosa tinggi. Menurut Meyer (1973), semakin banyak molekul amilosa, maka gugus reduktif semakin banyak, sehingga kemampuan absorpsi air meningkat.

TABEL 2. KONSTANTA KECEPATAN ABSORPSI AIR PADA BERAS (G/100 G BK MENIT)

Beras		Suhu di bawah Gelatinisasi (°C)				Suhu di atas Gelatinisasi (°C)			
		28	50	60	70	80	90	100	
AR	k	1,02	1,03	1,03	1,33	5,79	7,59	8,31	
	r	0,83	0,87	0,83	0,94	0,98	0,99	0,98	
AS	k	1,02	1,02	1,02	1,02	3,15	8,53	8,87	
	r	0,89	0,76	0,84	0,80	0,98	0,97	0,97	
AT	k	1,02	1,02	1,03	2,47	5,07	6,91	7,75	
	r	0,89	0,86	0,91	0,98	0,98	0,99	0,98	

Pada beras dengan AS, konstanta kecepatan absorpsi air paling kecil. Konstanta kecepatan reaksi pada suhu 28, 50, 60 dan 70 °C sama yakni sebesar 1,02 g/100g bk/menit (Tabel 2). Whistler dan Daniel (1985), menyatakan bahwa lemak dapat menghambat absorpsi air. Namun Tabel 1 menunjukkan kadar lemak beras AR, AS dan AT hampir sama, sehingga diduga lemak kecil peranannya dalam penyerapan air pada beras. Dilihat dari kadar patinya, beras AS kandungan pati paling tinggi diantara ke dua beras lainnya (88,0 % bk). Beras AR dan AT menunjukkan kadar patinya mencapai 86,13 dan 84,05 % (bk). Menurut Lii dkk. (1996), konsentrasi pati dalam beras berpengaruh terhadap kemampuan absorpsi air. Beras dengan

konsentrasi pati tinggi, struktur granulanya lebih tertutup dan rigid, sehingga sulit ditembus air. Tester dkk. (2004), menyatakan bahwa dalam granula, amilosa membentuk struktur kristalin sedangkan amilopektin strukturnya amorf. Pada kadar pati yang tinggi susunan tersebut menjadi lebih rigid. Oleh karena itu kecepatan absorpsi air pada beras AS paling rendah.

Absorpsi air pada suhu di atas gelatinisasi

Absorpsi air pada beras AR, AS dan AT disajikan pada Gambar 1a – c. Berdasarkan pola absorpsi serta nilai r (0,98 - 0,99) dapat dikatakan bahwa absorpsi air pada suhu gelatinisasi berlangsung dengan kecepatan tetap atau orde reaksinya 0 (nol). Penelitian Bakshi dan Singh (1980) menunjukkan bahwa absorpsi air pada *parboiled rice* pada suhu antara 80 - 120 °C berlangsung secara linear. Pada penelitian kinetika gelatinisasi *waxy corn* yang dipanaskan pada suhu 145 - 160 °C reaksi berjalan secara *pseudo zeroth order* (Wang dkk., 1989). Namun Yadav dan Jindal (2007) mendapatkan bahwa absorpsi air selama pemasakan beras pada suhu 130 °C selama 0 - 100 menit berlangsung secara eksponensial. Pada penelitian tersebut perendaman berlangsung lebih lama dan hasilnya sudah berupa nasi, sedang dalam penelitian ini masih dipertahankan dalam bentuk beras.

Kecepatan absorpsi air pada beras AR, AS dan AT meningkat sejalan dengan peningkatan suhu. Kecepatan absorpsi pada suhu gelatinisasi lebih besar daripada di bawah suhu gelatinisasi. Horigane dkk. (1999) menyatakan bahwa perendaman beras pada suhu 85 °C menyebabkan terjadinya gelatinisasi pada permukaan periferil biji beras. Apabila suhu dinaikkan menjadi 100 °C selama 5 menit, gelatinisasi pada bagian periferil semakin tebal. Air dengan cepat akan masuk dari bagian periferil menuju jaringan internal. Menurut Yeh dan Lii (1996), pada proses gelatinisasi pati beras, *swelling* akan meningkat dramatis pada suhu 65 °C, selanjutnya akan mencapai maksimum (54,7 %) pada suhu lebih dari 75 °C.

Berdasarkan varietasnya, beras amilosa rendah konstanta kecepatan absorpsi pada suhu 70, 80, 90 dan 100 °C masing-masing sebesar 1,33; 5,80; 7,59; dan 8,31 g/100g bk/menit, sedangkan beras amilosa tinggi masing-masing 2,47; 5,07; 6,91; dan 7,75 g/100g bk/menit. Konstanta kecepatan reaksi absorpsi pada beras amilosa sedang pada suhu 80, 90 dan 100 °C adalah 3,15; 8,53 dan 8,87 g/100g bk/menit. Menurut Yadav dan Jindal (2007), kecepatan absorpsi air meningkat dengan meningkatnya kadar amilosa. Namun apabila absorpsi air sudah mencapai maksimum, beras dengan amilosa rendah justru kadar airnya lebih tinggi. Penyerapan air lanjut mengakibatkan *swelling* pada beras. *Swelling* beras sangat ditentukan oleh kandungan amilopektin (Lii dkk., 1996), semakin besar kandungan amilopektin (amilosa

rendah), ukuran *swelling* akan meningkat atau absorpsi air semakin besar.

Pengaruh Suhu terhadap Absorpsi Air

Pengaruh suhu terhadap kecepatan reaksi baik pada beras AR, AS maupun AT ditunjukkan dengan nilai E_a atau energi aktivasi (Tabel 3). Nilai E_a pada suhu di bawah suhu gelatinisasi ternyata lebih kecil dibandingkan pada suhu gelatinisasinya. Hal ini sejalan dengan penelitian Suzuki dkk.(1976) pada gelatinisasi *white rice* yang diketahui bahwa pada suhu kurang dari 75 °C nilai E_a lebih kecil daripada suhu lebih dari 75 °C. Menurut Tester dkk. (2004),

TABEL 3. ENERGI AKTIVASI ABSORPSI AIR PADA BERAS

Varietas Beras	Suhu Di bawah Gelatinisasi		Suhu Gelatinisasi	
	E_a (kal/mol)	r	E_a (kkal/mol)	r
Amilosa rendah	35,59	1,0	14,83	0,88
Amilosa sedang	14,74	0,86	13,65	0,89
Amilosa tinggi	39,00	0,75	9,59	0,95

absorpsi air pada gelatinisasi pati dimulai dari permukaan granula, apabila suhu meningkat terjadi penetrasi air ke dalam granula, selanjutnya granula akan pecah. Diperlukan energi yang tinggi untuk merusak struktur internal granula sehingga nilai E_a absorpsi air pada suhu gelatinisasi pati jauh lebih besar daripada nilai E_a pada suhu di bawah gelatinisasi. Pada penelitian ini nilai E_a pada suhu gelatinisasi berkisar antara 9,59 - 14,83 kkal. Nilai tersebut lebih kecil daripada *white rice* (Suzuki dkk., 1976), dan selaras dengan *brown rice* (Bakshi dan Singh, 1980). Menurut Wang dkk. (1989) perbedaan nilai E_a juga dapat disebabkan karena perbedaan kadar air dan kisaran suhu dalam sistem. Apabila kadar air dan suhu dalam sistem tinggi, maka energi aktivasinya lebih rendah. Pada penelitian ini digunakan air sebanyak 80 %, sedangkan Suzuki dkk. (1976), air dalam sistem sebanyak 65 %. Oleh karena itu energi aktivasinya lebih besar.

Berdasarkan varietasnya, pada suhu di bawah gelatinisasi nilai E_a untuk beras dengan amilosa tinggi dan rendah adalah 35,59 dan 39,00 kal/mol besar, sedangkan untuk beras dengan amilosa sedang nilai E_a nya paling kecil yaitu 14,74 kal/mol. Menurut Meyer (1973), absorpsi air ke dalam granula pati pada suhu kamar terjadi karena terbentuknya ikatan hidrogen antara molekul air dan amilosa maupun amilopektin. Tester dkk. (2004) menyatakan bahwa pada awal absorpsi, air akan berikatan dengan gugus hidroksil molekul amilosa dan amilopektin di permukaan granula. Pada beras amilosa tinggi diperlukan E_a yang lebih besar, karena strukturnya mampat, sehingga menghambat absorpsi air. Beras dengan amilosa

sedang (Ciherang) nilai E_a nya kecil, hal ini disebabkan kadar pati beras tersebut tinggi (88 % bk), sehingga mudah membentuk ikatan tersebut sebagai akibatnya nilai E_a terkecil di antara dua sampel beras lainnya. Namun pada suhu gelatinisasi, nilai E_a menjadi berlawanan dengan kondisi di bawah suhu gelatinisasi, kandungan amilosa tinggi justru menunjukkan nilai E_a terkecil. Menurut Yadav dan Jindal (2007), pada suhu gelatinisasi pati kemampuan absorpsi air pada beras ditentukan oleh kadar amilosa. Semakin tinggi amilosa kecepatan absorpsi air semakin tinggi pula. Oleh karena itu dibutuhkan energi minimal yang rendah untuk terjadinya absorpsi air.

KESIMPULAN

Absorpsi air ketiga macam beras pada suhu di bawah gelatinisasi mengikuti reaksi orde satu, sedangkan di atas gelatinisasi pati mengikuti reaksi orde nol. Kandungan amilosa mempengaruhi pola absorpsi airnya, beras dengan amilosa tinggi relatif lebih mudah menyerap air dibanding beras amilosa rendah pada suhu kurang dari 70 °C, namun pada suhu lebih dari 70 °C absorpsi air lebih kecil. Energi aktivasi absorpsi air pada suhu di bawah gelatinisasi lebih rendah dibanding pada suhu di atas gelatinisasi.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim (1981). *Daftar Komposisi Bahan Makanan*, Bhratara Karya, Jakarta.

AOAC (1990). *Officials Methods of Analysis of AOAC International*. 16th edn. Agricultural Chemicals, Contaminant, Drug, Washington D.C.

Arraullo, E.V., De Padua, D.B. dan Graham, M. (1976). *Rice Postharvest Technology*, International Development Research Centre, Ottawa.

Bakshi, A.S. dan Singh, R.P. (1980). Kinetics of Water Diffusion and Starch Gelatinization During Rice Parboiling. *Journal of Food Science* **45**: 1387-1390.

Fennema, O.R. (1985). Water and Ice. Dalam Fennema, O.R. (ed). *Principles of Food Science*, hal 23-60. Marcell Dekker Inc., New York.

Hettiarachchy, N.S., Gnanasamban, R. dan Lee, M.H. (1996). Calcium Fortification of Rice : Distribution and Retention. *Journal of Food Science* **61**: 195-197.

Horigane, A.K., Toyoshima, H., Hemmi, H., Engelaar, W.M.H.G., Okubo, A. dan Nagata, T. (1999). Internal Hollows in Cooked Rice Grains (*Oryza sativa* cv. Koshihikari) Observed by NMR Micro Imaging. *Journal of Food Science* **64**: 1-5.

- Juliano, B.O. (1971). *A Simplified Assay for Milled Rice Cereal Science*, The AVI Publishing Co. Inc. Westport, Connecticut.
- Labuza, T.P. (1982). *Shelf-Life Dating of Food*, Food and Nutrition Press, Inc., Westport, Connecticut, USA.
- Labuza, T.P. (1984). *Moisture Sorption: Practical Aspect of Isotherm Measurement and Use*, American Association of Cereal Chemist. St.Paul, Minnesota.
- Labuza, T.P. dan Riboh, D. (1982). Theory and Application of Arrhenius Kinetics to the Prediction of Nutrient Losses in Foods. *Food Technology* **36**: 66-74.
- Lan, Y. dan Kunze, O.R. (1996). Relative Humidity Effects on the Development of Fissures in Rice. *Cereal Chemistry* **73**: 222-224.
- Lee, M.H., Hettiarachchy, N.S., Gnanasambandam, R. dan McNew, R.W. (1995). Physicochemical Properties of Calcium-Fortified Rice. *Cereal Chemistry* **72**: 352-355.
- Lii, Y.C., Tsai M.L. dan Tseng, K.H. (1996). Effect of Amylose Content on the Rheological Property of Rice Starch. *Cereal Chemistry* **73**: 415-420.
- Lim L.T., Tang, J. dan He, J. (1995). Moisture Sorption Characteristics of Freeze Dried Blueberries. *Journal of Food Science* **60**: 810-814.
- Meyer, L.H. (1973). *Food Chemistry*. Affiliated East-West Press PVT. LTD, New Delhi.
- Morales, A.A., Quintero, A. dan Balandran, R. (1996). Kinetics of Thermal Softening of Legumes during Cooking. *Journal of Food Science* **61**: 167-170.
- Perdon, A.A., Siebenmorgen, T.J., Buescher, R.W dan Gbur, E.E. (1999). Starch Retrogradation and Texture of Cooked Milled Rice during Storage. *Journal of Food Science* **64**: 828-832.
- Rockland, L.B. dan Beuchat, L.R. (1987). *Water Activity: Theory and Applications to Food*, Marcell Dekker Inc., New York and Basel.
- Sidhu, J.S., Gill, M.S. dan Bains, G.S. (1975). Milling of Paddy in Relation to Yield and Quality of Rice of Different Indian Varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **23**: 1183.
- Suzuki, K., Kubota, K., Omichi, M. dan Hosaka, H. (1976). Kinetic Studies on Cooking of Rice. *Journal of Food Science* **41**: 1181-1183.
- Tester, R.F., Karkalas, J. dan Xi, Q. (2004). Starch Structure and Digestibility Enzyme- Substrate relationship. *World's Poultry Science Journal* **60**: 186-196.
- Wang, S.S., Chiang, W.C., Yeh, A.I., Zhao, B. dan Kim. I. H. (1989). Kinetics of Phase Transition of Waxy Corn Starch at Extrusion Temperature and Moisture Contents. *Journal of Food Science* **54**: 1298-1301.
- Watson, C.A. (1996). *Official and Standardized Methods of Analysis*, 3rd edn. The Royal Society of Chemistry, Thomas Graham House, Science Park, Cambridge.
- Whistler, R.L. dan Daniel, J.R. (1985). Carbohydrates. Dalam Fennema, O.R. (ed). *Principles of Food Science*, hal 114-118. Marcell Dekker Inc., New York.
- Yadav, B.K. dan Jindal, V.K. (2007). Water Uptake and Solid Loss During Cooking of Milled Rice (*Oryza sativa* L.) in Relation to its Physicochemical Properties. *Journal of Food Engineering* **80**: 46-54.
- Yeh, A dan Li, J.Y. (1996). A Continuous Measurement of Swelling of Rice Starch During Heating. *Journal of Cereal Science* **23**: 277-283.